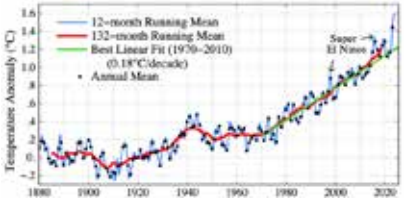
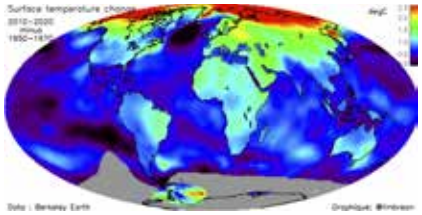
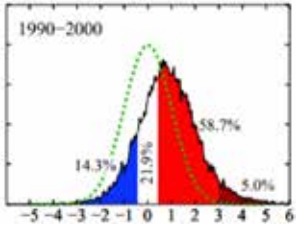
Chaire *Avenir Commun Durable*

La hausse des températures sur les derniers 200 ans

François-Marie Bréon



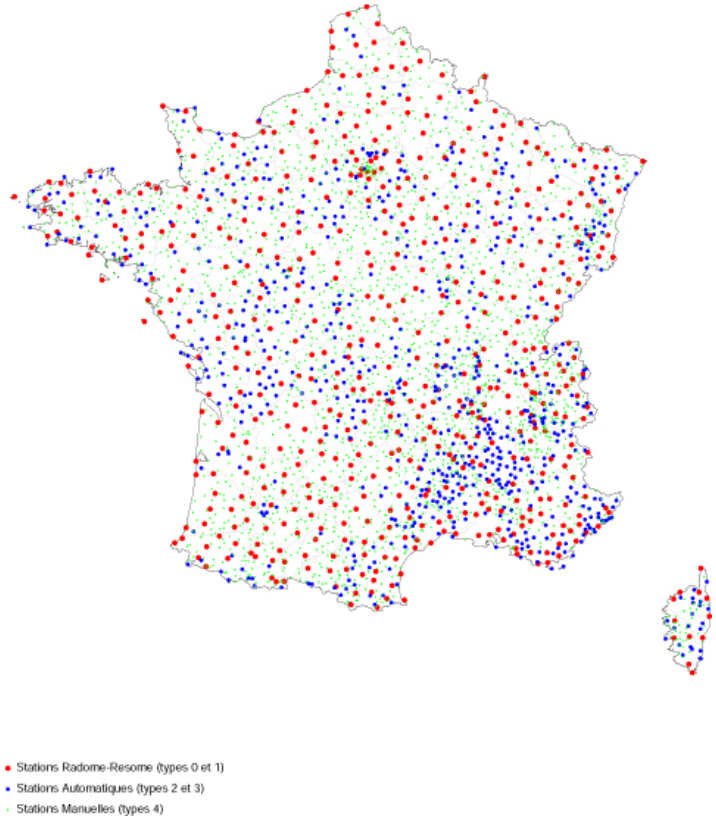




Stations météo

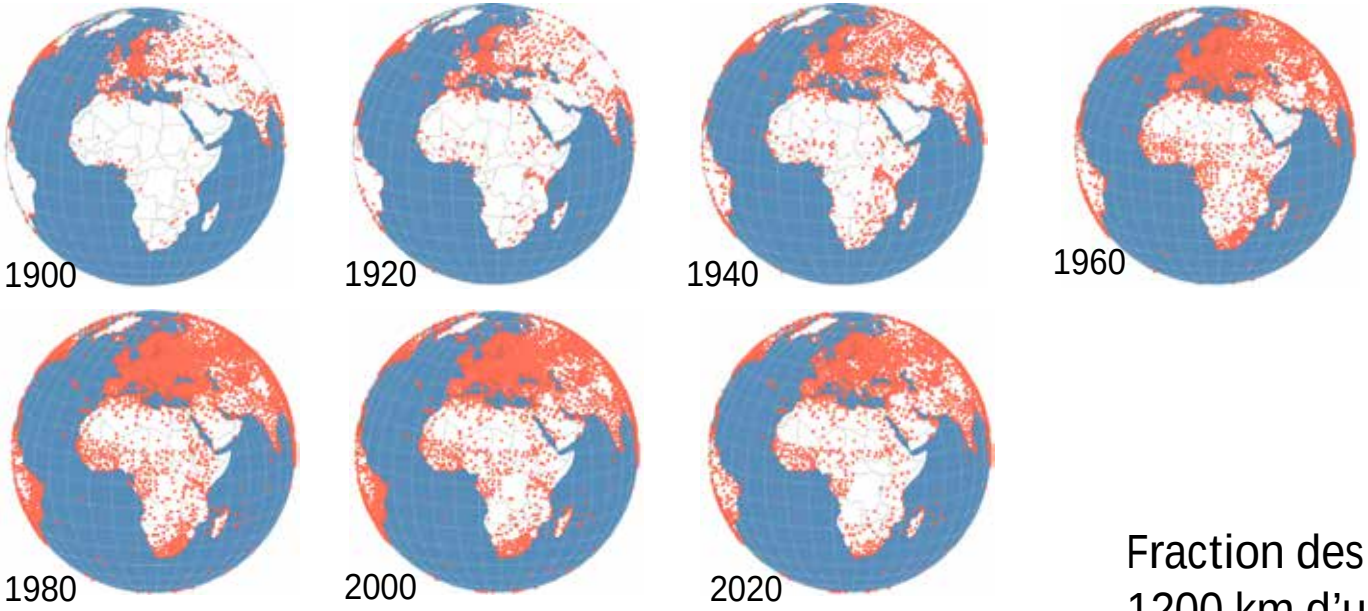
Réseau de stations, en France et dans le monde, avec mesures quotidiennes/horaires de température

