



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

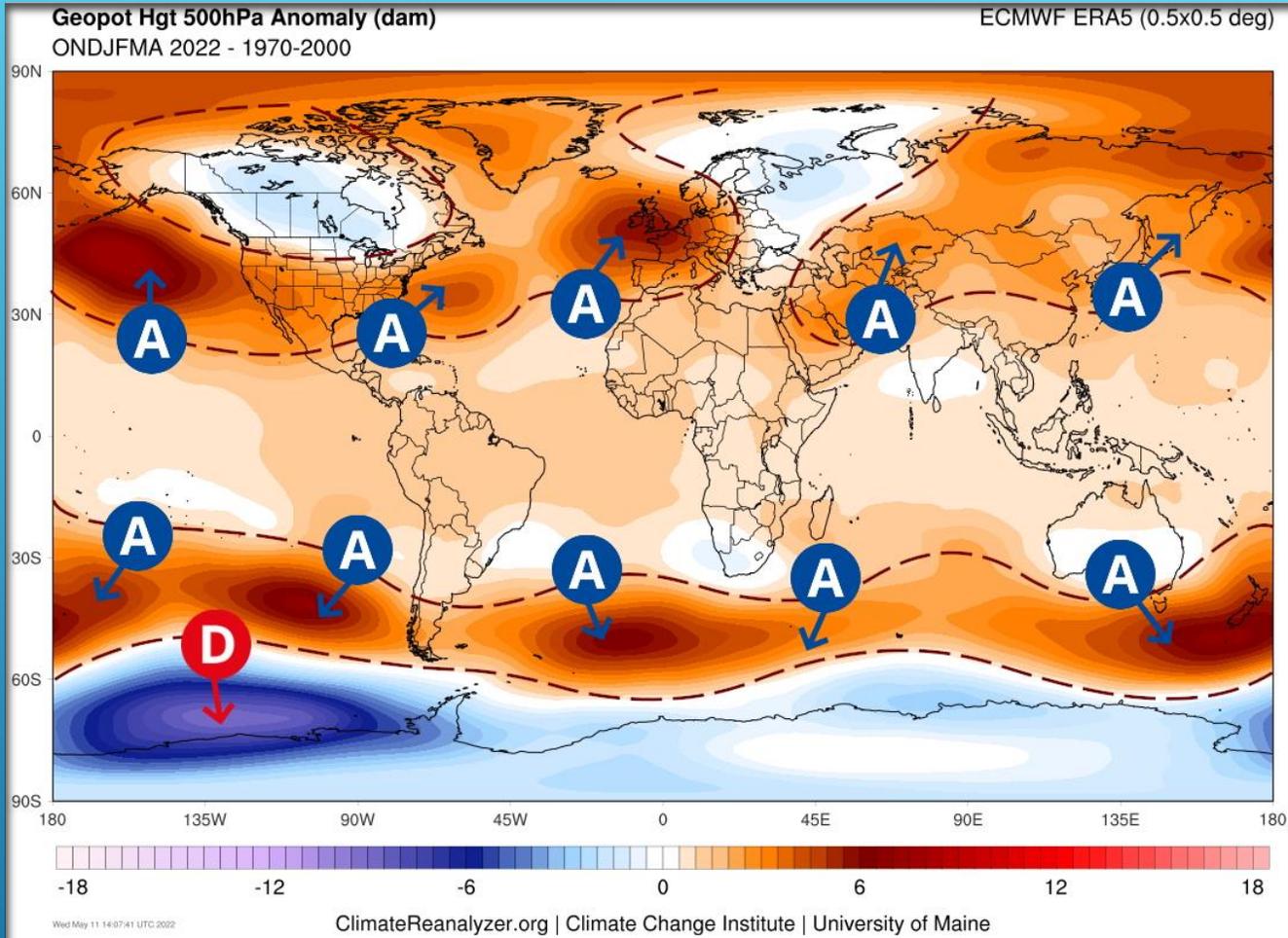
HAL Id: hal-03776663

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

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

FONDAMENTAUX DE CLIMATOLOGIE

1. Bases de géophysiques en climatologie:

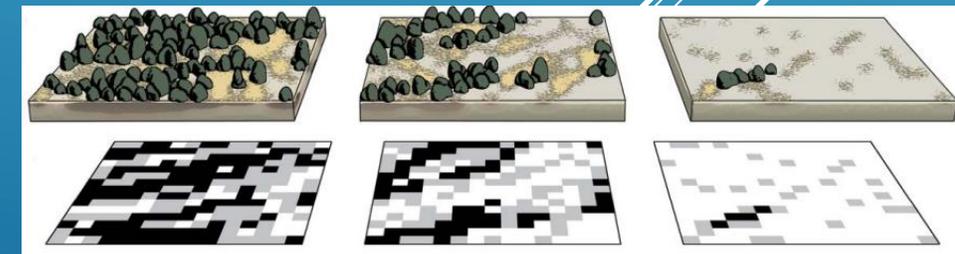
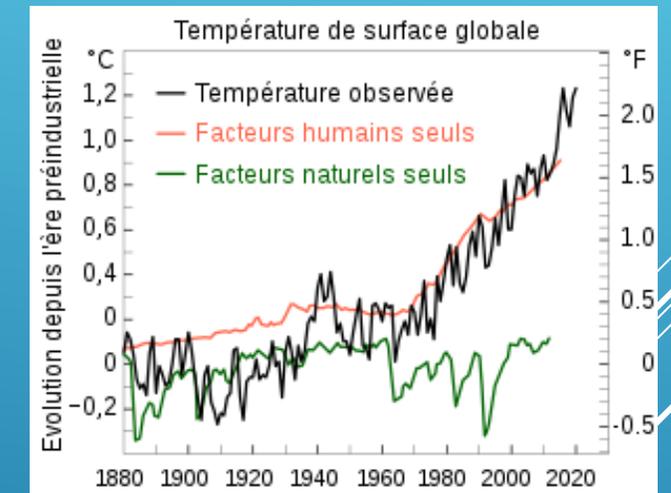
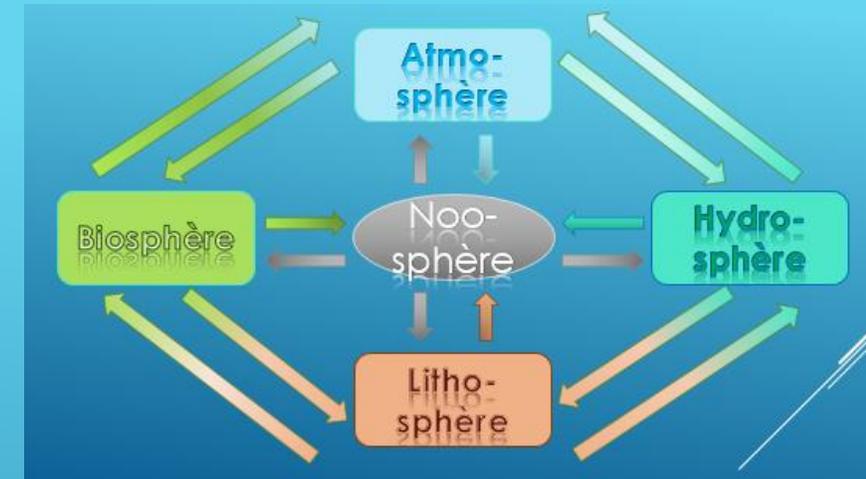
- ▶ Décrire et expliquer la variabilité spatio-temporelle climatique (e.g. phénomènes, durée, magnitude)

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

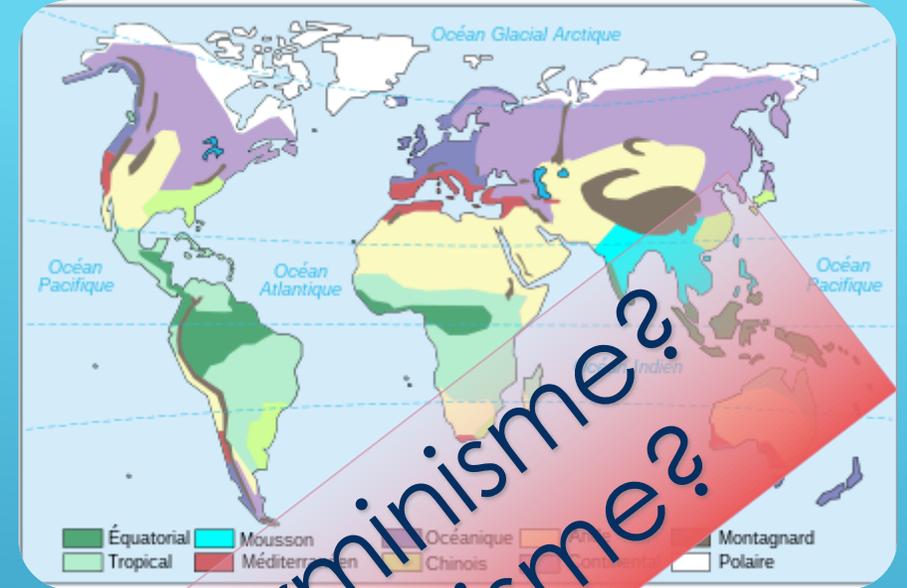
3.4. Iles tropicales: îles de l'Océan Indien OU îles du Pacifique

- ▶ 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

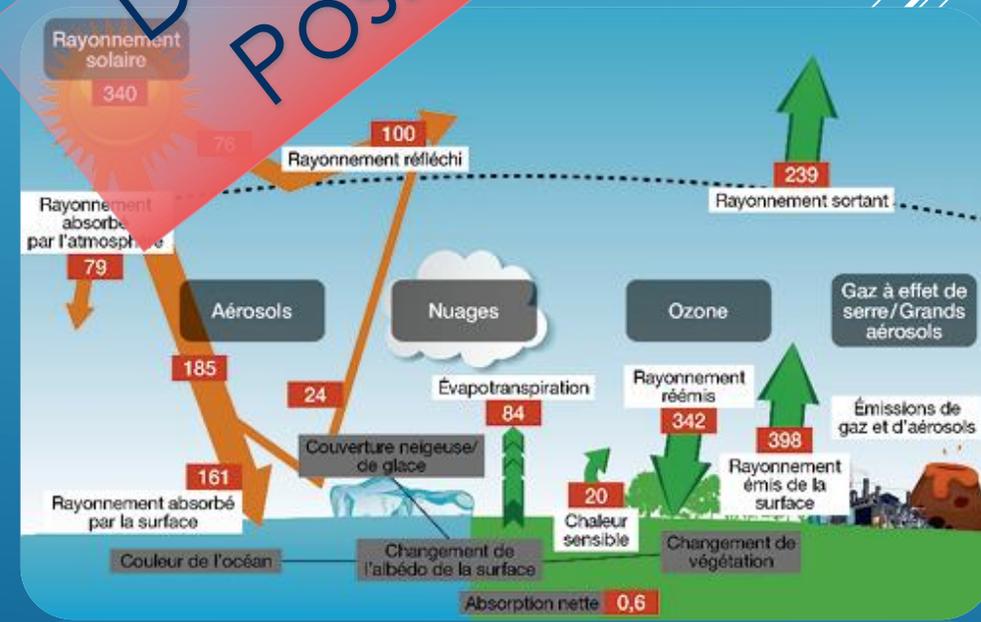
0. INTRODUCTION

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?



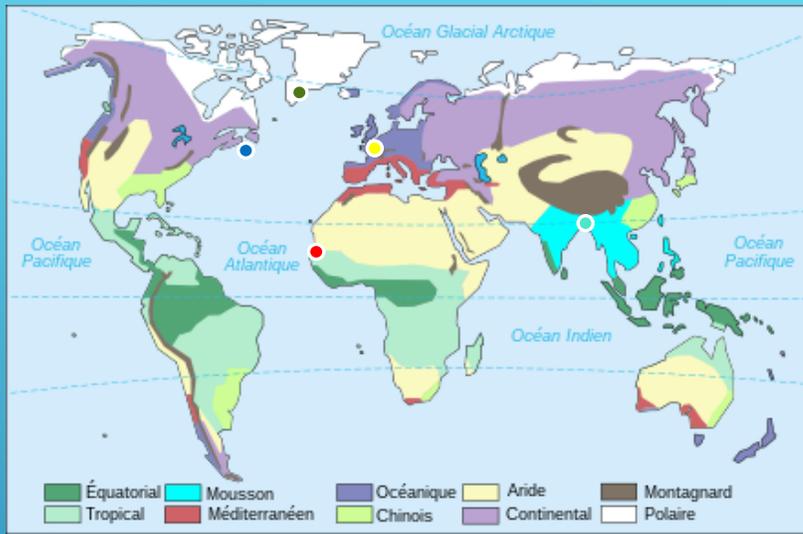


Schéma carto des Climats mondiaux, (livre 5ème)

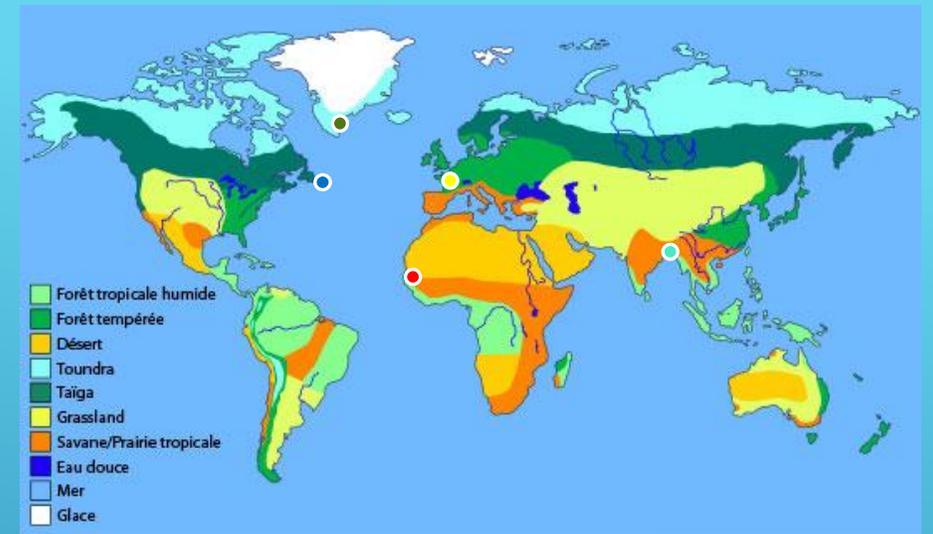
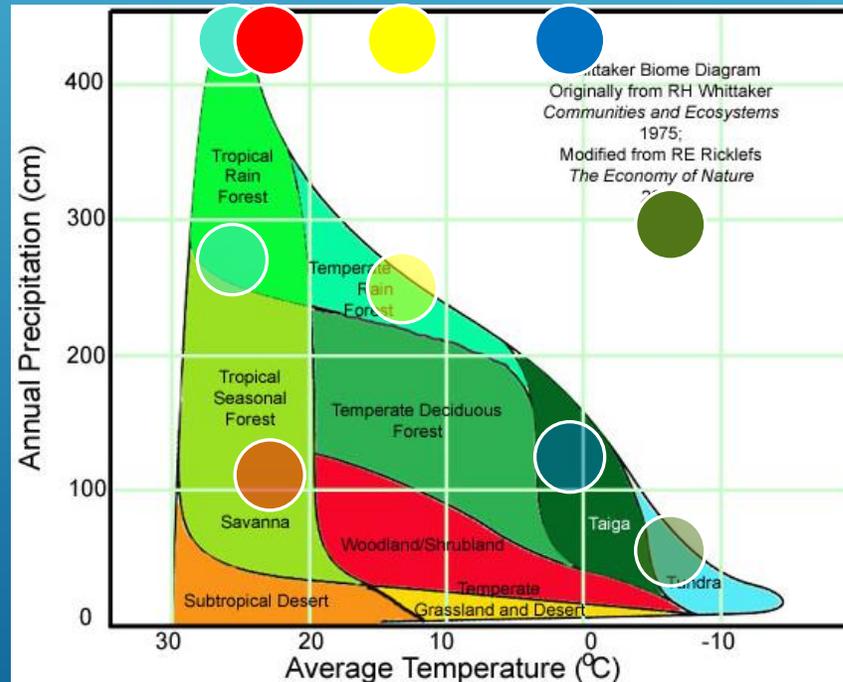


Schéma carto des biomes (livre 5ème)

Dans quelle partie du graphe placer:

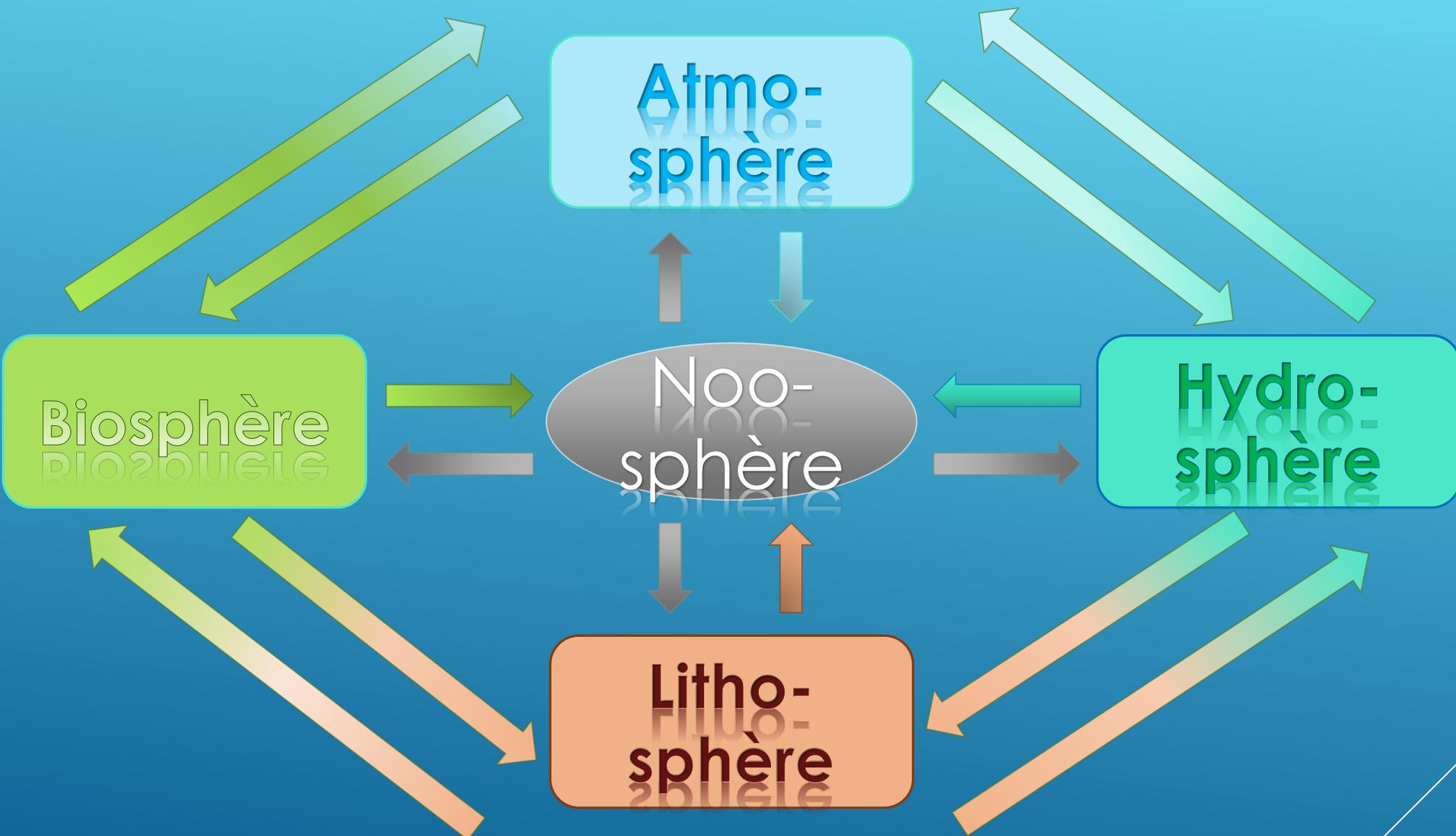
- 1) Plateau briard? ●
- 2) Bengladesh? ●
- 3) Sénégal? ●
- 4) Sud Groenland? ●
- 5) St-Pierre et Miquelon? ●