Température de l'air à 2 m

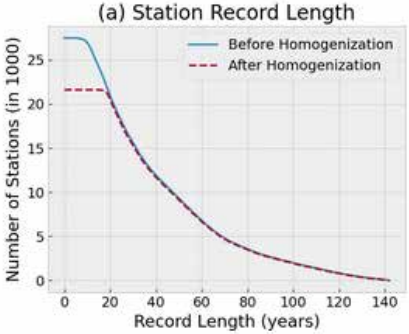


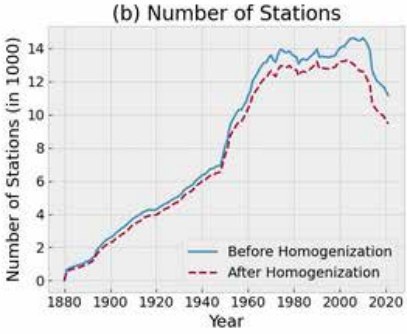
Aujourd'hui, réseau dense. Mais dans le passé ?

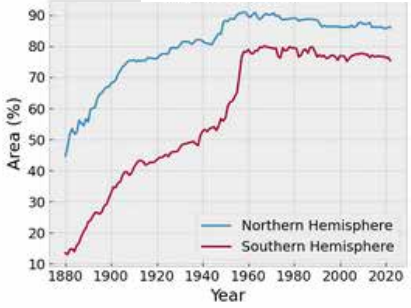
Distribution des stations



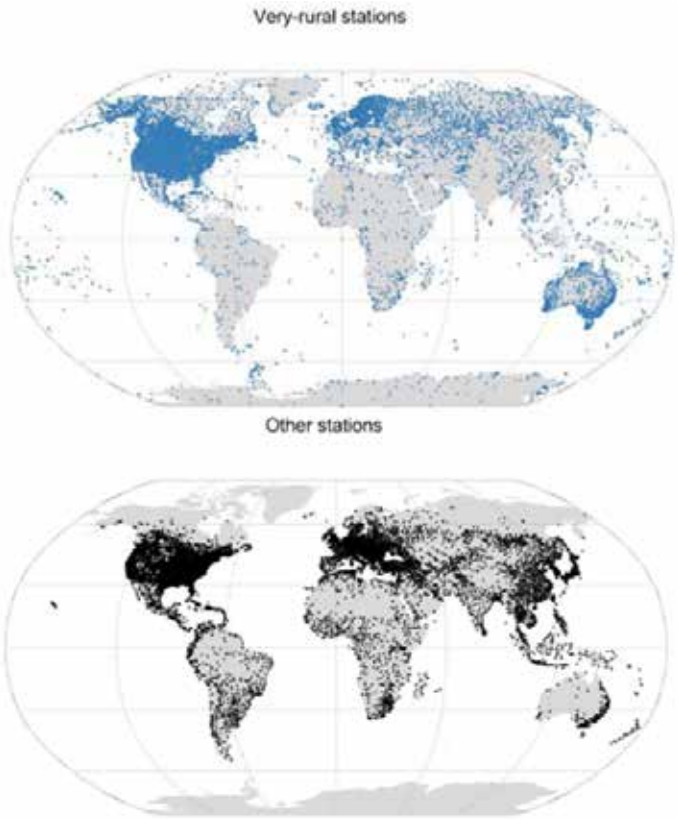
Fraction des terres à – de 1200 km d'une station







Impact de l'extension urbaine ?



Station characteristic	Median trend in °C/100 yr	
	Sites with ≥ 2 months	Sites with>30 years
All	0.96 ± 0.03(n=36858)	0.87 ± 0.02 (n=14481)
Very Rural	1.10 ± 0.06(n=15587)	1.02 ± 0.05 (n=4765)

En moyenne, le réchauffement climatique n'est pas plus fort dans les stations proches des zones urbaines en comparaison aux stations rurales

Conclusions similaires dans Hansen et al., 2010

Wickham et al., 2013 : Influence of Urban Heating on the global temperature land average using Rural sites identified from MODIS classification

Sur les océans : Bateaux

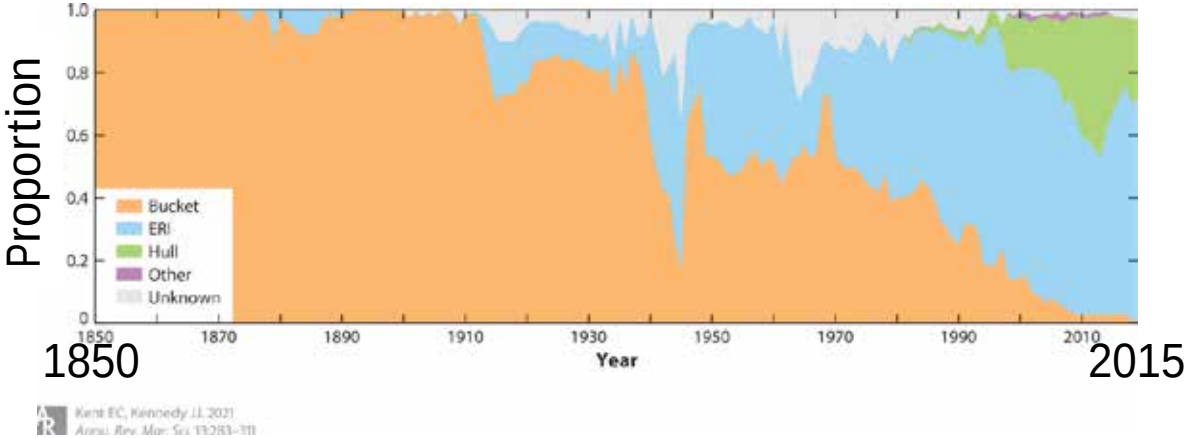
Dans le passé, seau prélevé et mesure faite à bord

Puis mesure à l'entrée de l'eau de refroidissement moteur

Puis sur la coque

Biais potentiels => Homogénéisation nécessaire

Température de l'eau proche de celle de l'air



Coque

Entrée moteur

Seau

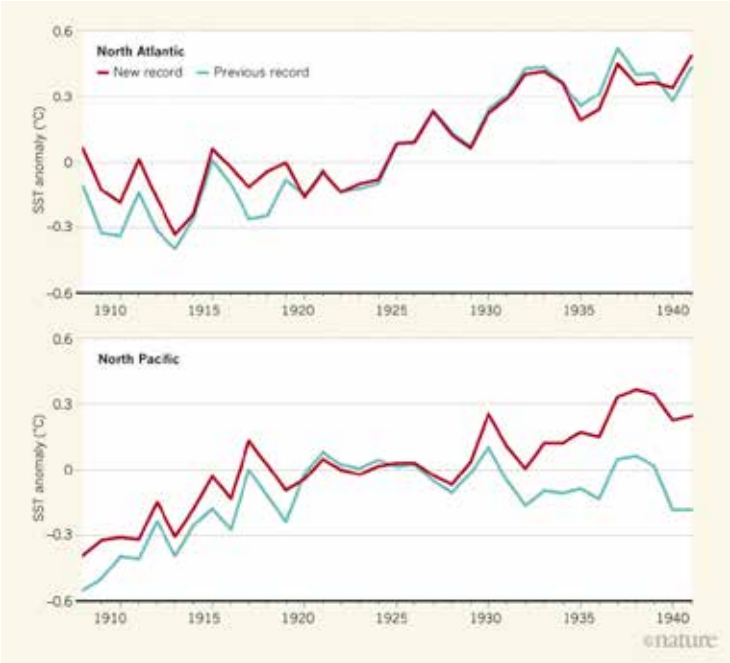
Kent EC, Kennedy JJ 2021
Annu Rev Mar Sci 13:283–311

Elizabeth C. Kent1, and John J. Kennedy, 2021: Historical Estimates of Surface Marine Temperatures

Incertitudes sur les océans

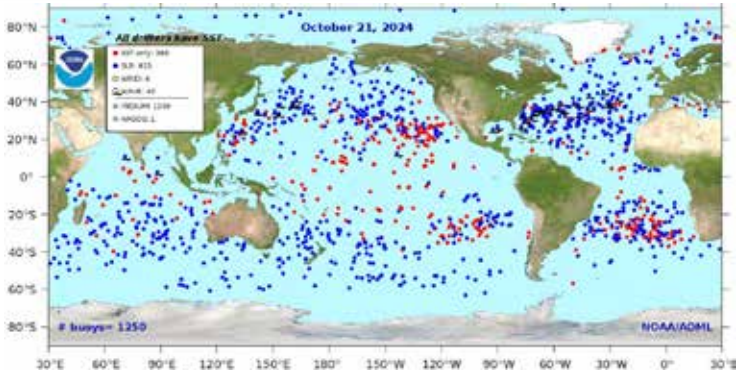
Avant ≈1950, les méthodes de mesure des températures en mer étaient disparates, ce qui conduisait à des biais

Gros efforts pour l'harmonisation des mesures, conduisant à des corrections sur les séries temporelles

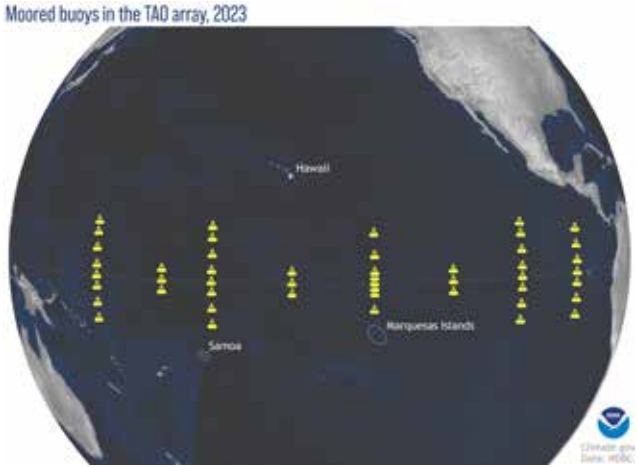


Duo Chan et al., 2019: Correcting datasets leads to more homogeneous early-twentieth-century sea surface warming