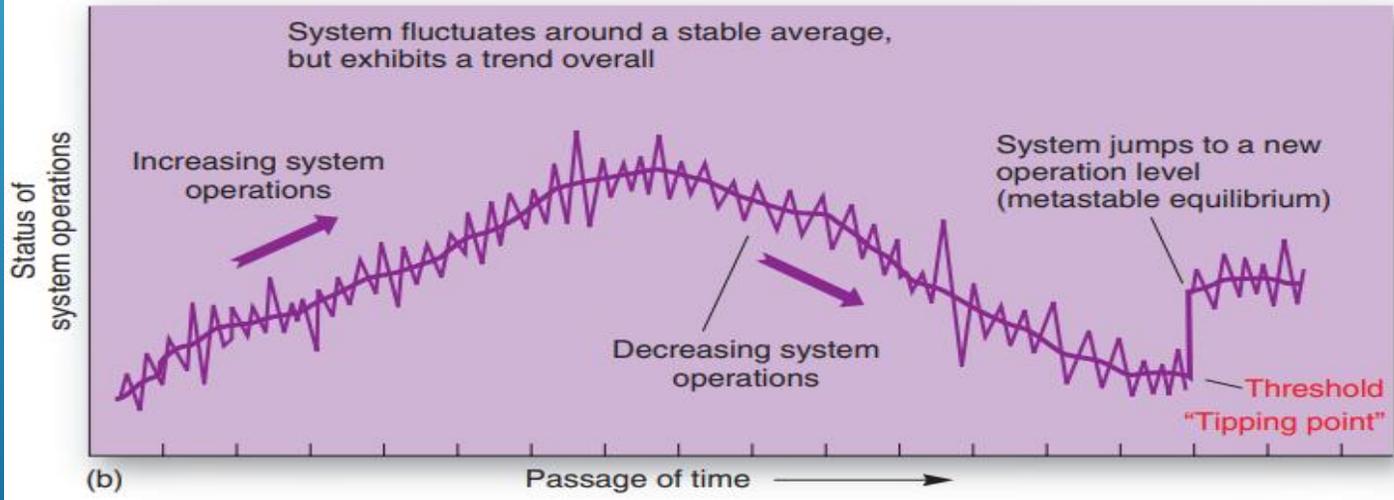
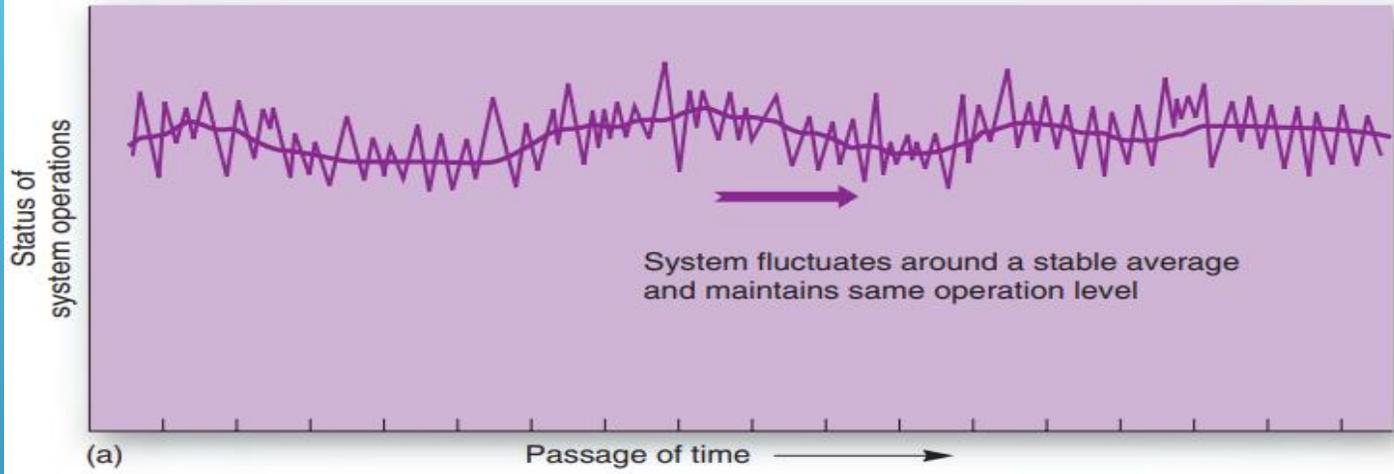
Répartition des biomes selon T°C/Pmm (schématisé)

Source: Whittaker

LIEN RÉPARTITION CLIMAT ET RÉPARTITION ÉCOSYSTÈMES



LE SYSTÈME TERRE



Coastal systems pass a threshold.

EQUILIBRE DYNAMIQUE D'UN SYSTÈME...

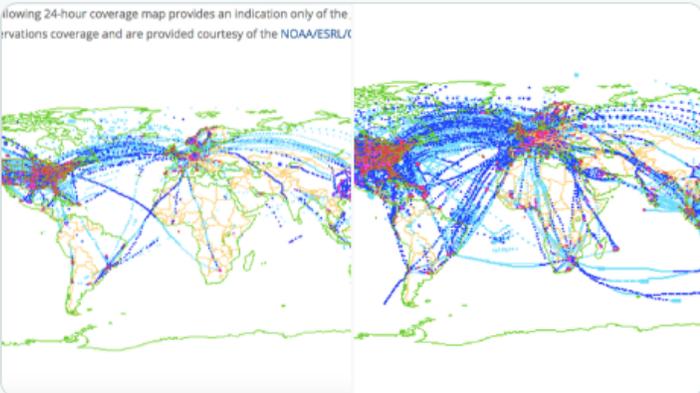
1. Bases de géophysiques en climatologie

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

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

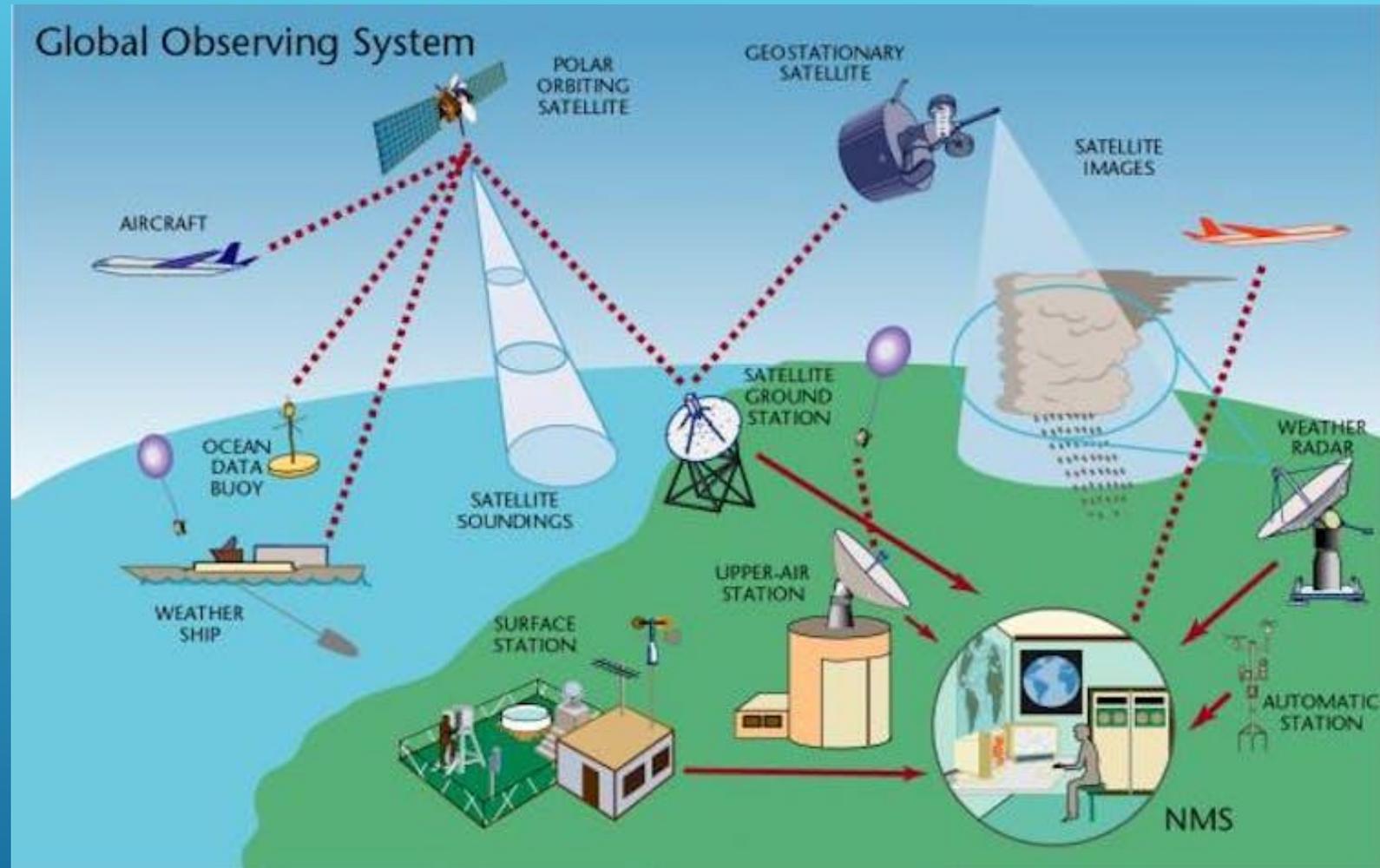


10:48 AM · May 7, 2020 

 [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)
- ▶ Elaboration de normes pour standardisation mesures météo
- ▶ Collaboration internationale (la 1^{ère}: début des années 50 et observation de la couche d'ozone // CFCs)

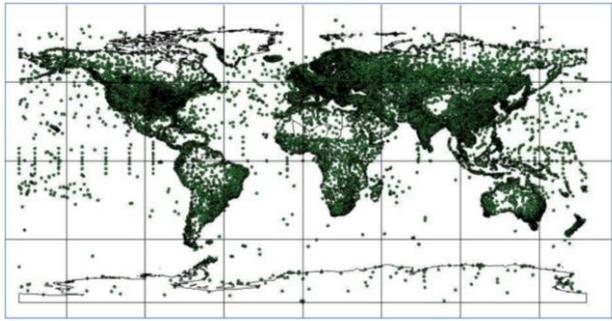
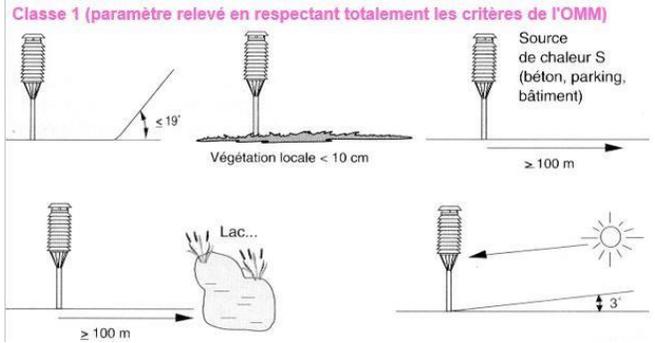


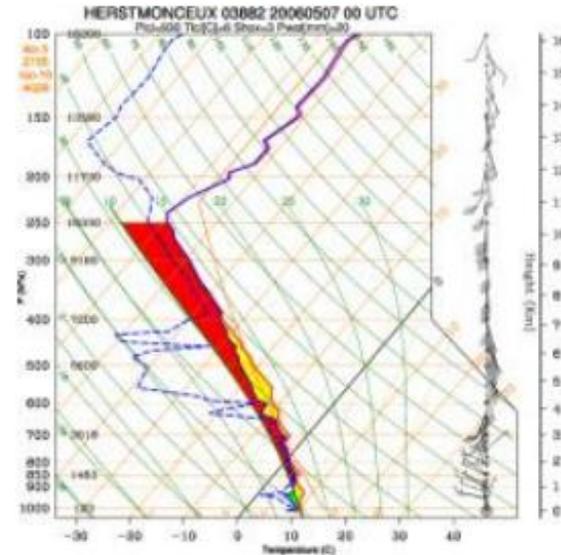
Figure 5 Global map of WMO-GTS synoptic meteorological stations (as from the GSOD or Global Summary of Day database at the NOAA/NCDC; approx. 9000 stations)



MESURES INSTRUMENTALES (AU SOL)

MESURES INSTRUMENTALES (D'ALTITUDE)

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



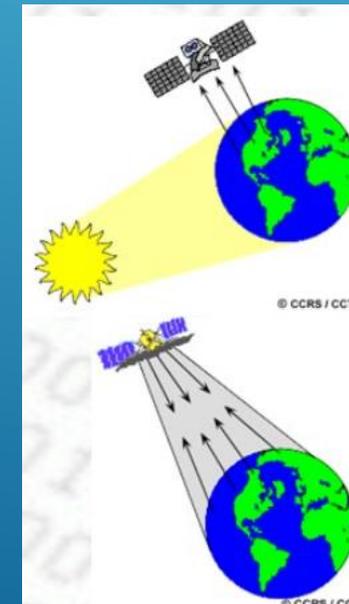
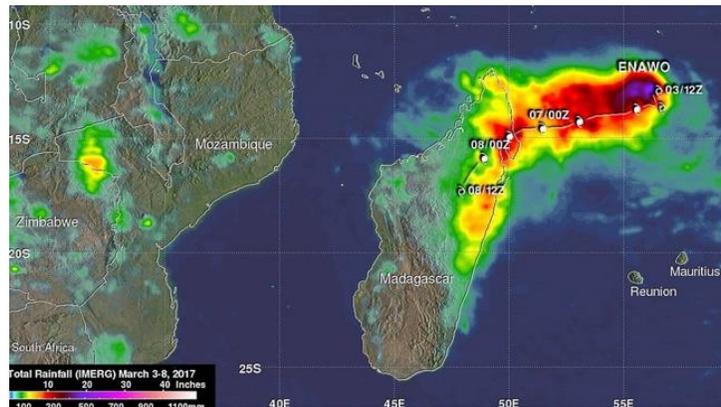
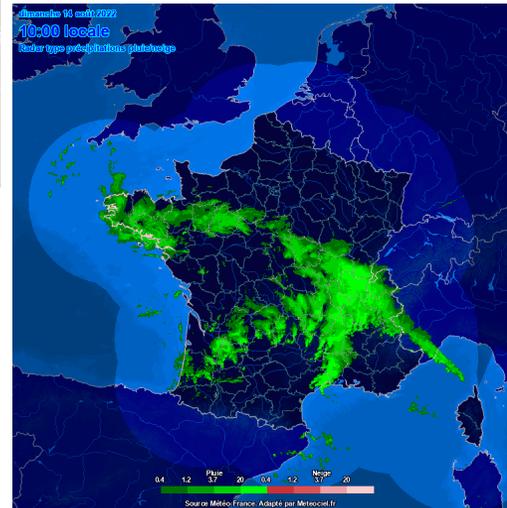
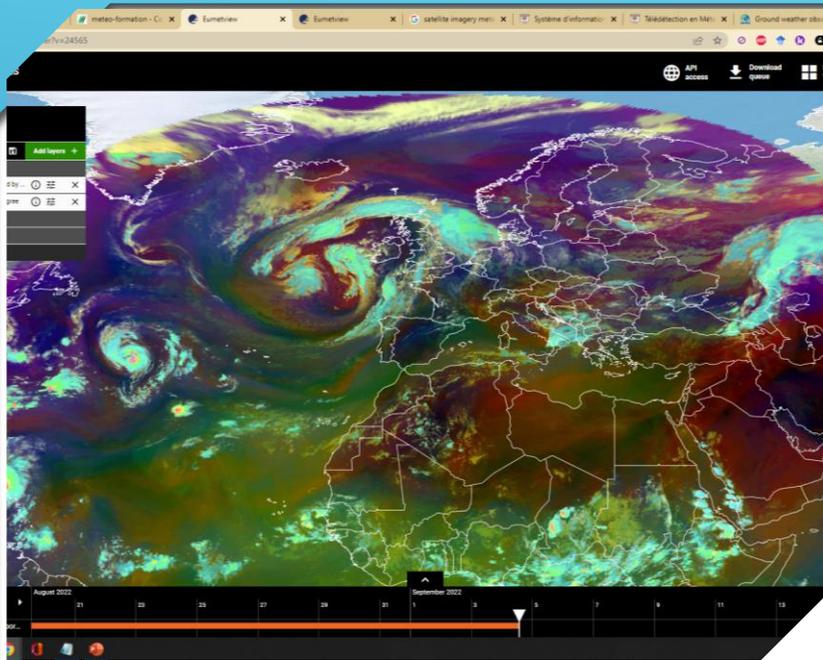
12

L1-CM-GO1202 BELTRANDO

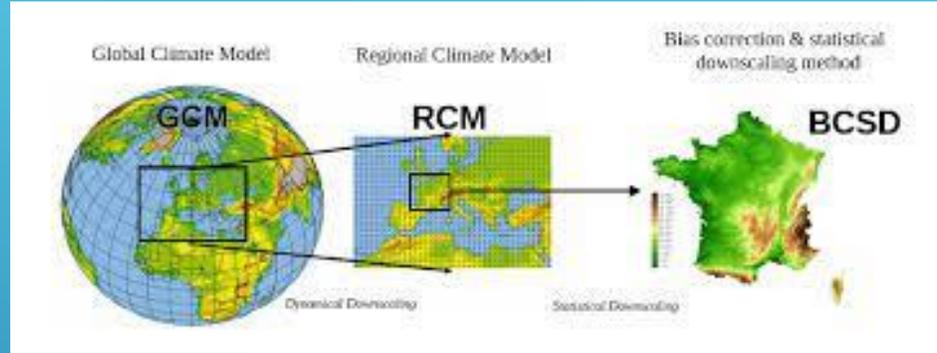
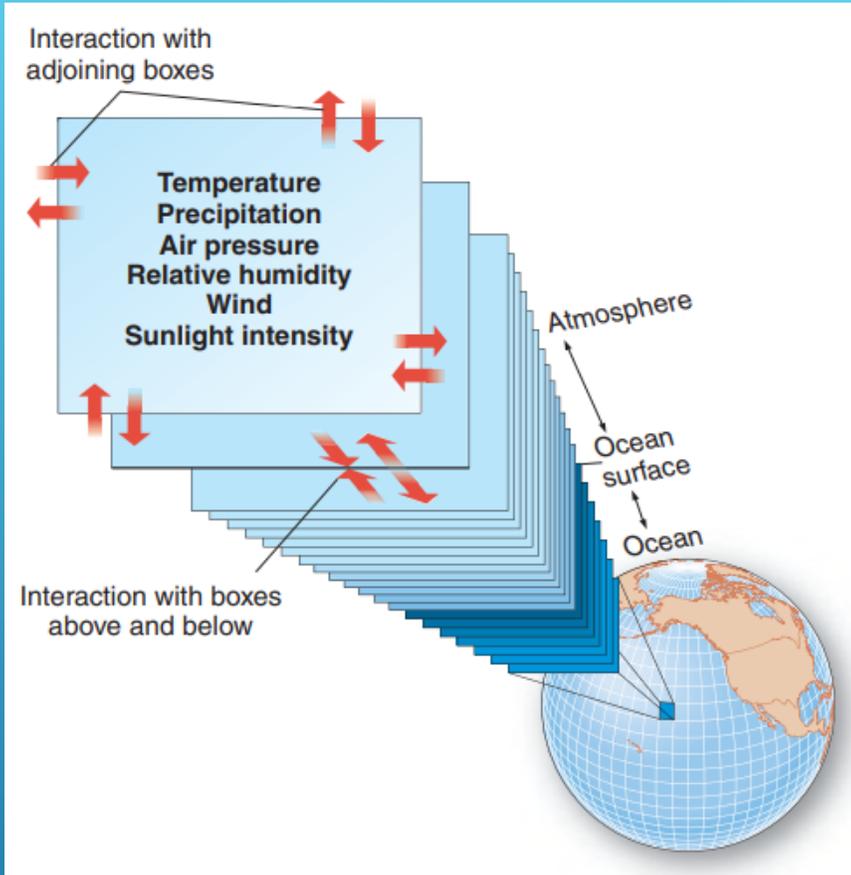
- ▶ Ballons-sondes, avions => profils verticaux de l'atmosphère
- ▶ Pour connaître T°C, % hygro, turbulences dans la stratosphère