Bouées dérivantes et ancrées

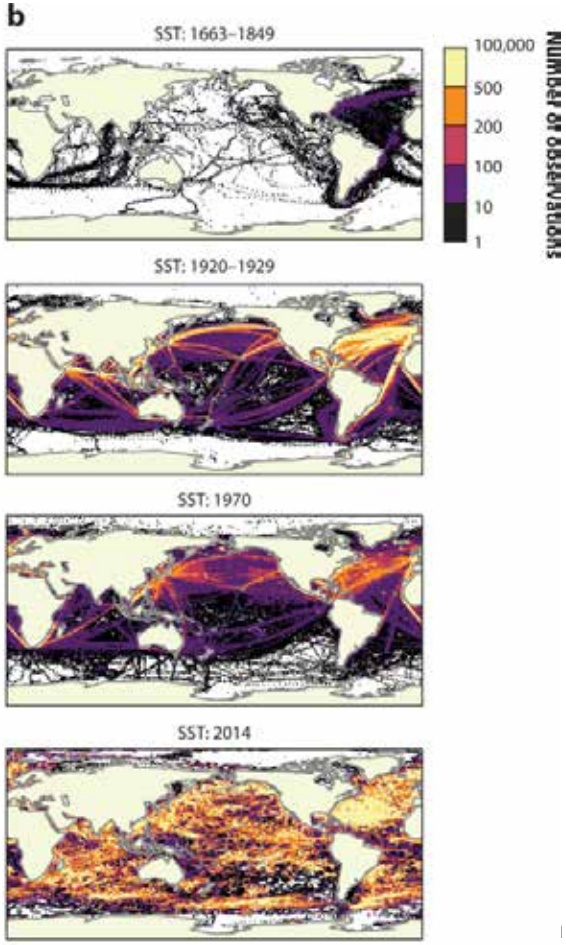


Bouées dérivantes au 21/10/2024

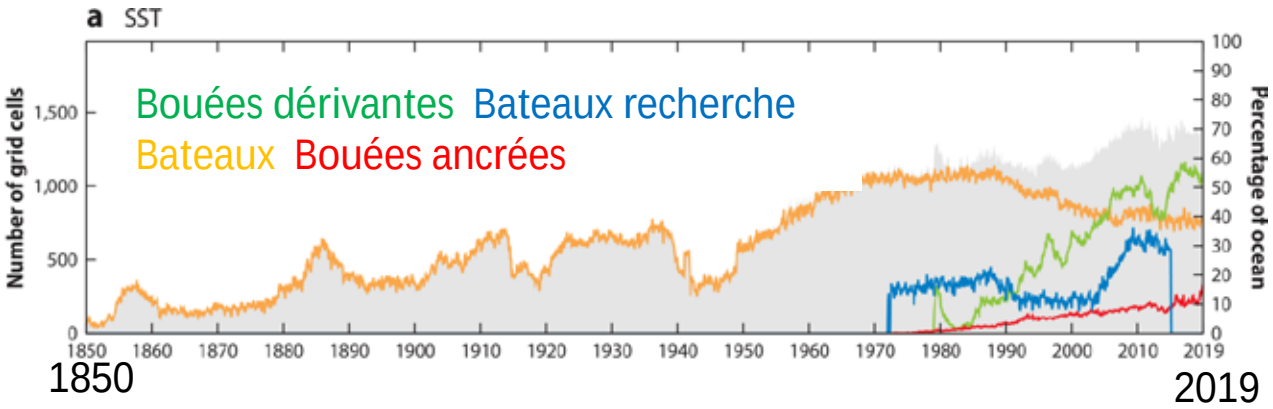


Le réseau de bouées ancrées, pour suivre le développement de El Niño / La Niña

Couverture sur les océans

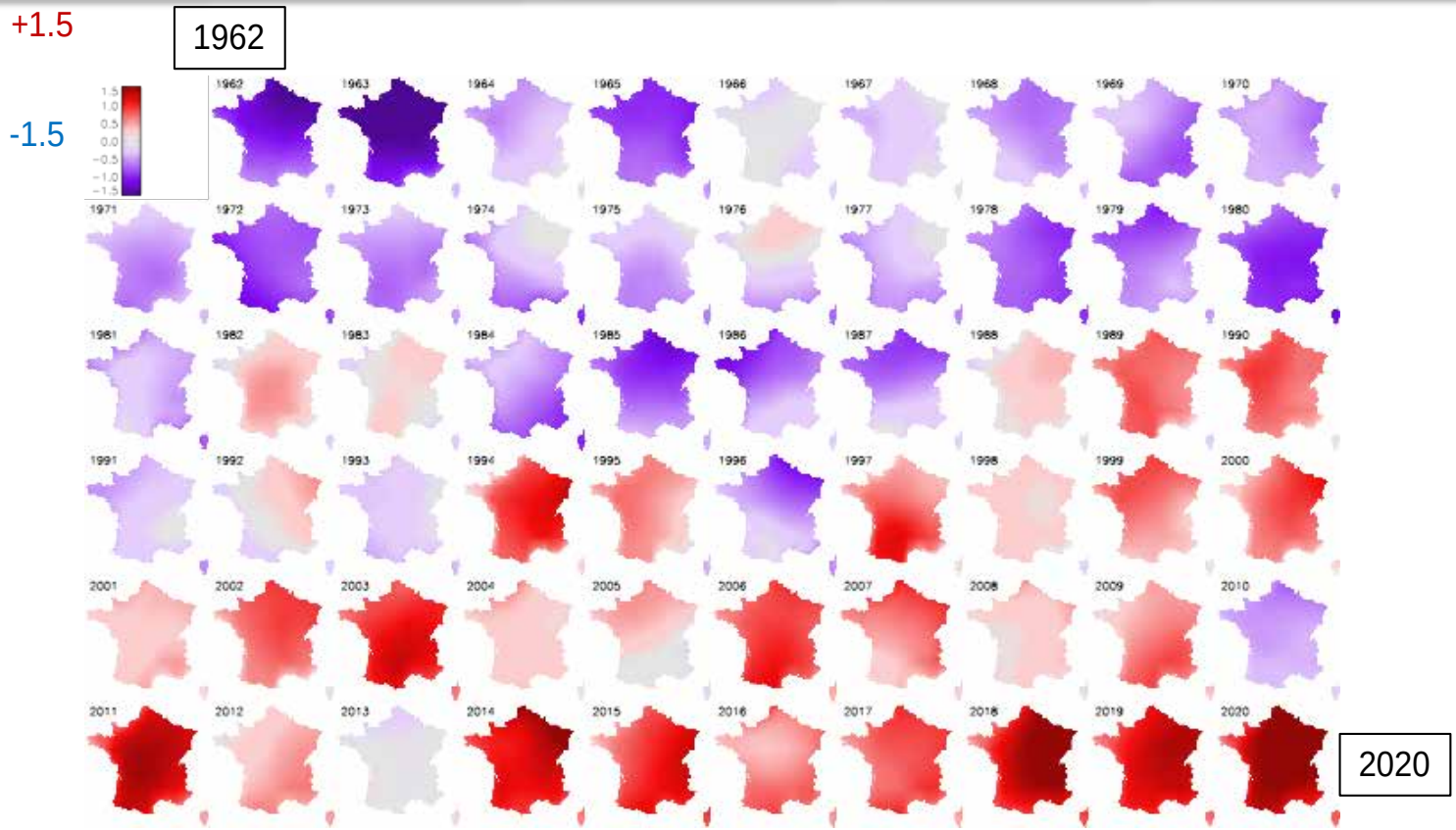


5°x5° lat-lon avec au moins 10 observations



C. Kent, and John J. Kennedy, 2021: Historical Estimates of Surface Marine Temperatures

Corrélations spatiale des anomalies



Les anomalies de températures montrent une forte corrélation spatiale. En moyenne annuelle, une mesure à un endroit donne une information fiable sur l'anomalie 1000 km plus loin

Agrégation des mesures

Les mesures (anomalies) à moins d'une certaine distance sont moyennées

Puis moyenne spatiale sur les régions couvertes

Ou bien : Assimilation des mesures dans un modèle de prévision météorologique. Puis moyenne de la température de surface sur le globe

Différentes méthodes pour prendre en compte zones non couvertes, déplacement des stations, identification des mesures aberrantes

BERKELEY EARTH. Berkeley Earth : Organisation indépendante, initialement « sceptique », confirme les évaluations faites par les agences nationales

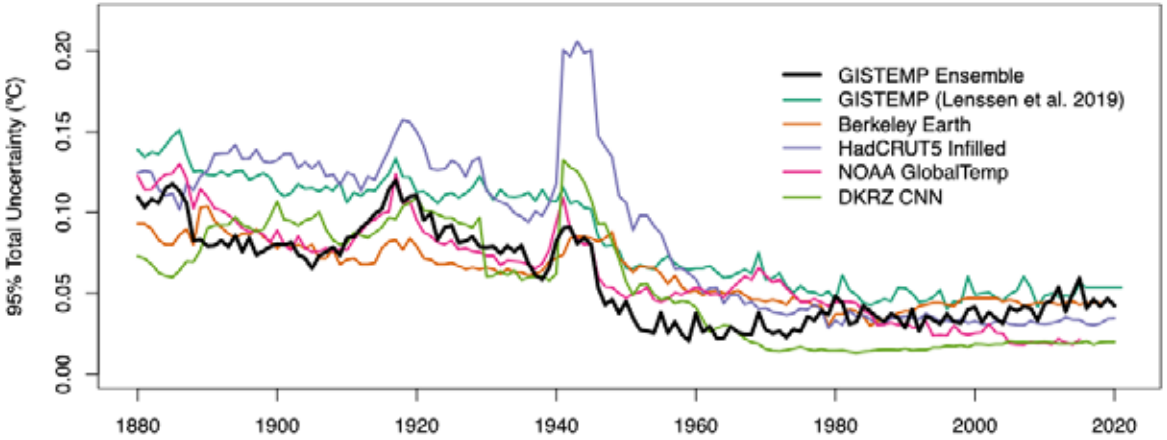
https://berkeleyearth.org/

Quelle incertitude ?