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

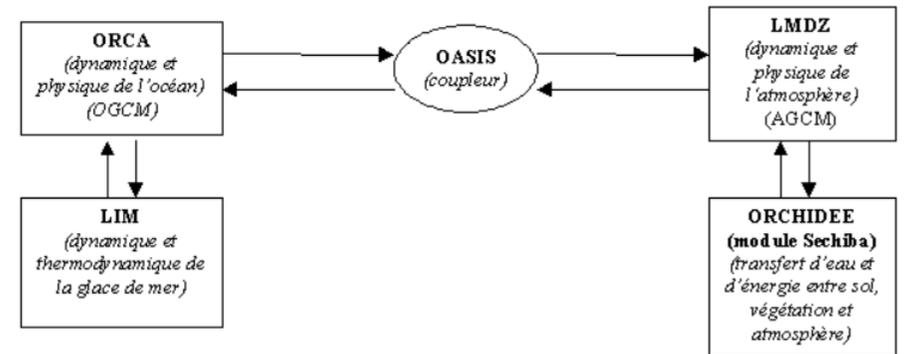


EUMETSAT

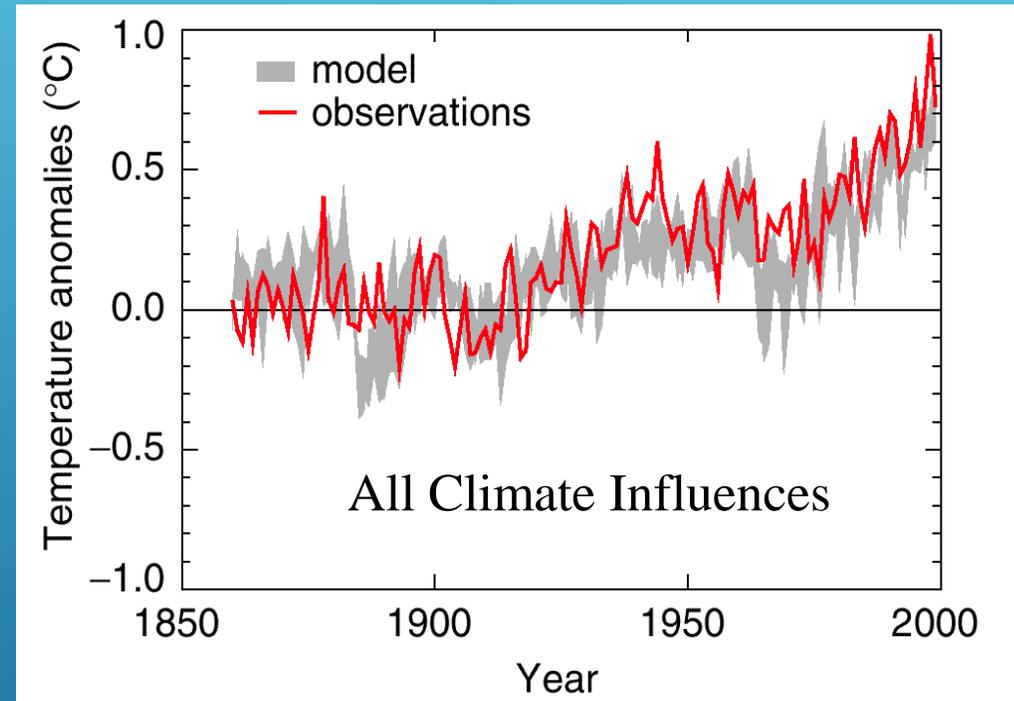
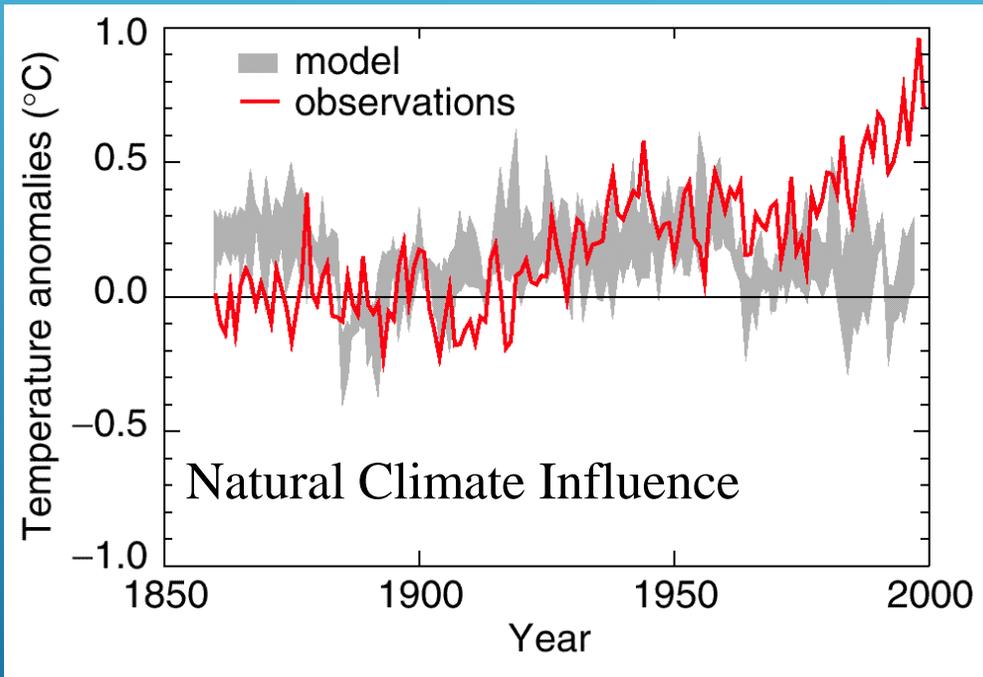


Global Circulation Model (GCM)

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

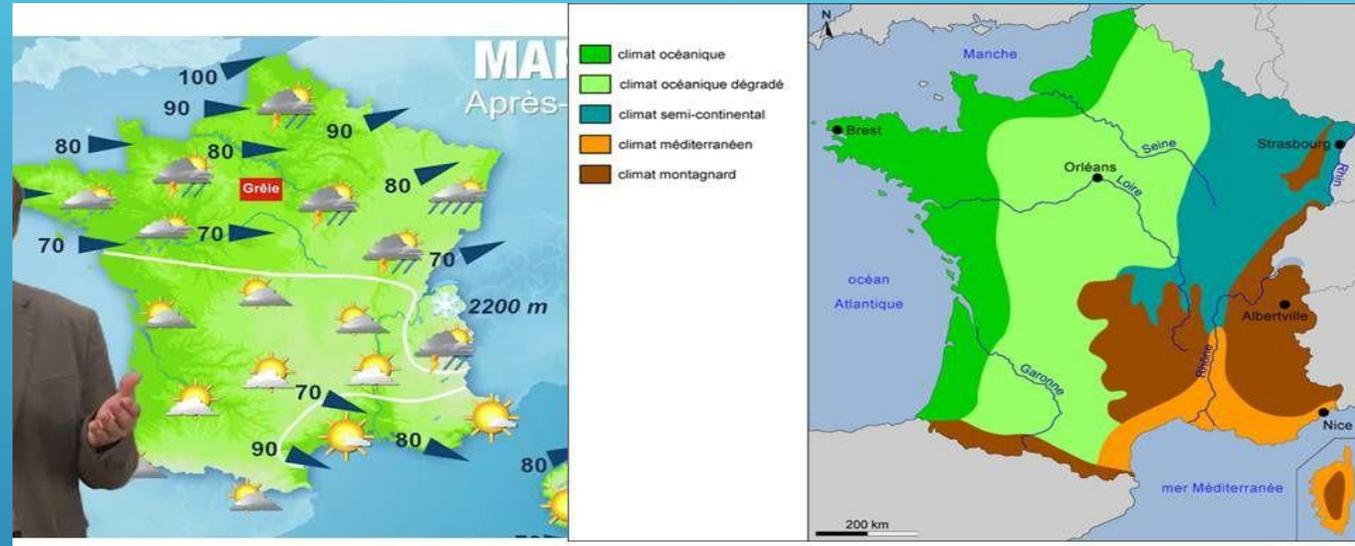
1.3. 1.3. Rappels en géographie physique: différencier climat et météo

Météorologie

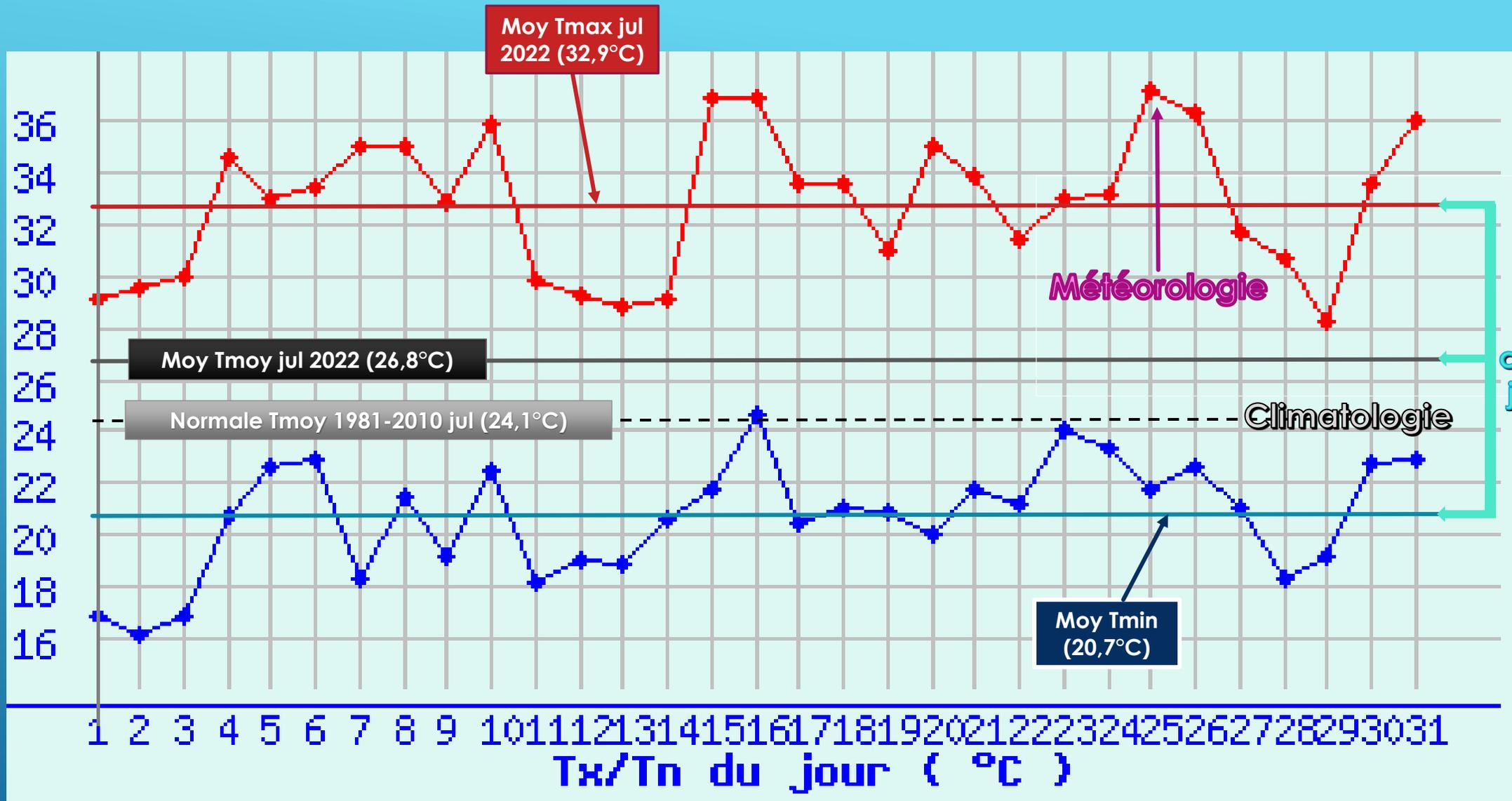
- « The actual state of the atmosphere in a period of several hours up to a few days (in a given place) », Gramelsberger & Feichter, 2011

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

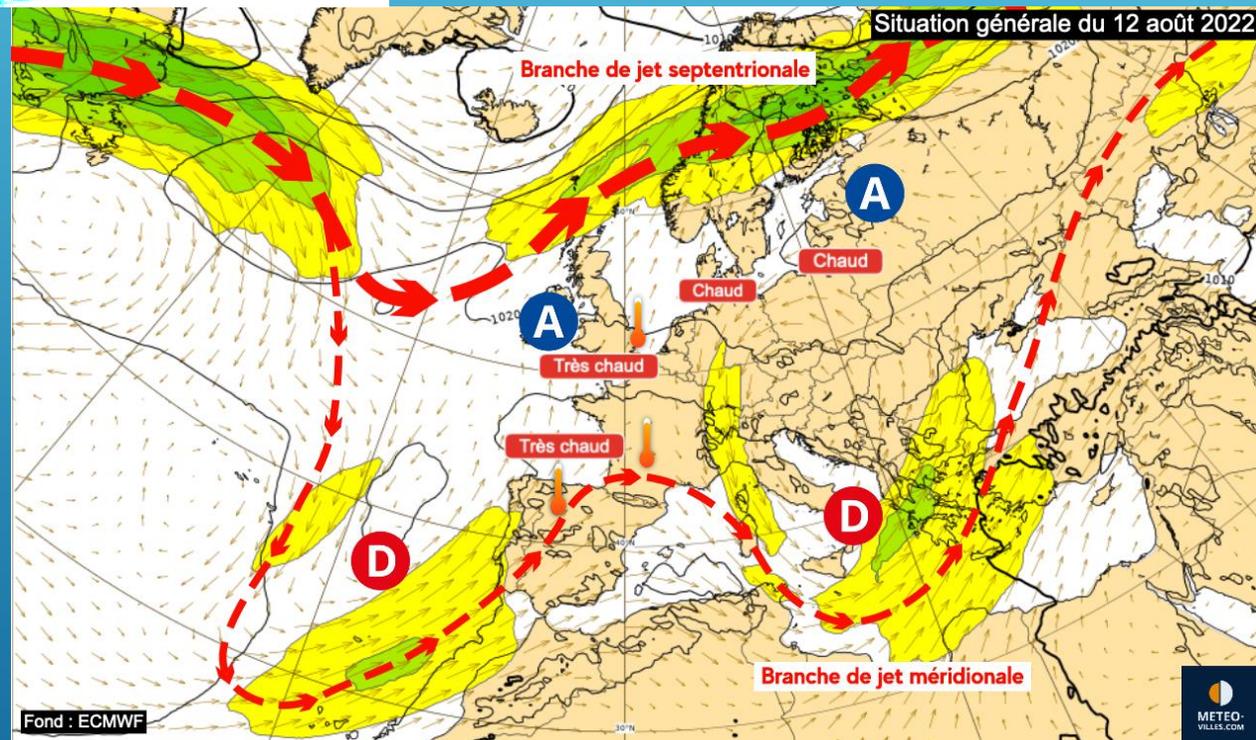
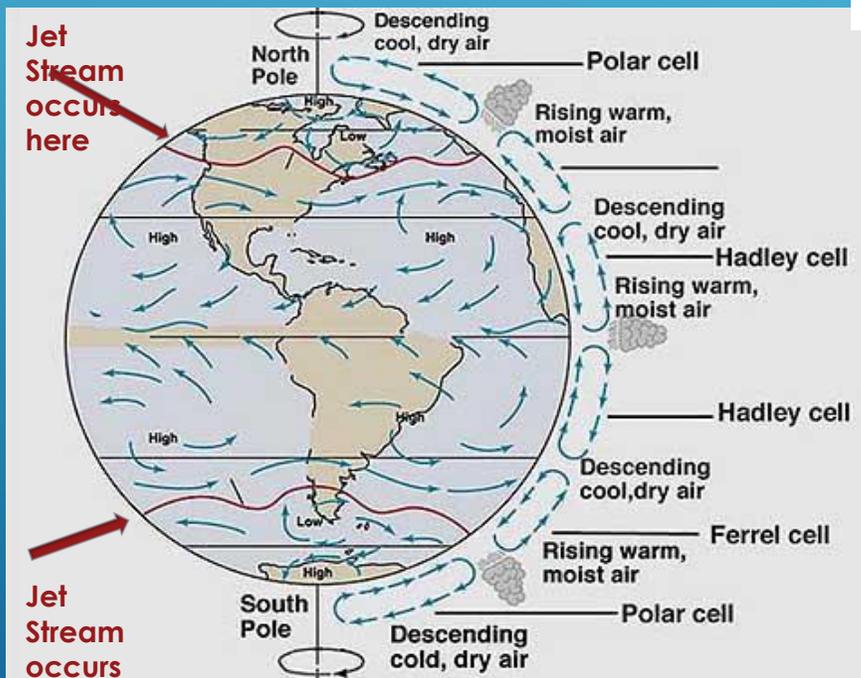
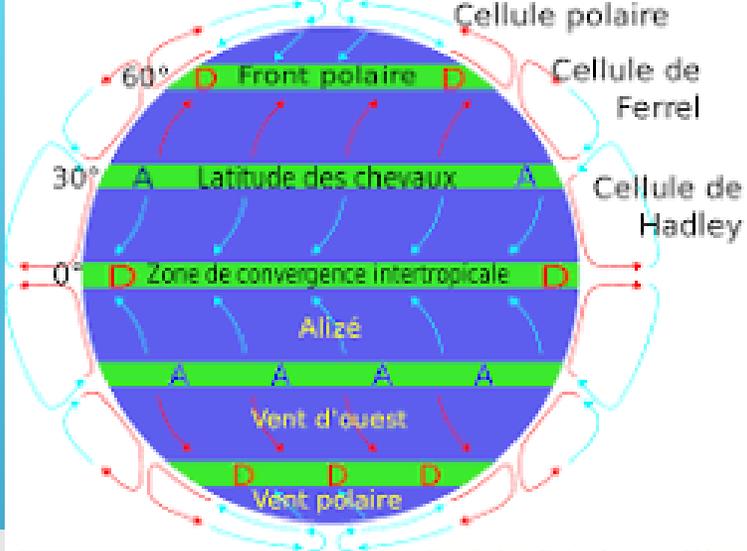