L'incertitude est estimée sur la base de simulations réalistes des distributions de température, en prenant en compte

- Le bruit de mesure
- Les biais de mesure
- La couverture incomplète

Les différentes estimation conduisent à une incertitude de ≈0.1°C avant 1950, et ≈0.05°C après

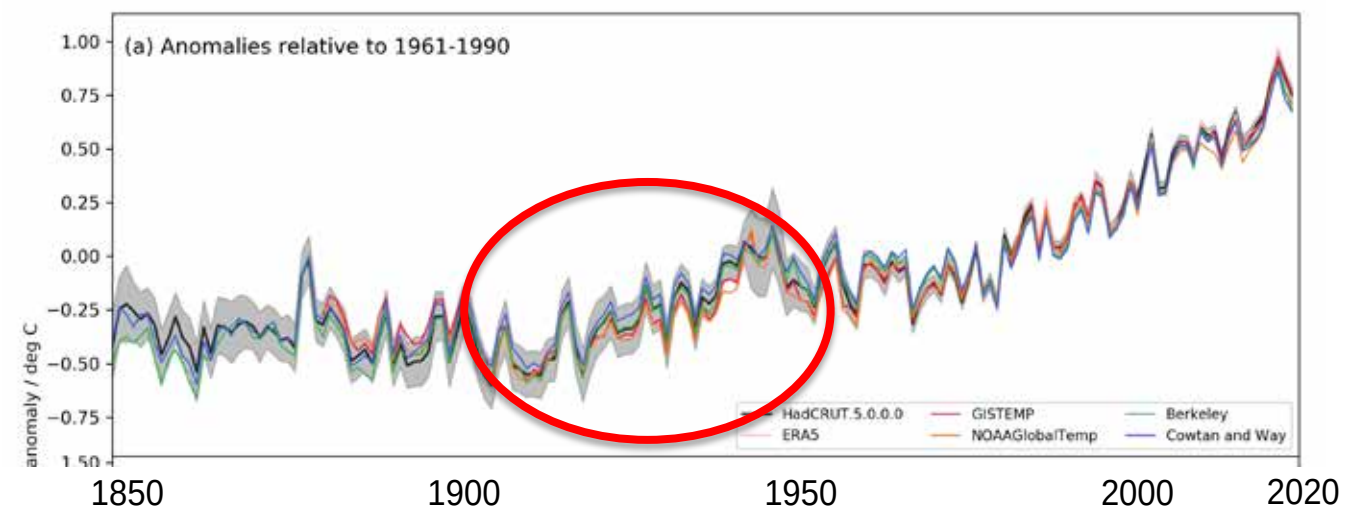


Lenssen et al. 2023 : A NASA GISTEMPv4 Observational Uncertainty Ensemble

Des estimations cohérentes

Plusieurs estimations avec méthodes et hypothèses différentes

- Sélection des stations
- Correction des biais
- Interpolations



Biais de mesure sur les océans

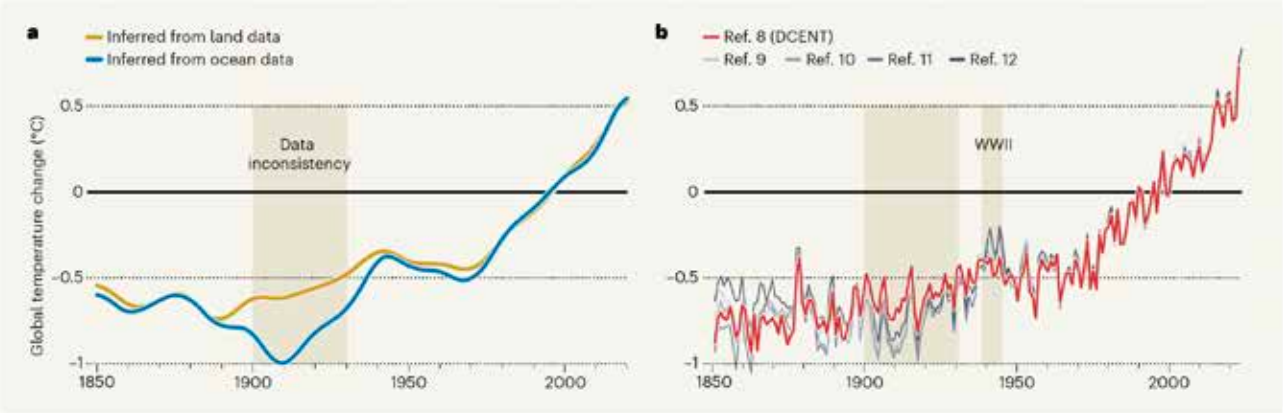
Un résultat publié récemment (Novembre 2024) suggère un fort biais dans les observations océaniques du début du siècle

Article

Early-twentieth-century cold bias in ocean surface temperature observations

https://doi.org/10.1038/s41586-024-08230-1
Received: 14 May 2024
Accepted: 16 October 2024

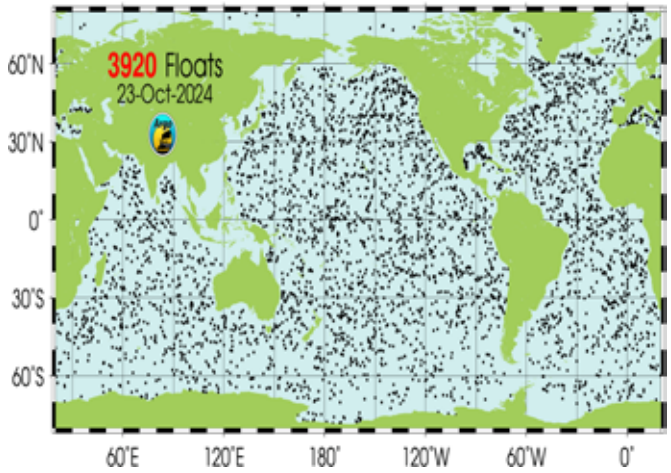
Sebastian Sippel[1,2], Elizabeth C. Kent[3], Nicolai Meinshausen[4], Duo Chan[5], Christopher Kadow[6], Raphael Neukom[7,8], Erich M. Fischer[2], Vincent Humphrey[9], Robert Rohde[10], Iris de Vries[2] & Reto Knutti[2]

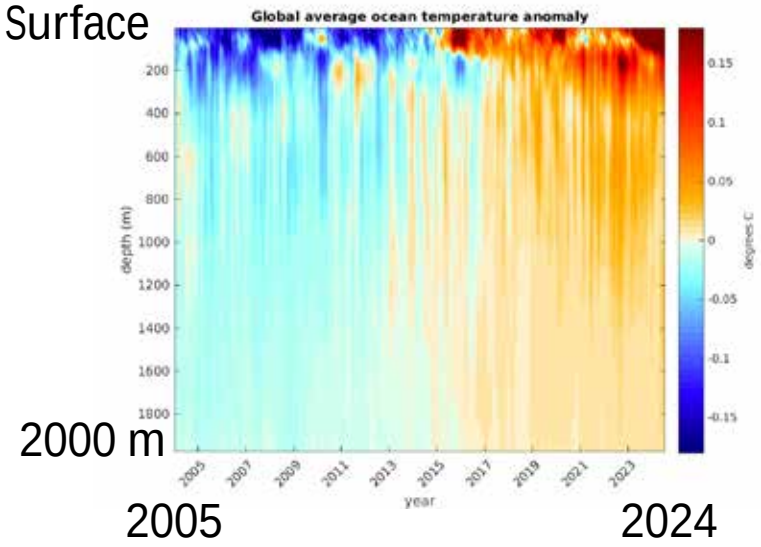


Si confirmé, ce biais expliquerait la plus grosse partie du désaccord modèle-données sur 1900-1940

Dans la profondeur des océans : Argo

Plusieurs milliers de bouées alternent des plongées à 2000m et remontent en surface pour transmettre mesures de température et salinité



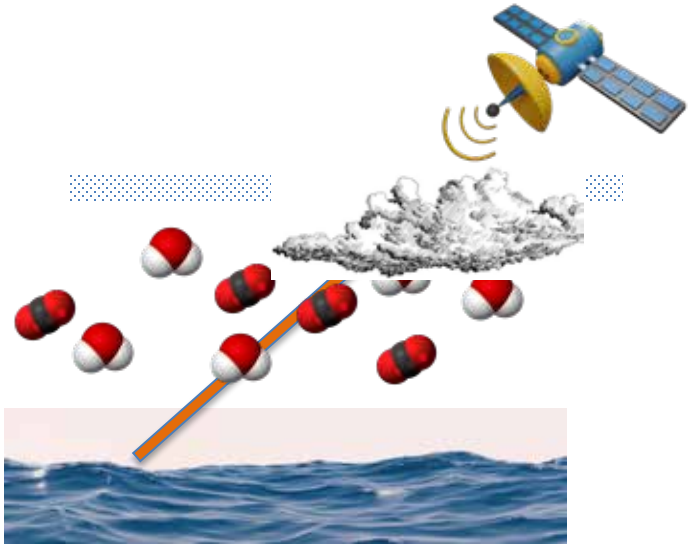


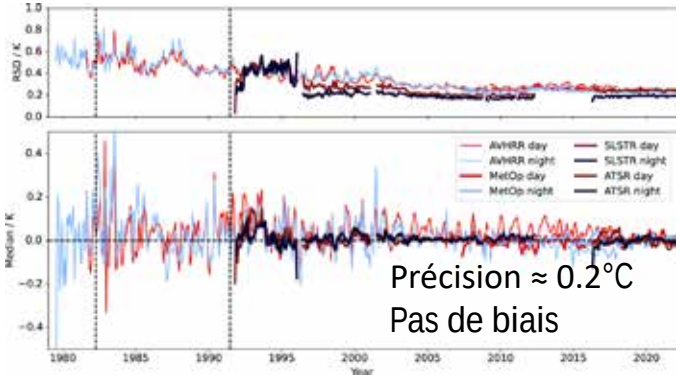
Mesure par Satellite : Océans

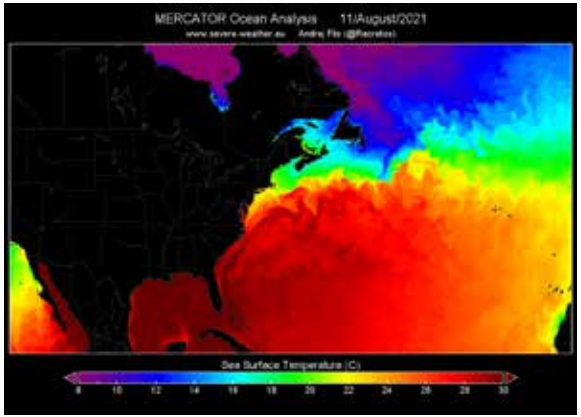
La surface de l'océan émet du rayonnement en fonction de sa température