METEO ≠ CLIMAT



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

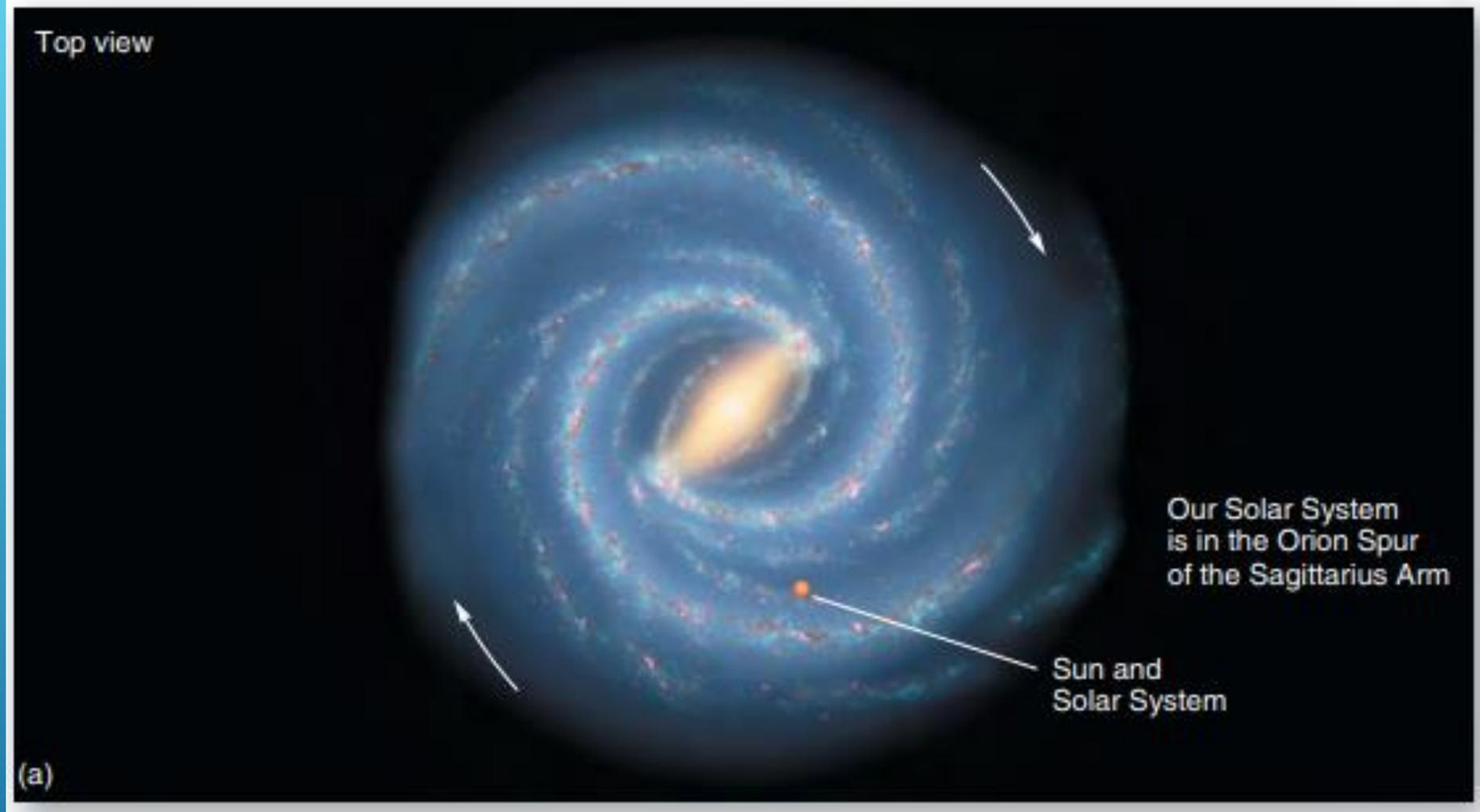
► BIOTIQUES

- Transpiration
- Respiration
- Photosynthèse
- Décomposition
- Digestion

FACTEURS INFLUANT SUR LE CLIMAT



VARIATIONS ORBITALES – LA TERRE, CORPS CELESTE

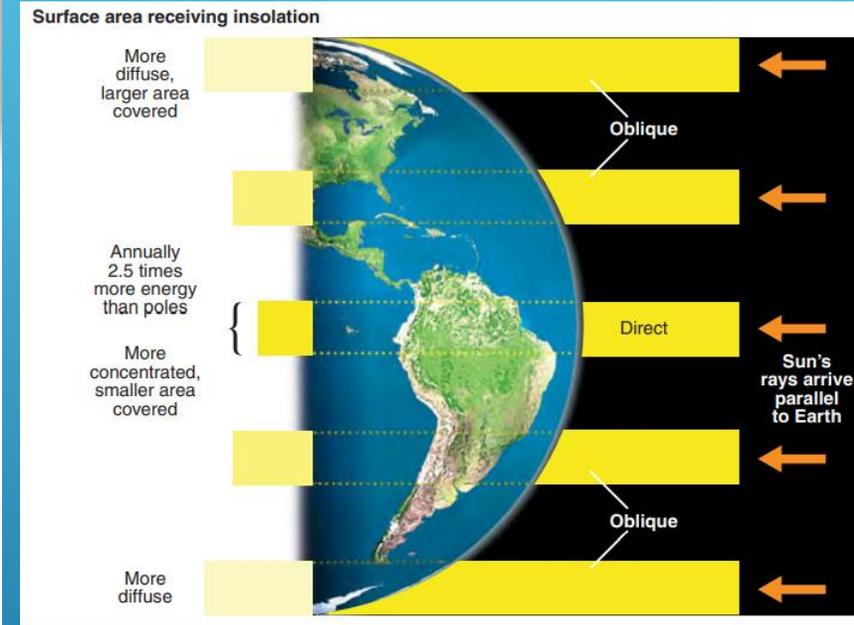
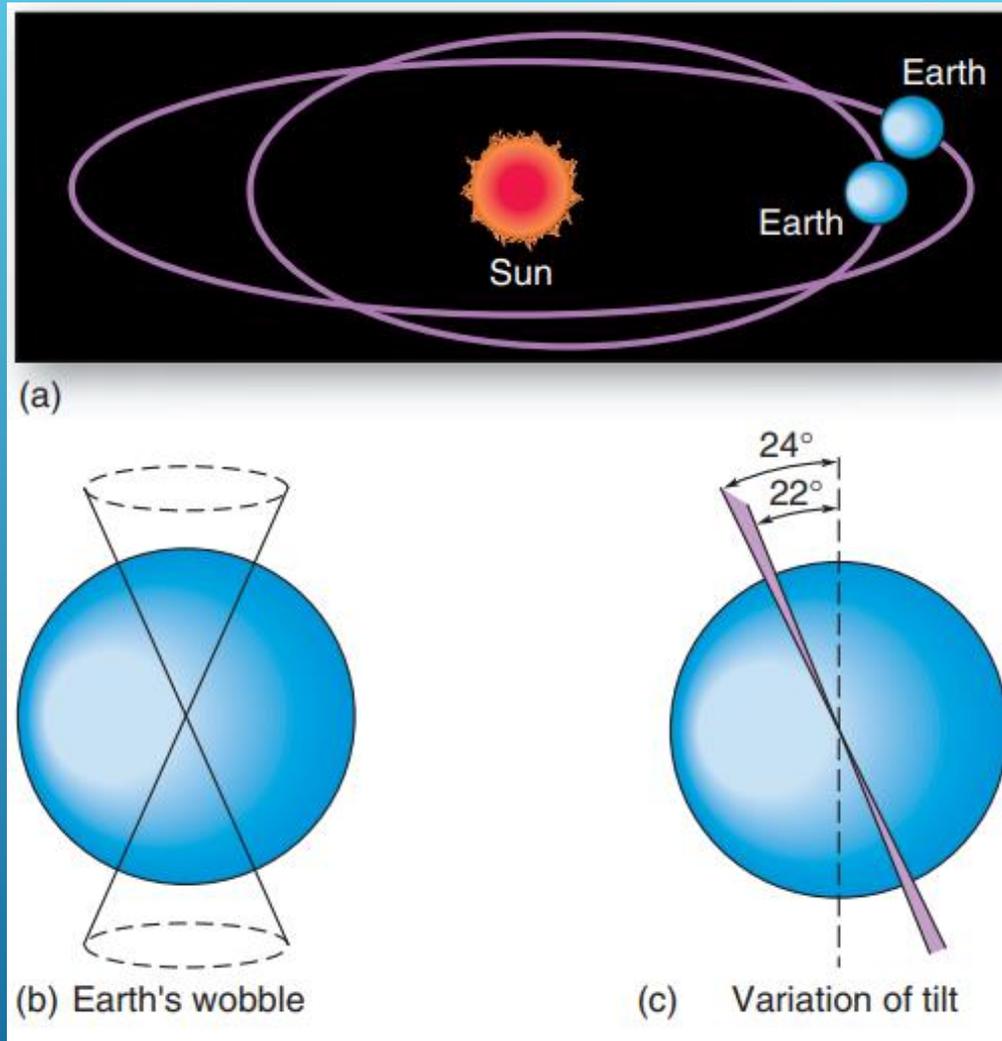


VARIATIONS ORBITALES: LOCALISATION DANS LA VOIE LACTÉE

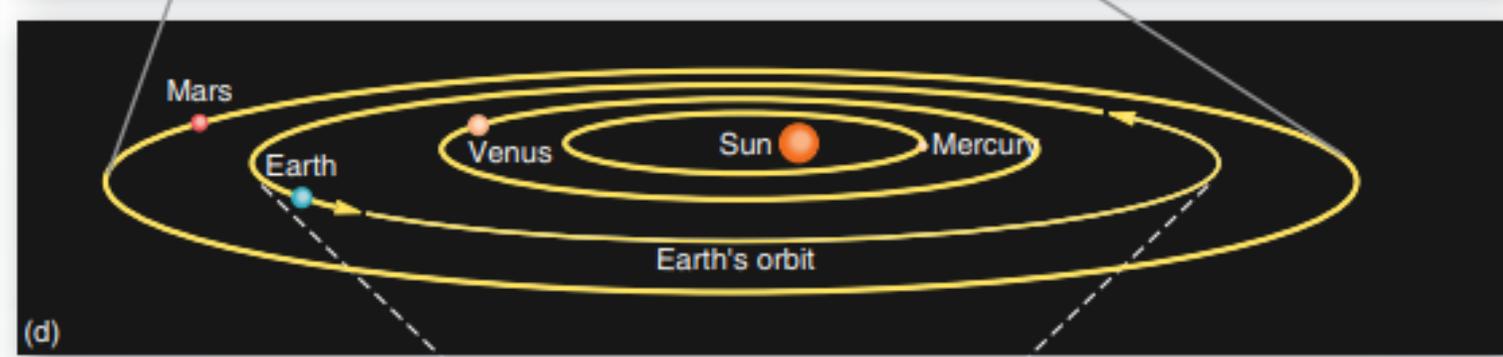
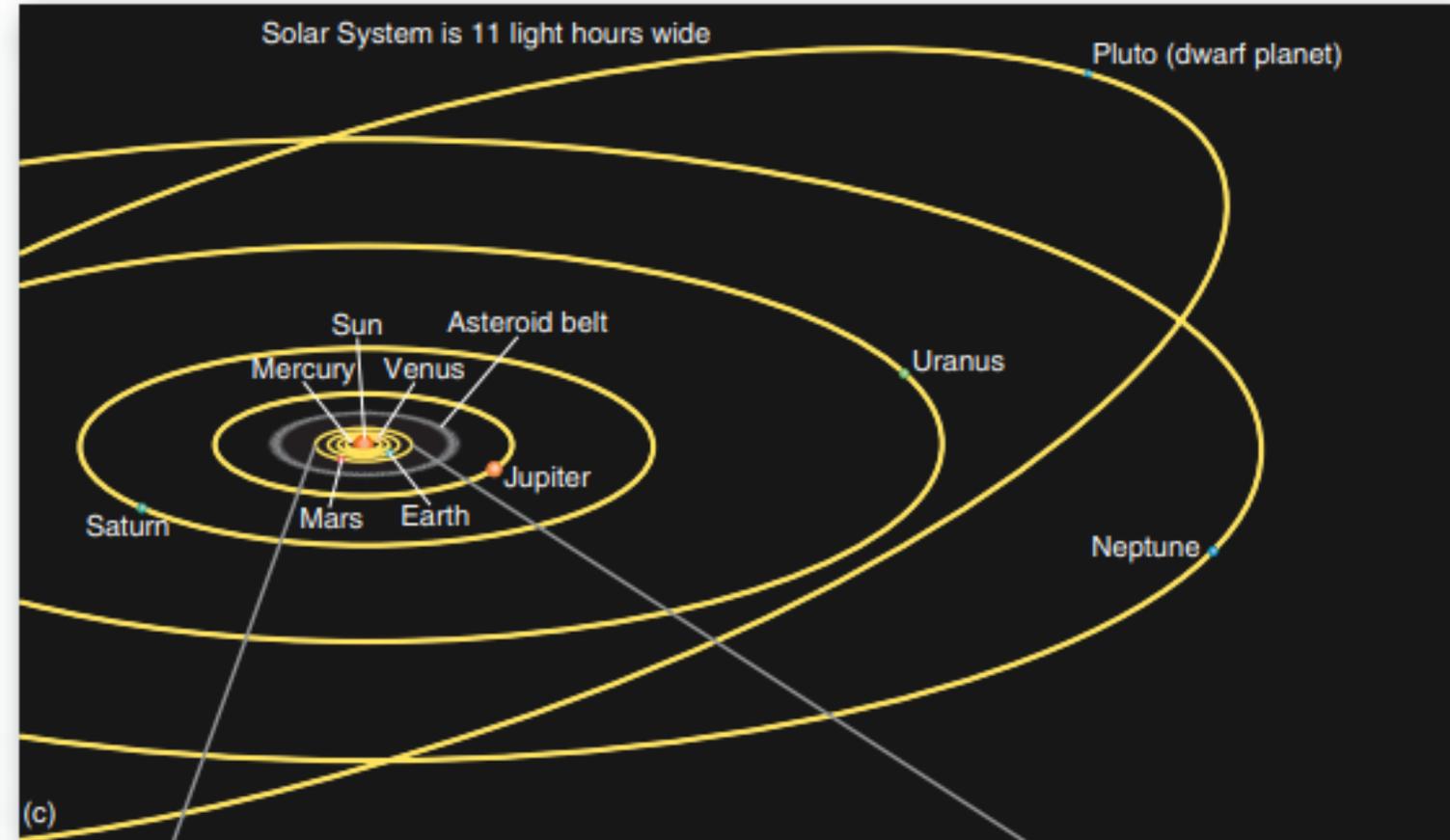


VARIATIONS ORBITALES: LOCALISATION DANS LA
VOIE LACTEE

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)

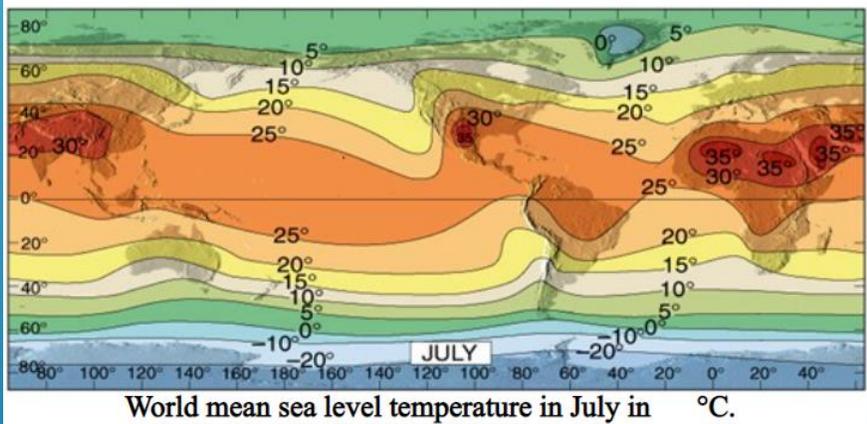
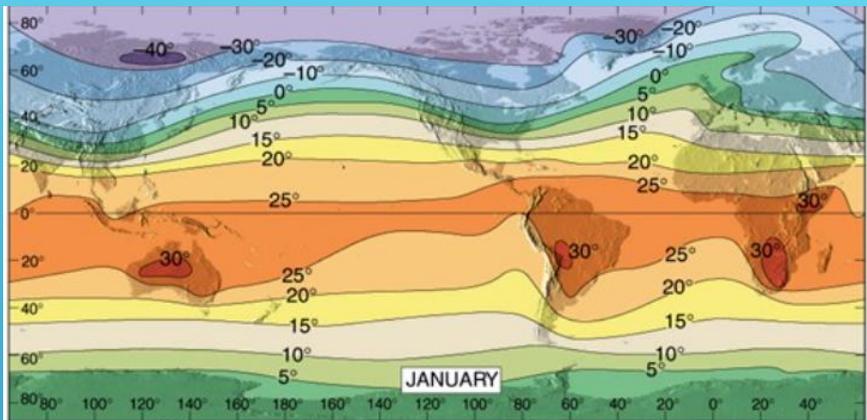
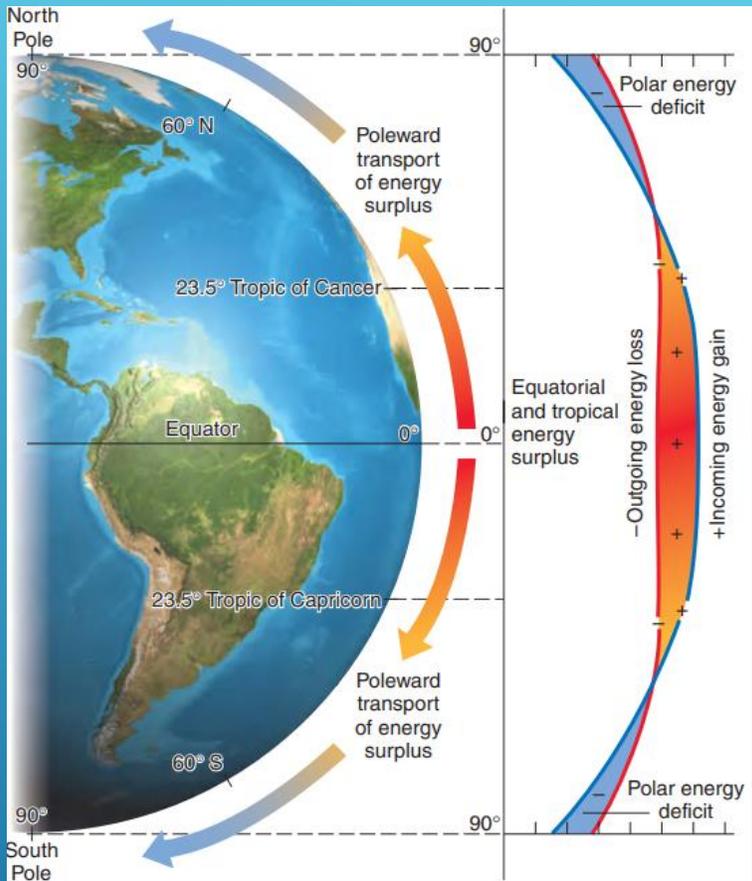
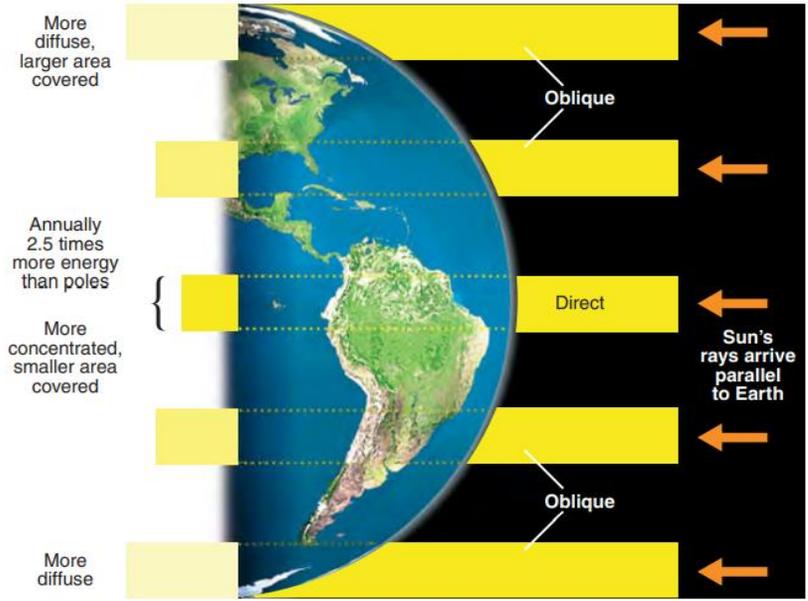
Sun

Focus of Earth's elliptical orbit

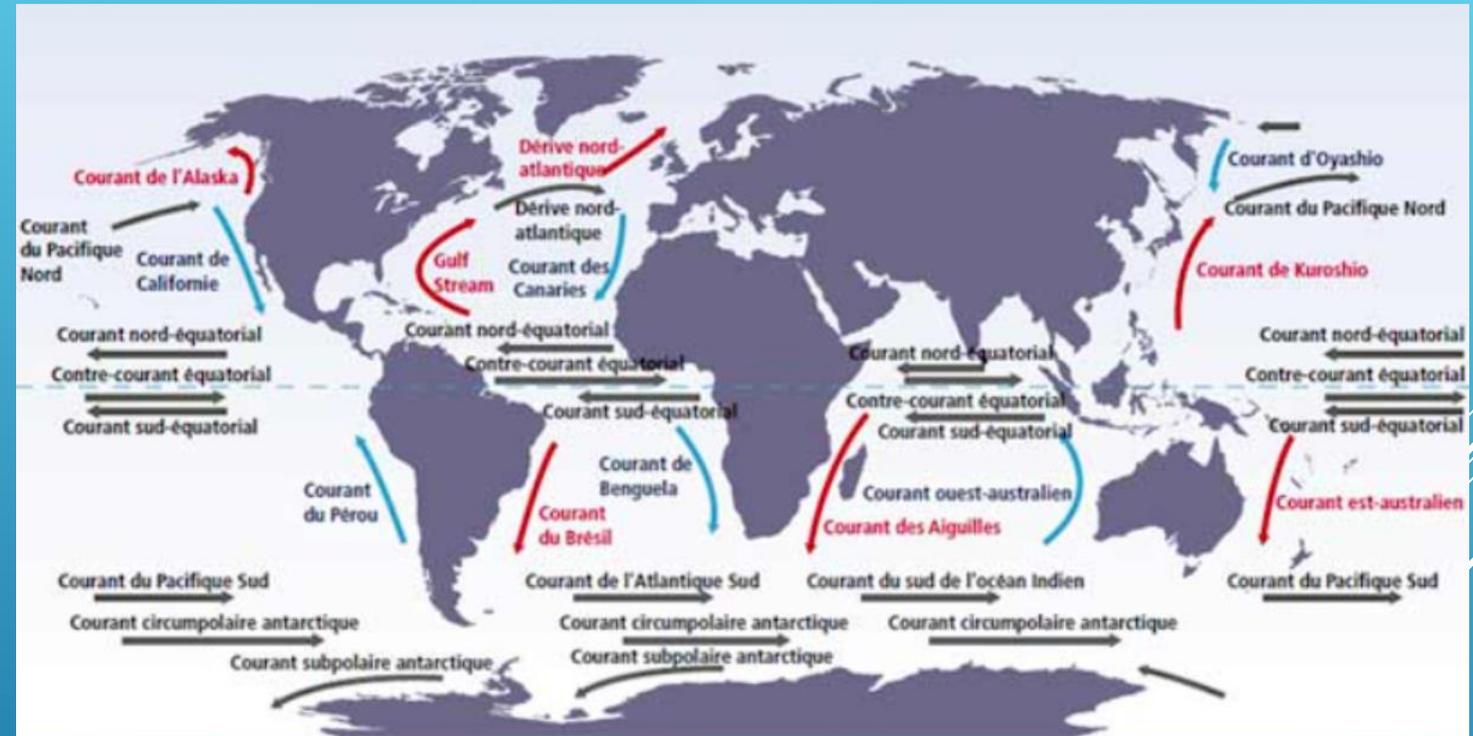
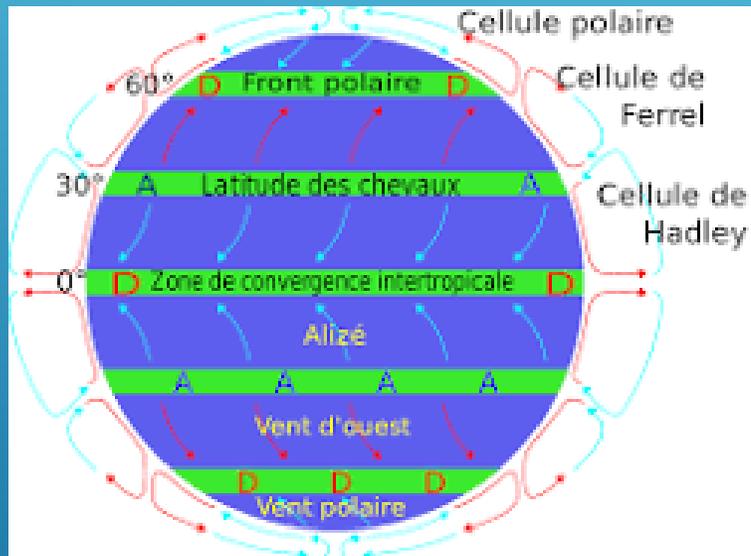
Closest to Sun—perihelion, January 3
147,255,000 km
(91,500,000 mi)

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.

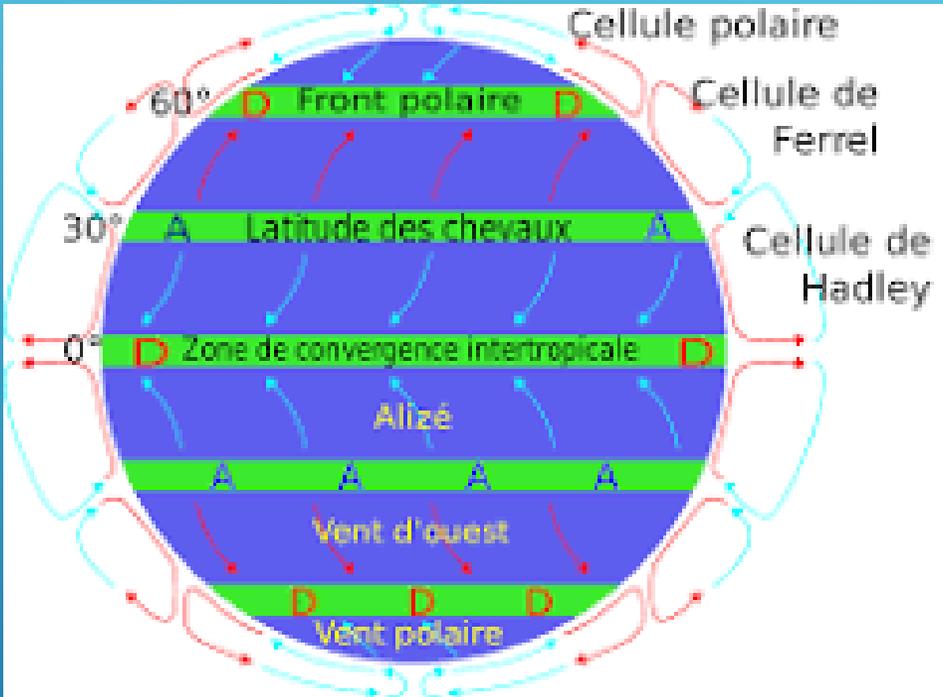
Surface area receiving insolation



LATITUDE ET BILAN ÉNERGÉTIQUE GLOBAL

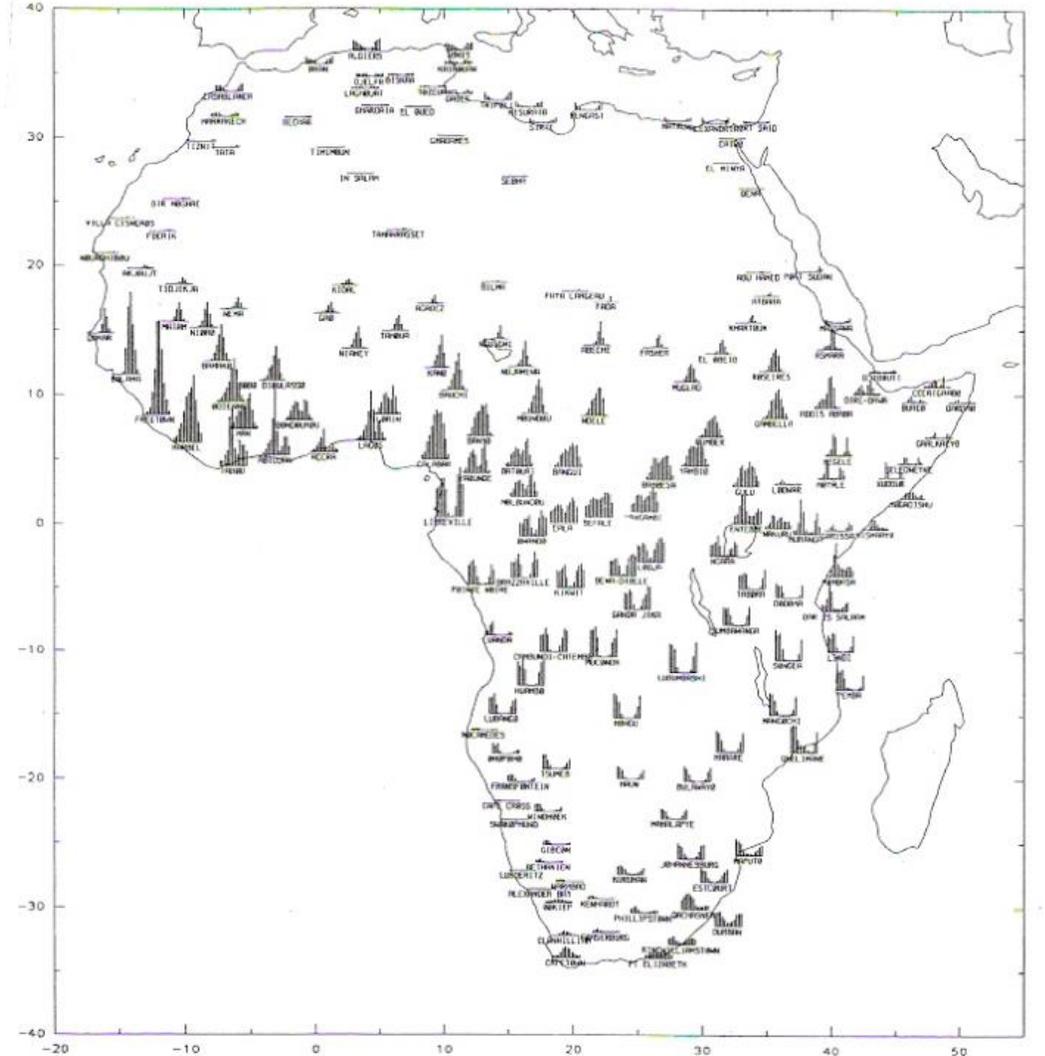


CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE, CIRCULATION OCÉANIQUE (THERMOHALINE)

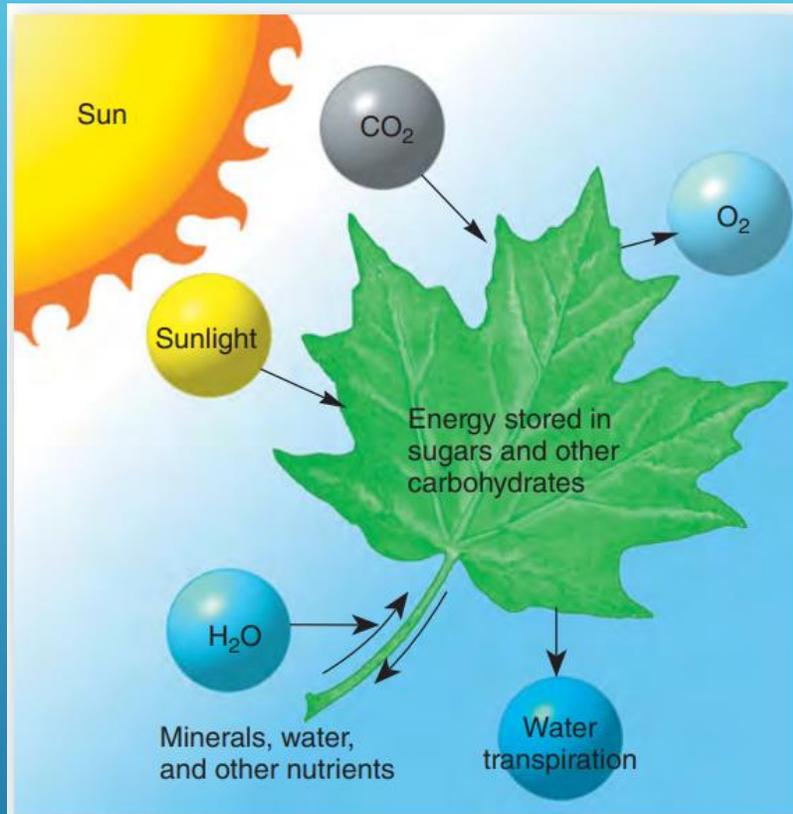


CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE ET
 PRECIPITATIONS (ICI ECHELLE
 CONTINENT AFRICAIN)

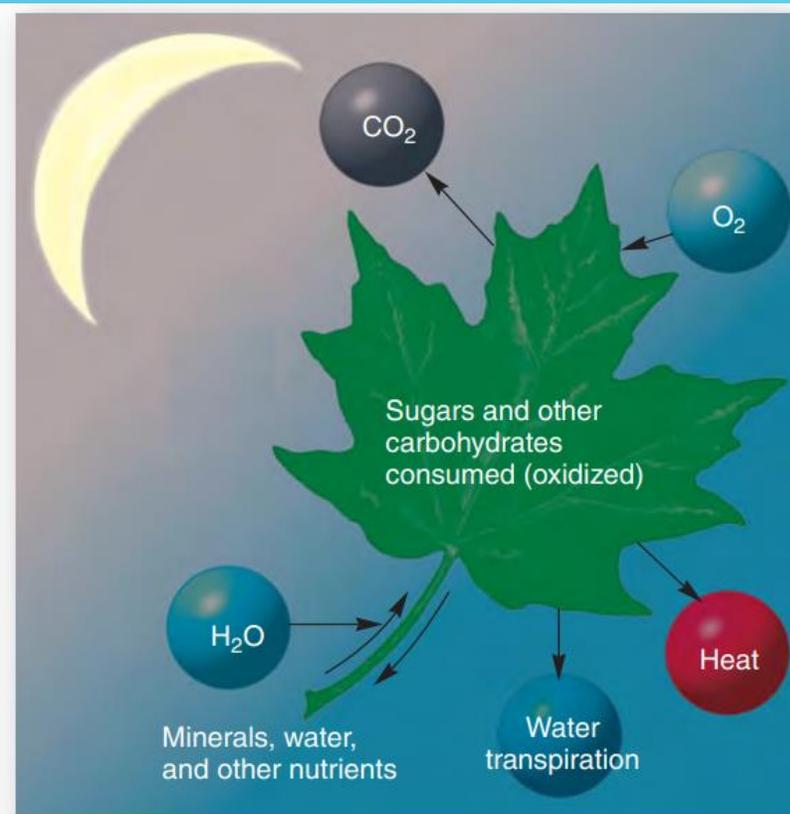
MONTHLY DISTRIBUTION OF RAINFALL AT SELECTED LOCATIONS



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



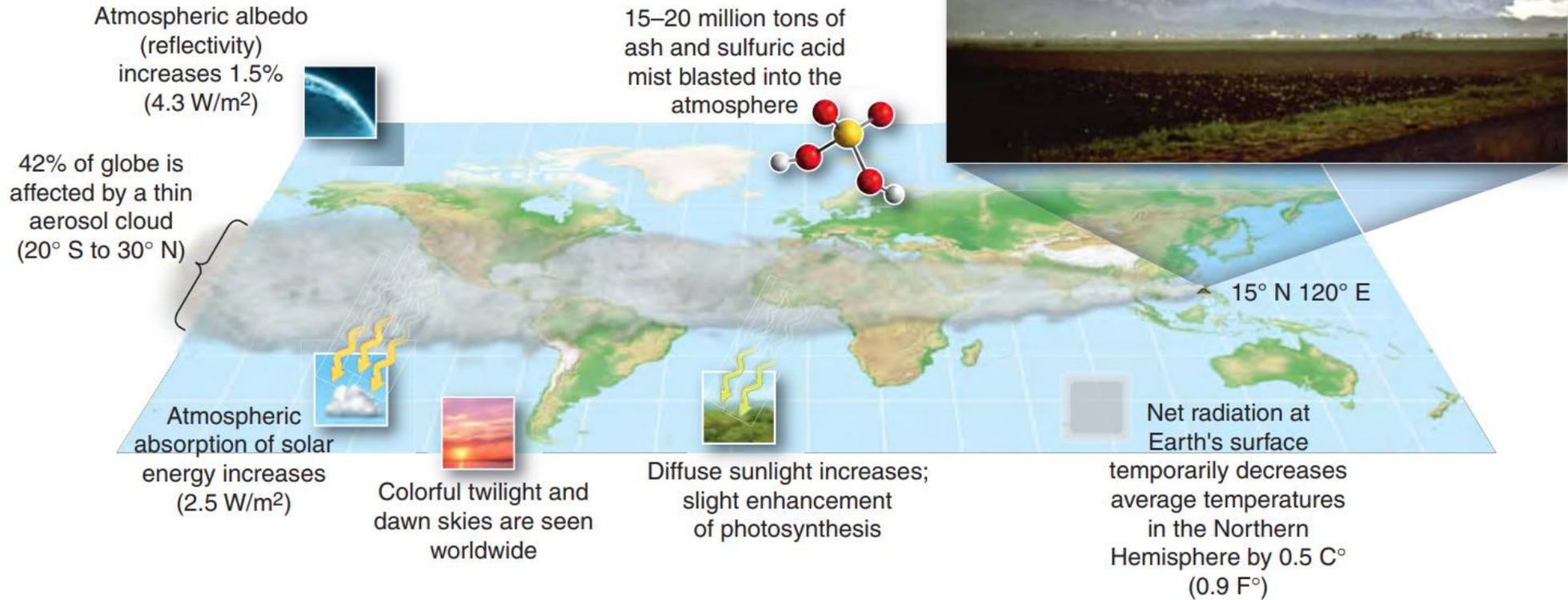
(a) Plant photosynthesis



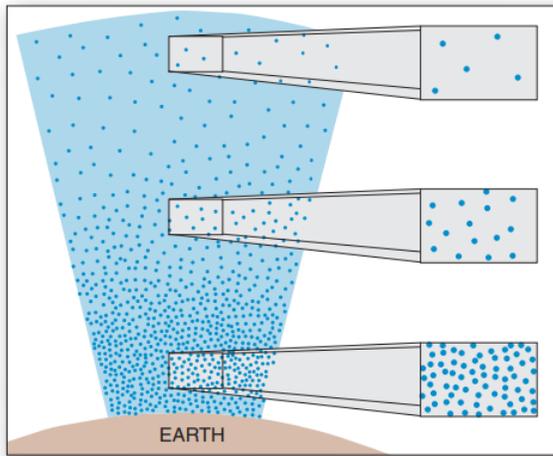
(b) Plant respiration

PHOTOSYNTHESIS, TRANSPIRATION & RESPIRATION

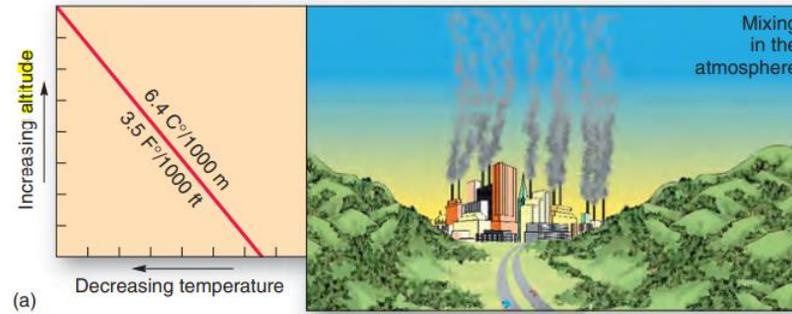
GLOBAL IMPACTS OF MOUNT PINATUBO ERUPTION—JUNE 15, 1991



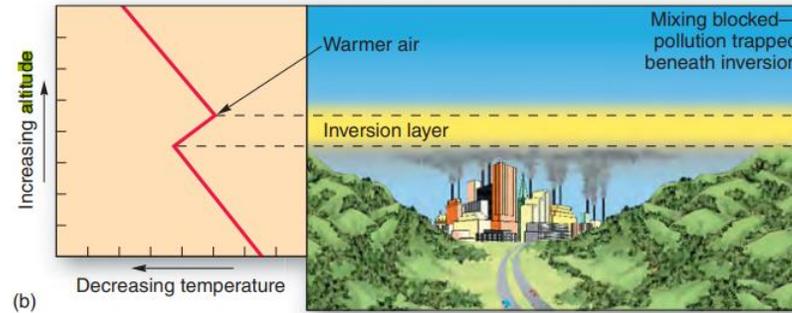
ACTIVITE VOLCANIQUE



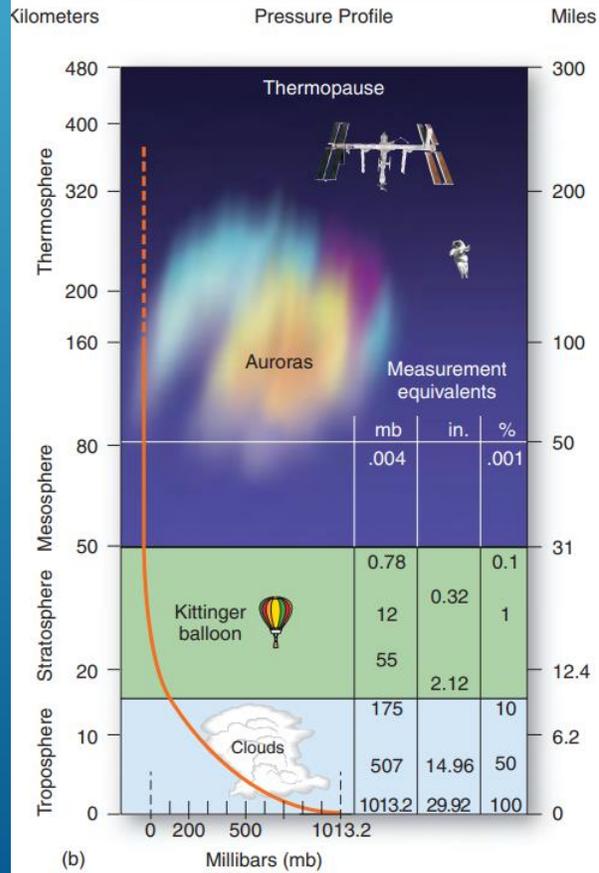
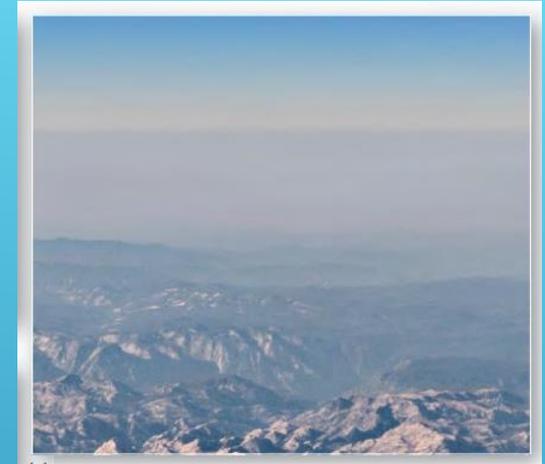
(a)



(a)



(b)



(b)

ALTITUDE

Étage altitudinal de la température

Gradient de températures moyennes selon l'altitude

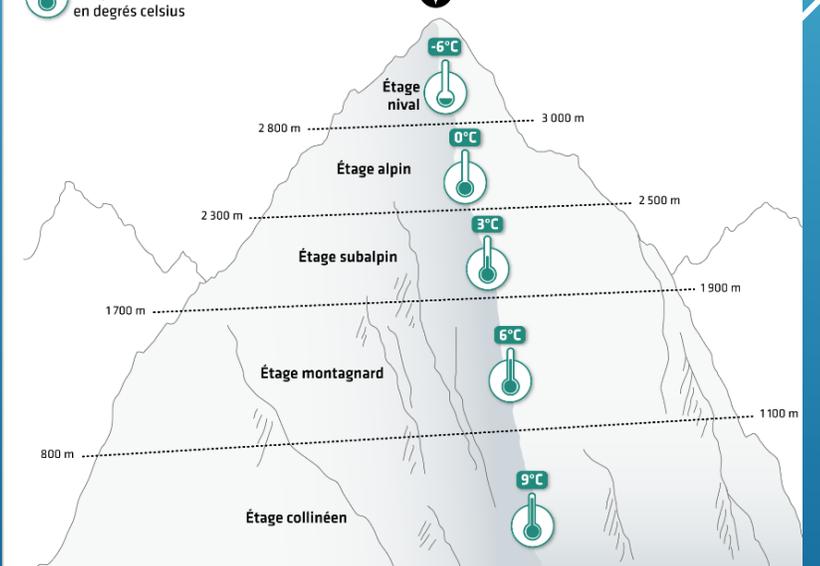


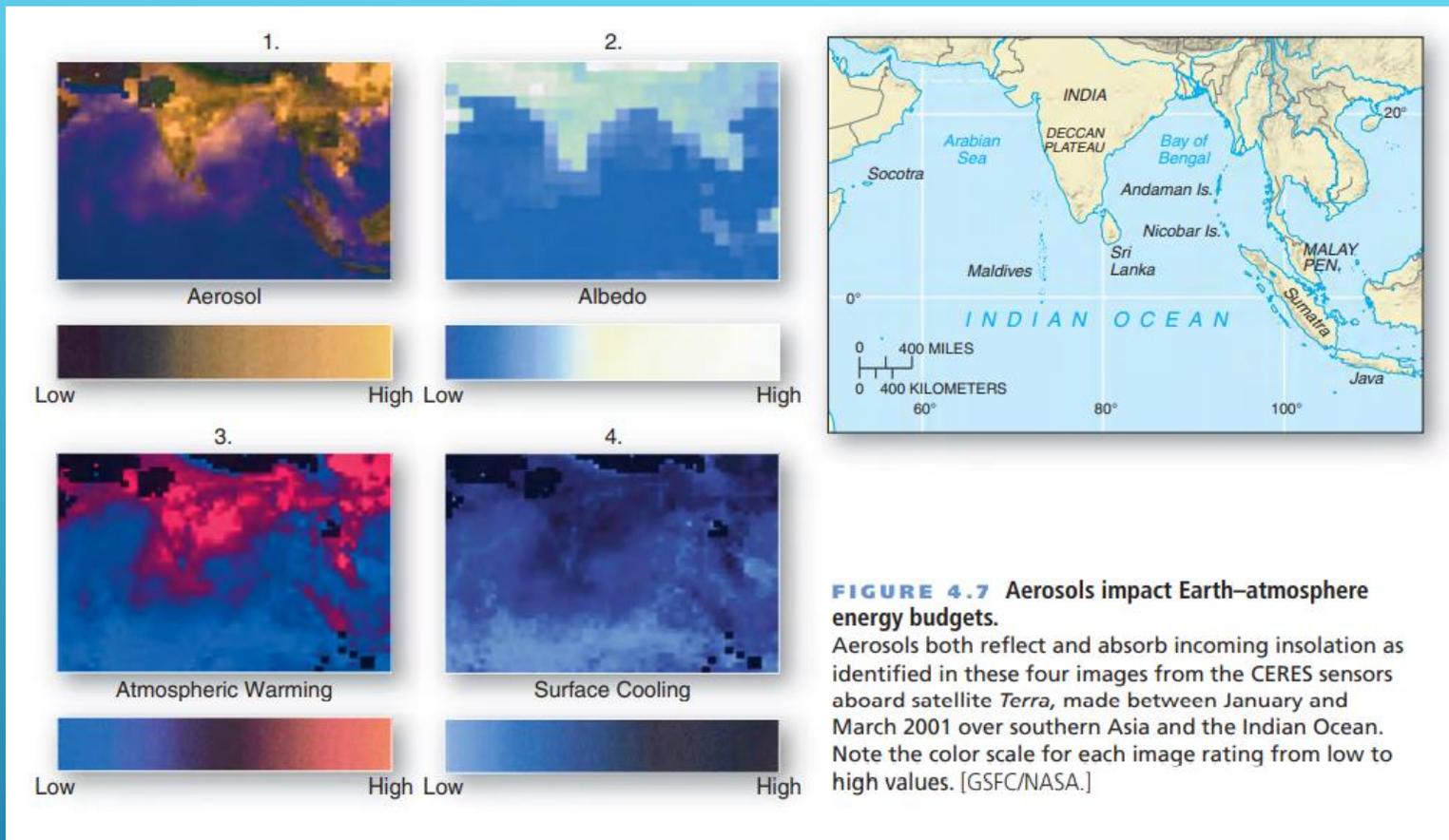
Température moyenne annuelle en degrés celsius

Versant nord



Versant sud





RADIATION SOLAIRE – NÉBULOSITÉ - ALBÉDO

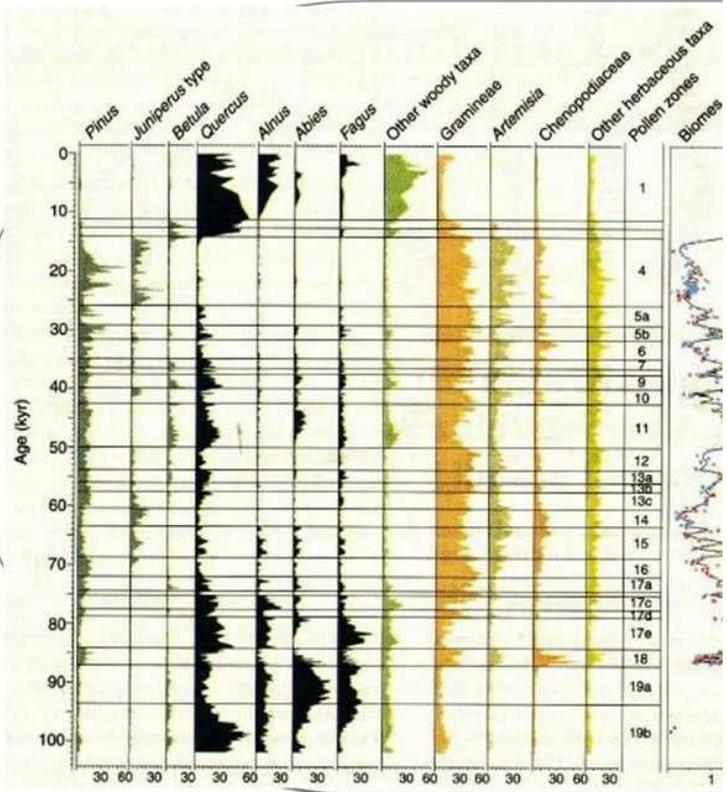
2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

2.1. Variabilité climatique préhistorique

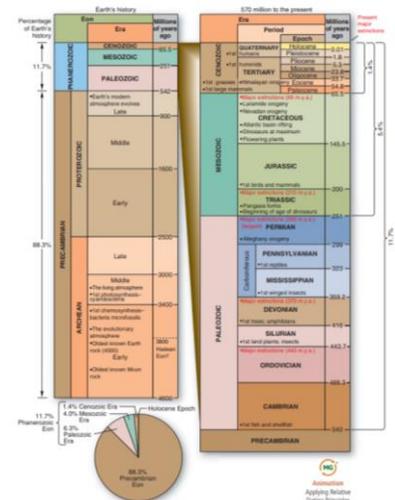
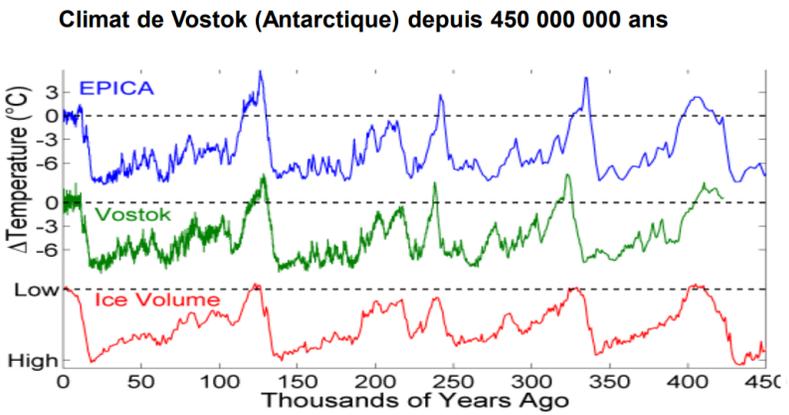
2.2. Variabilité climatique historique

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



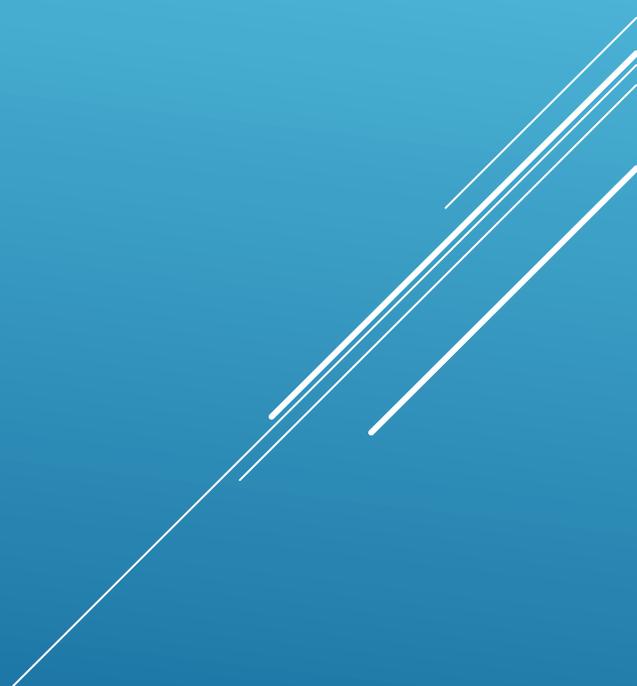
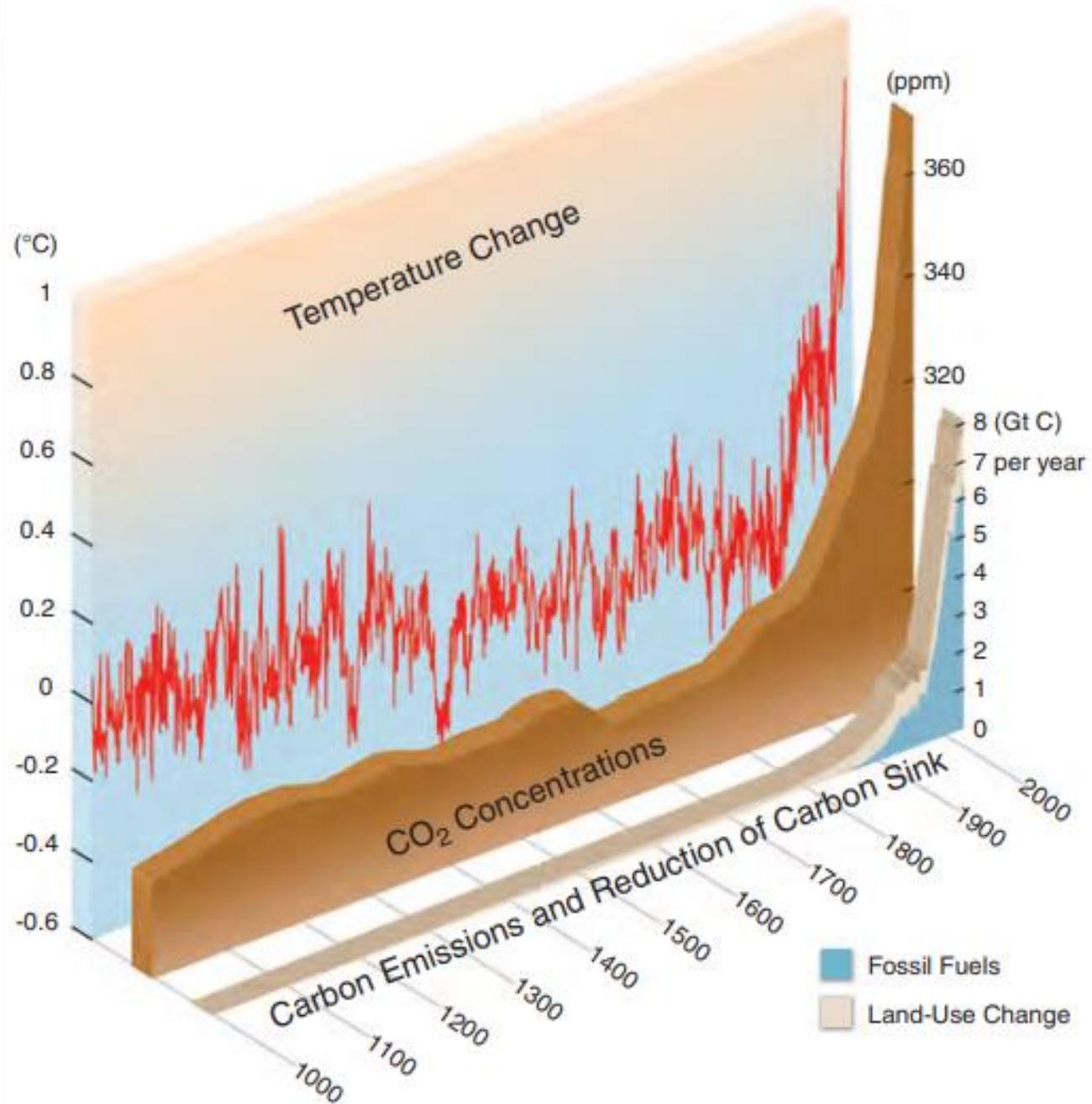
2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

2.1. Variabilité climatique préhistorique

2.2. Variabilité climatique historique

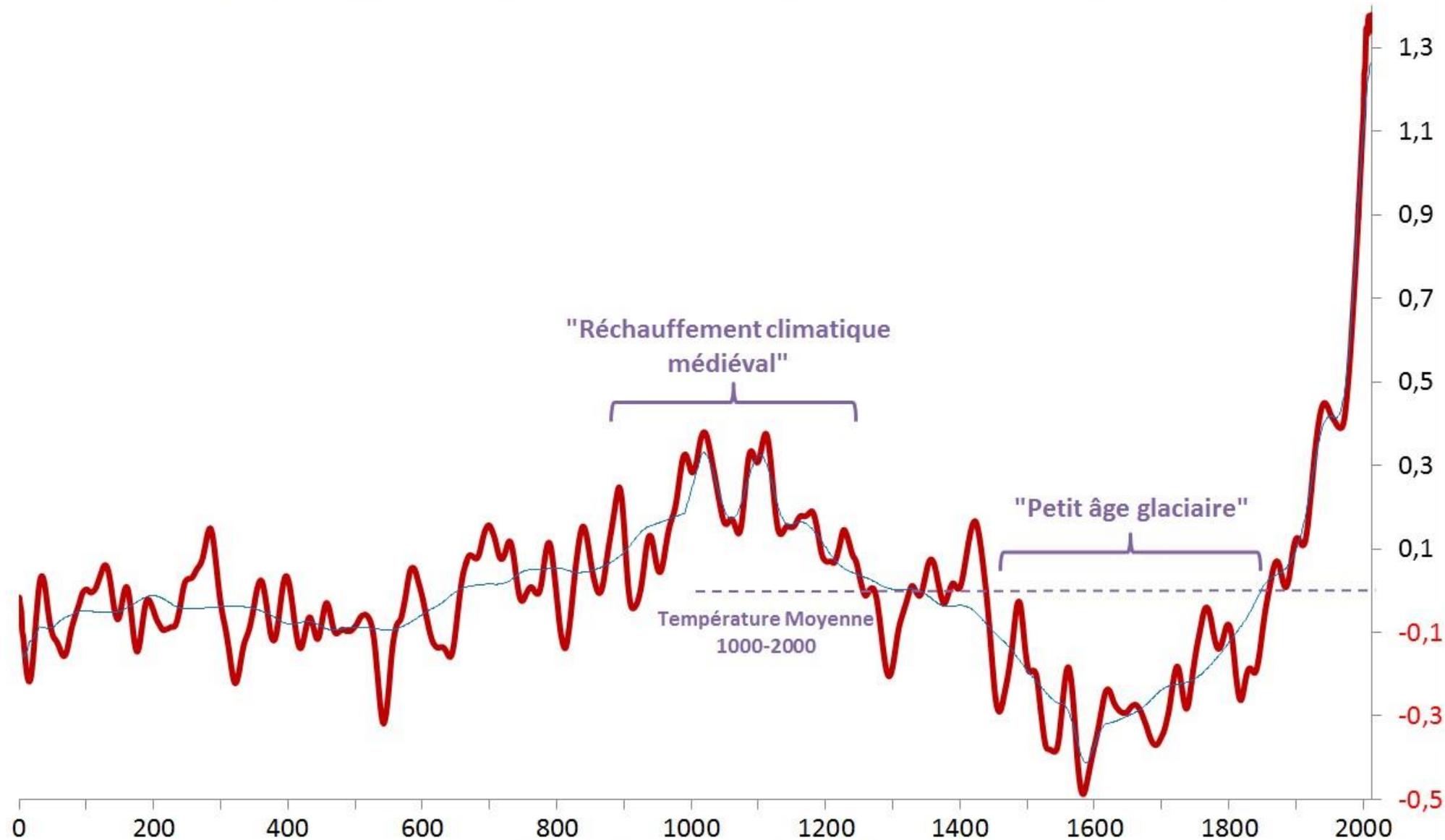
2.3. Quantifier et qualifier l'évolution présente/future du climat

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)



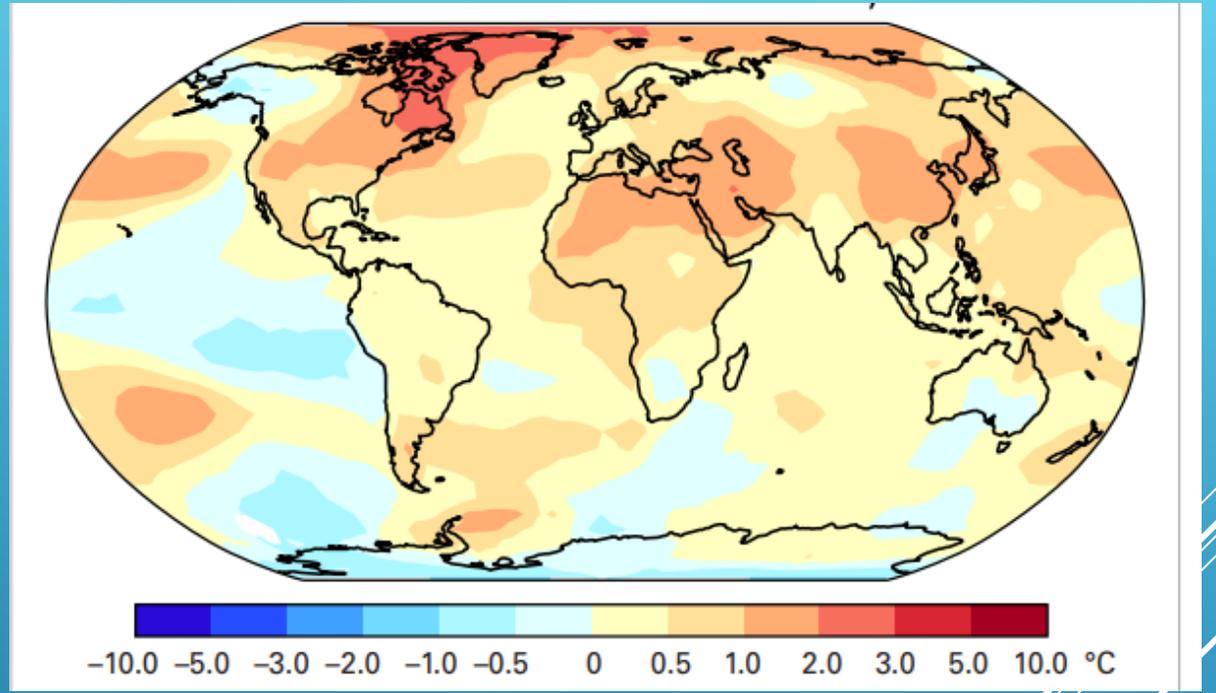
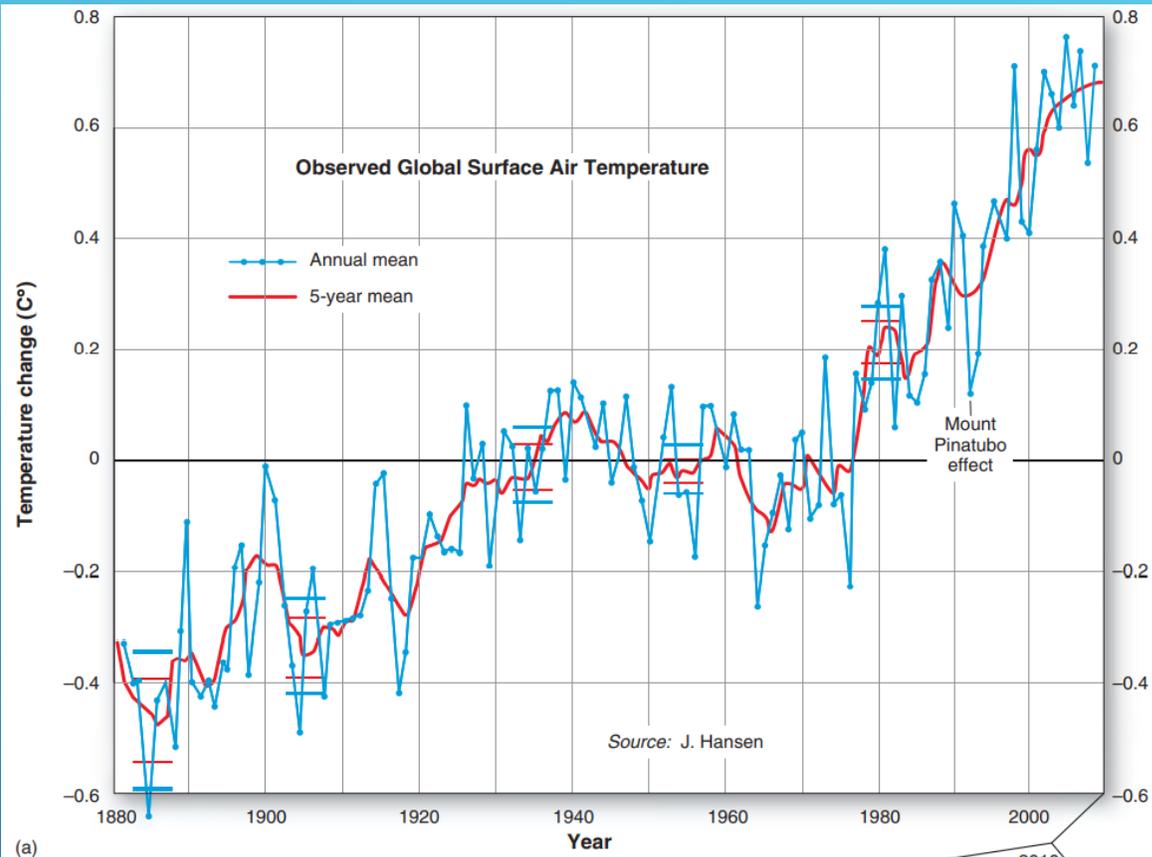
2. Changement(s) climatique(s) naturels et anthropogénique

2.1. Variabilité climatique préhistorique

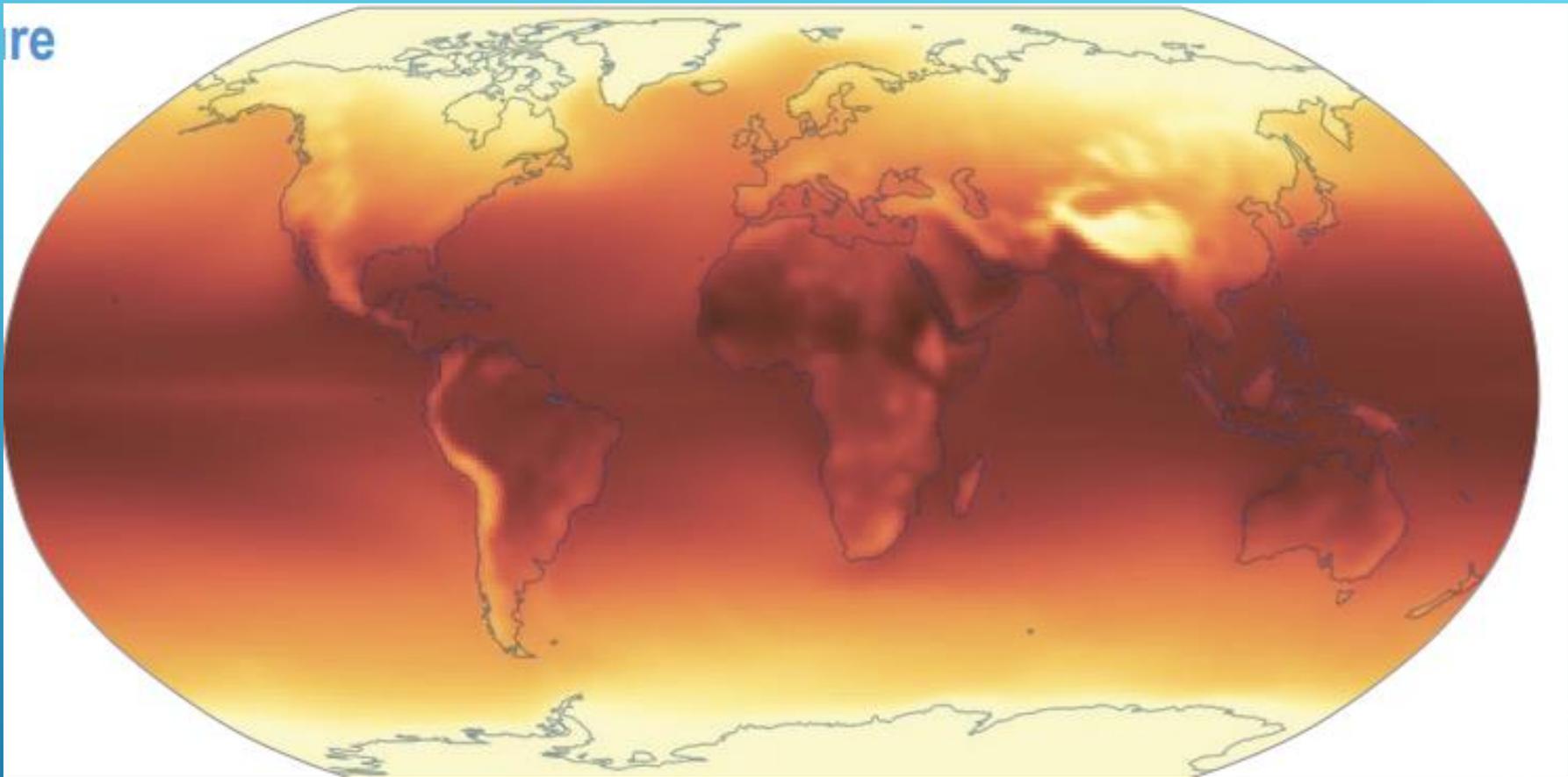
2.2. Variabilité climatique historique

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

CHANGEMENTS CLIMATIQUES NATURELS ET
ANTHROPOGÉNIQUES

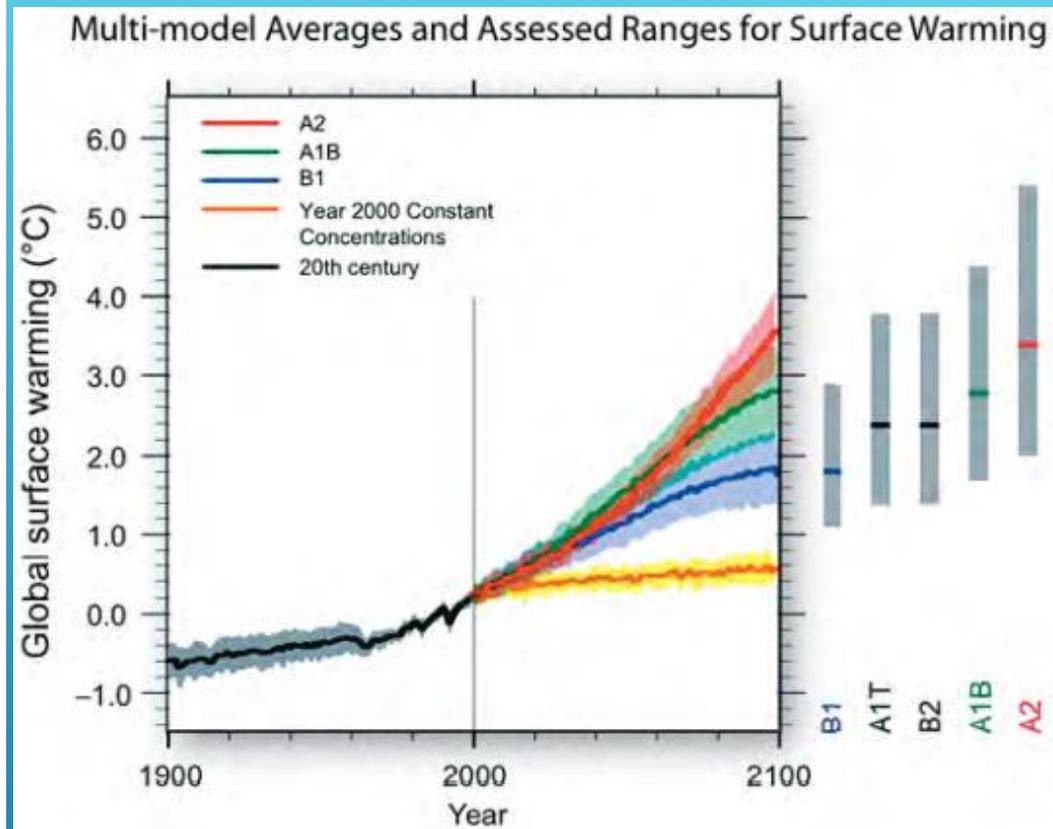
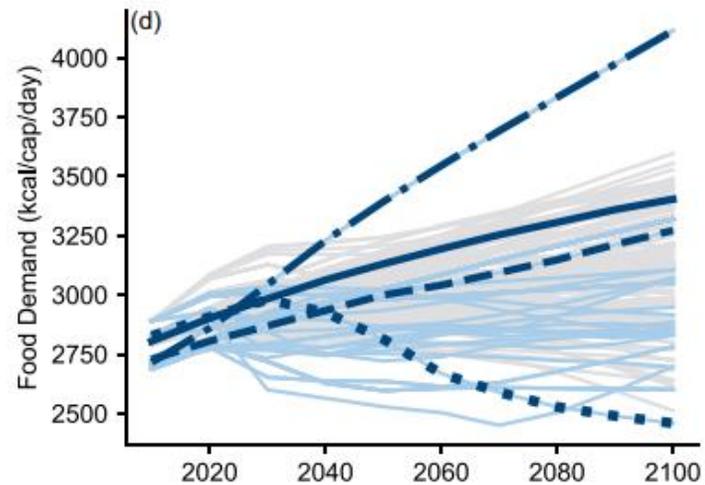
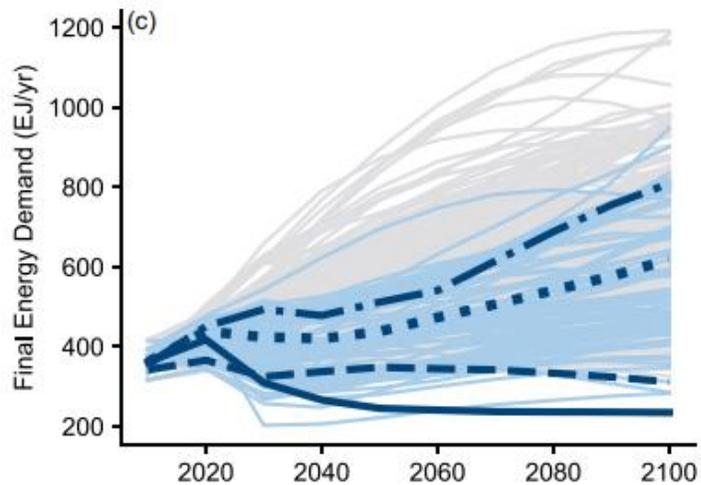
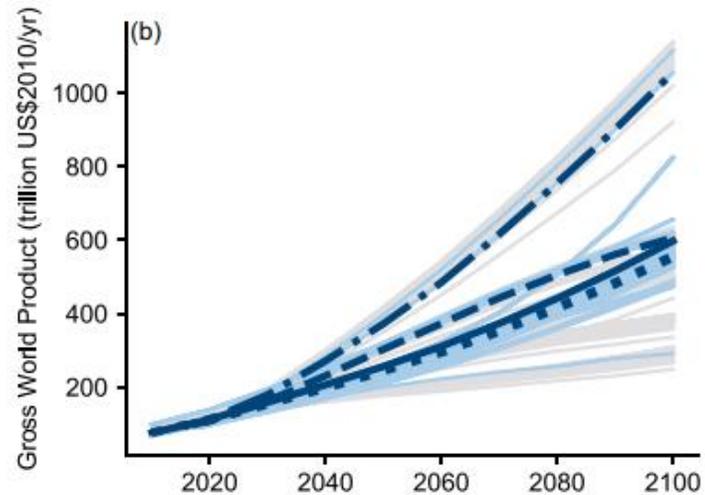
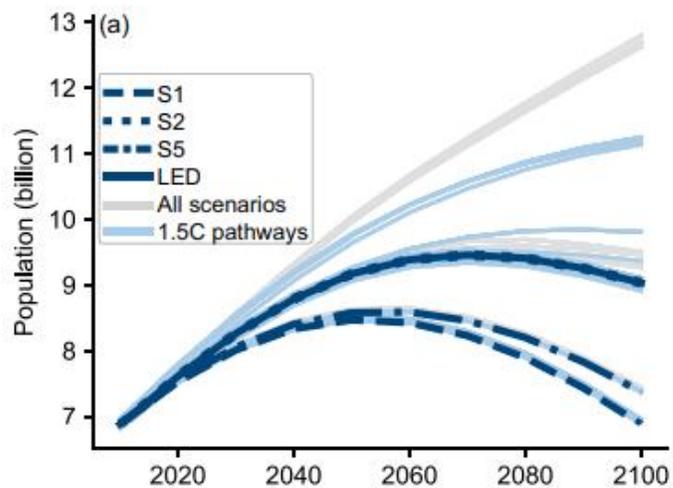


Anomalie médiane de l'écart des T°C pour l'année 2021 par rapport à la moyenne de 1981-2010

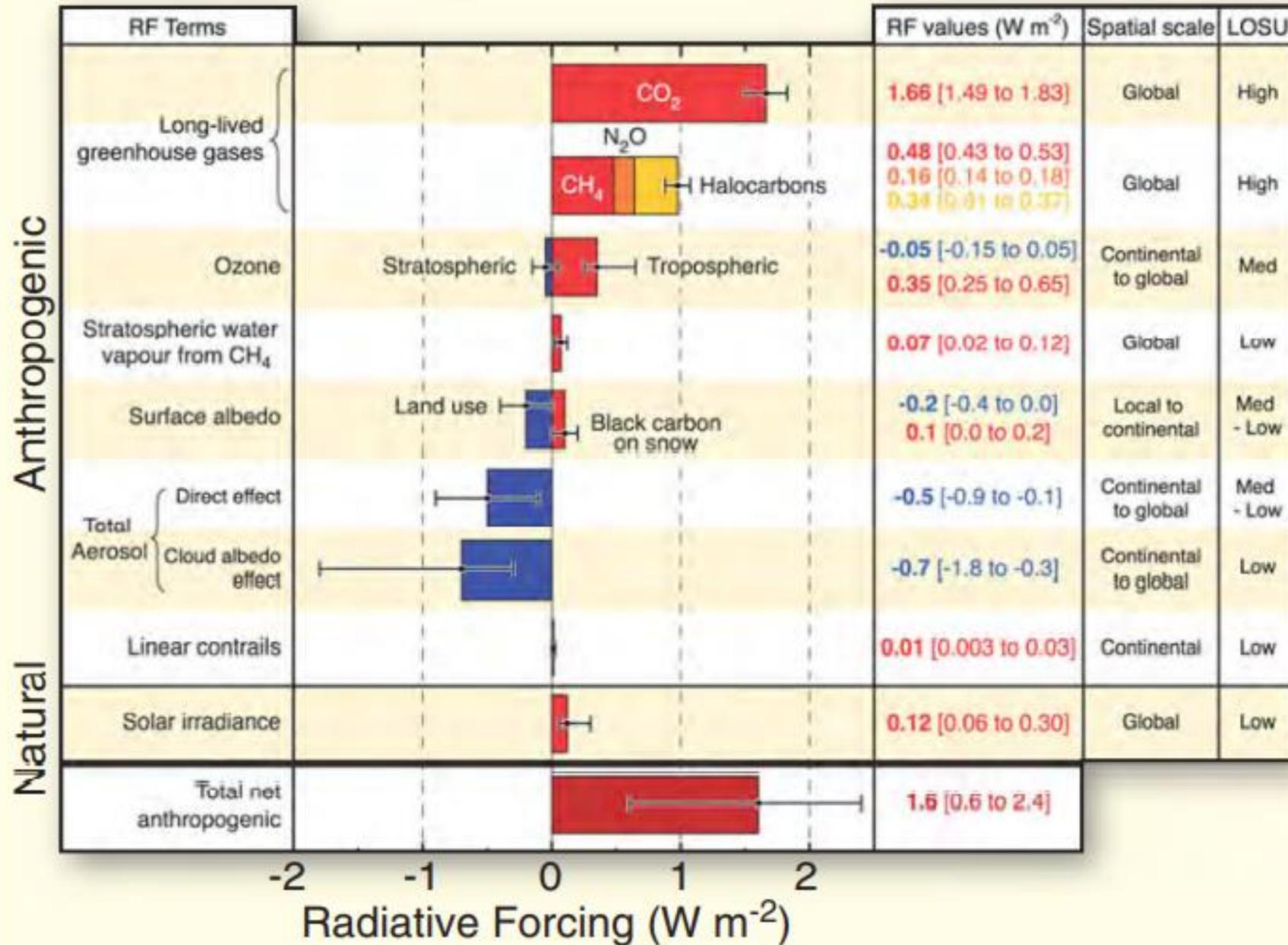


Observed mean temperature (°C)
Period 1995–2014

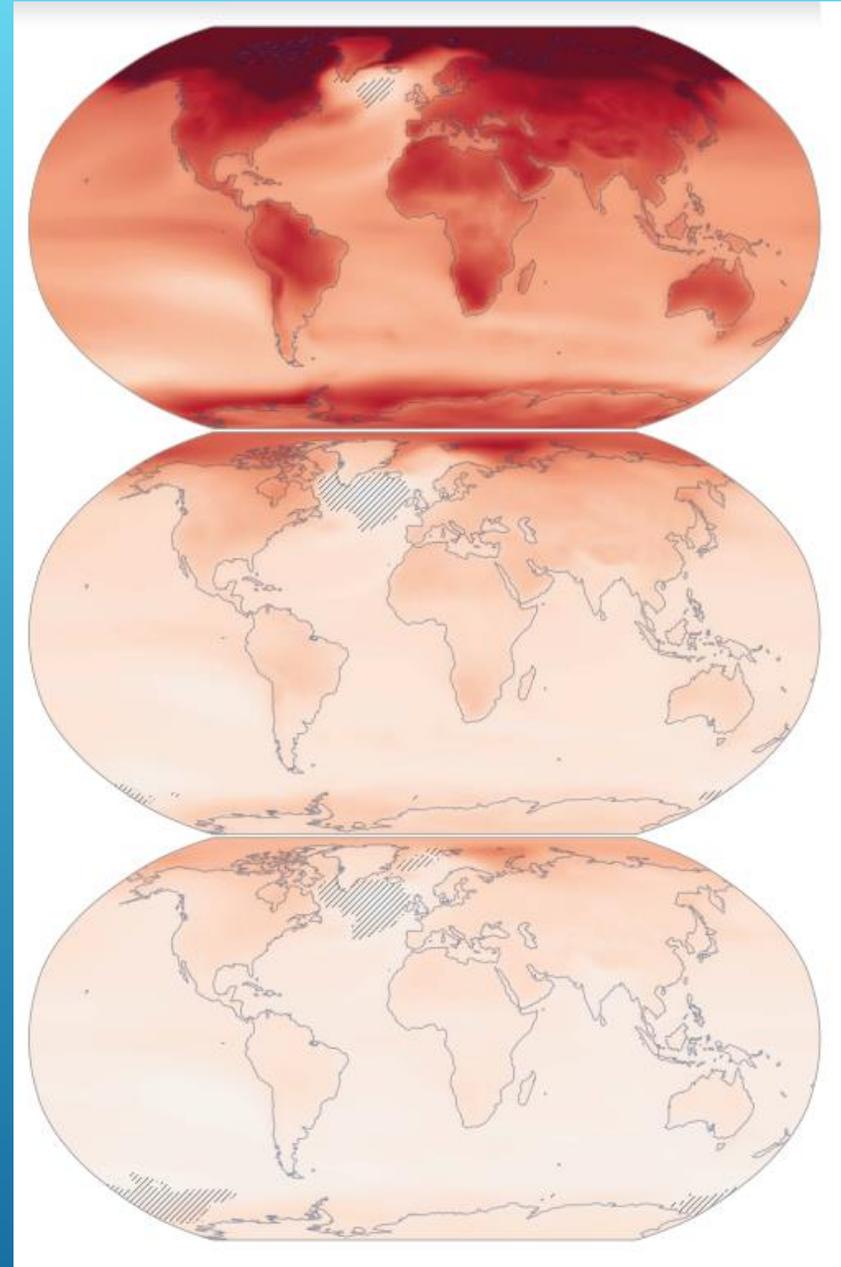




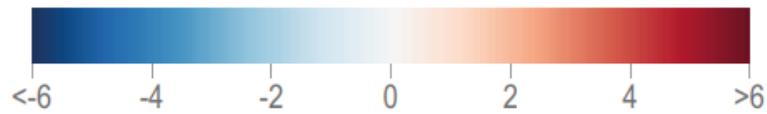
Analysis of Radiative Forcing of Temperature



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



Projected changes (°C)

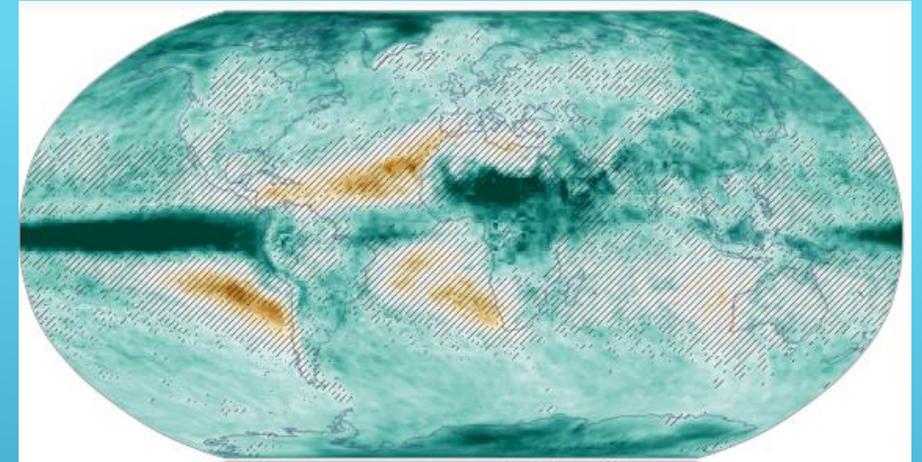


Agreement  
Low High

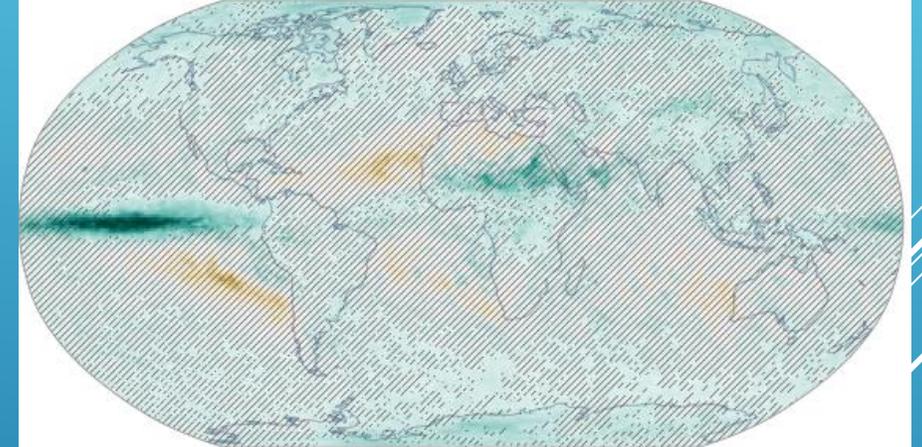
Mean temperature change at +2.0°C
Global Warming SSP2
4.5 relative to period
1995–2014 CMIP6 -
Annual (34 models)

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

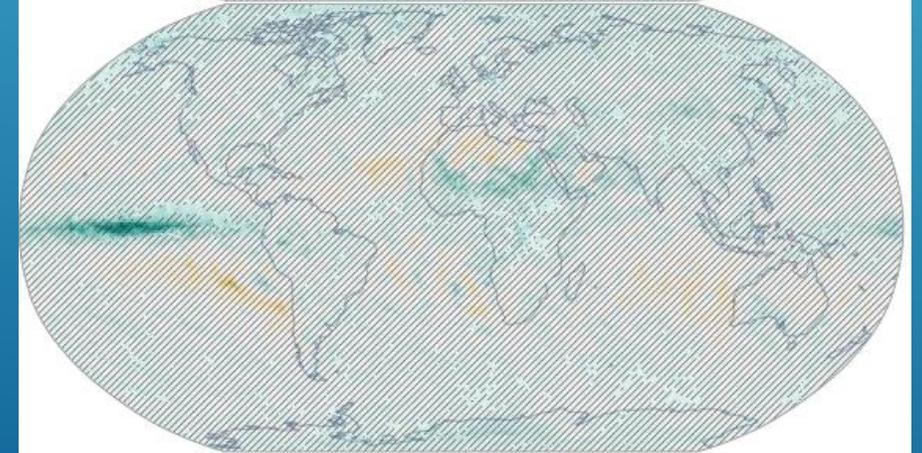
Maximum 1-day precipitation change (RX1day) (%) at +4.0°C Global Warming SSP5 8.5 relative to period 1995–2014 CMIP6 - Annual (19 models)



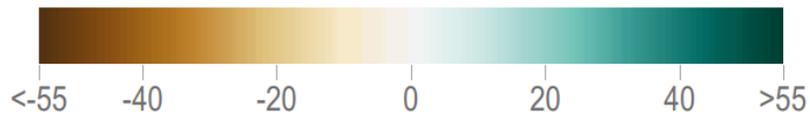
Maximum 1-day precipitation change (RX1day) (%) at +2.0°C Global Warming SSP2 4.5 relative to period 1995–2014 CMIP6 - Annual (32 models)



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

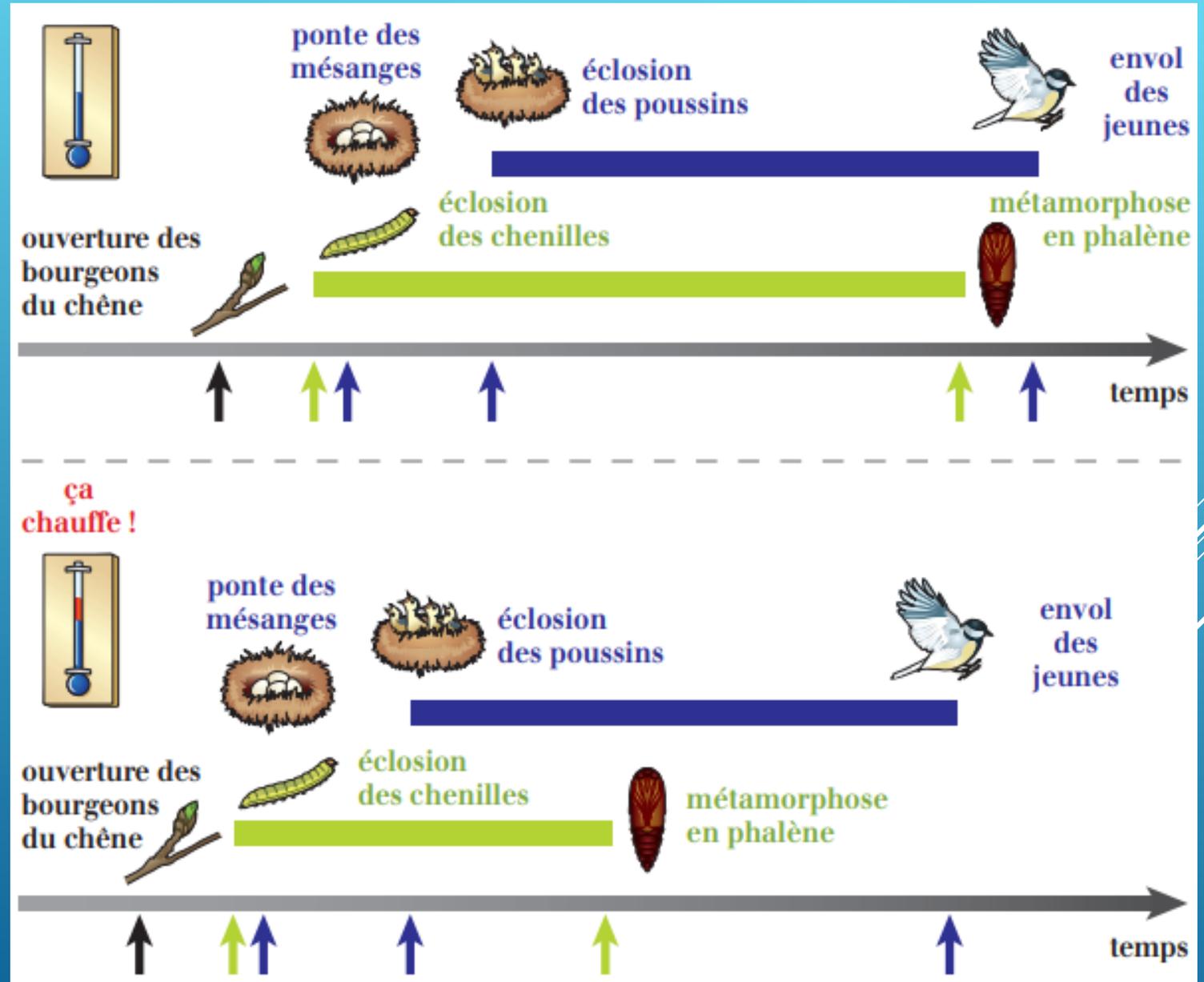


Projected changes (%)



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://accres.ens-lyon.fr/accres/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