L'observation spatiale donne accès à la température de la surface

Mais…







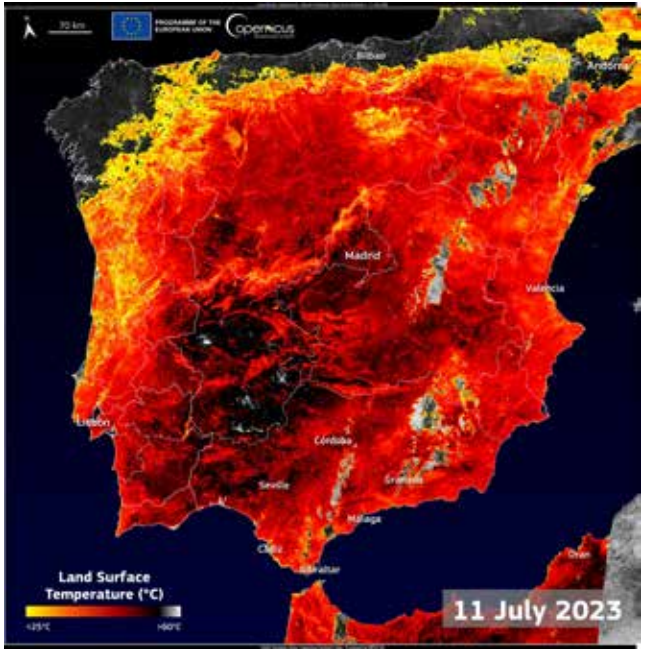
Mesures par satellite : Terre

Sur mer, la température de surface est proche de celle de l'air

Ce n'est PAS DU TOUT le cas sur terre

Par satellite, on mesure la température de "peau". Très variable avec l'éclairement solaire, l'albédo de la surface, et l'humidité du sol

La température de la surface, observée par satellites, a peu de sens météorologique (mais information sur humidité du sol)

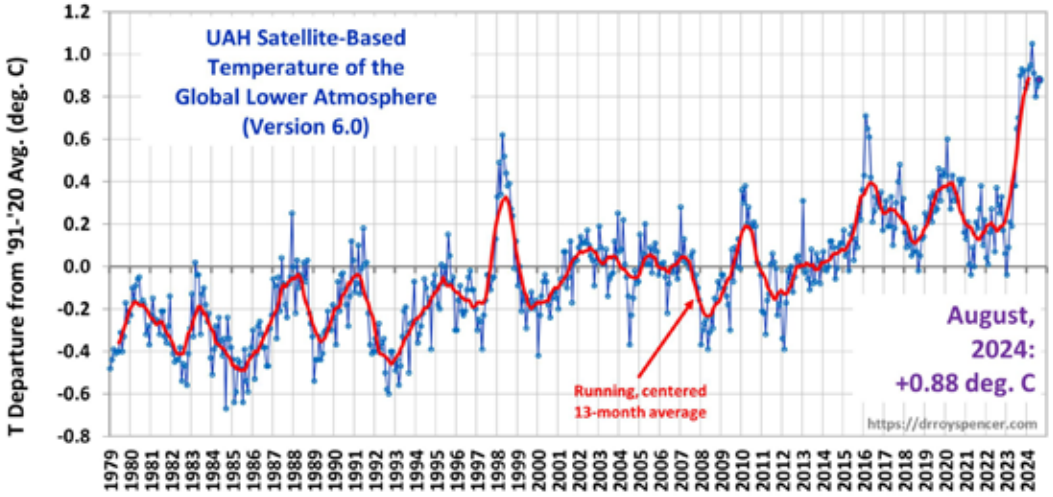


Mesure par satellite : Atmosphère

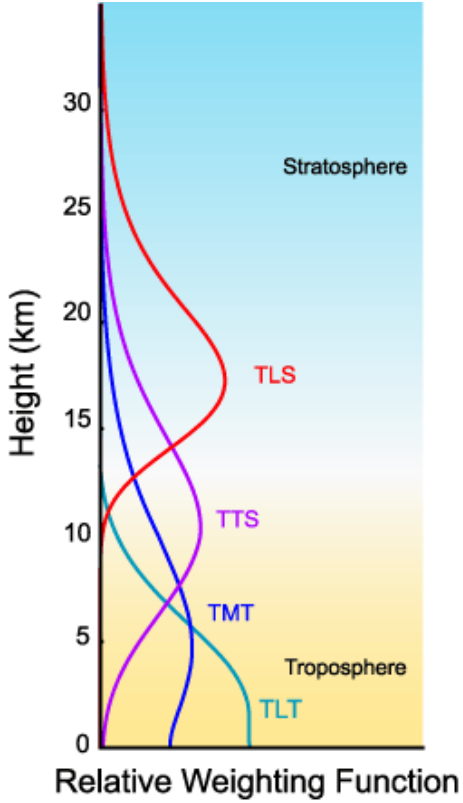
Mesure sur une couche épaisse d'atmosphère

Corrections biais inter-satellites

Dérives de l'heure locale d'observation



1979 2024

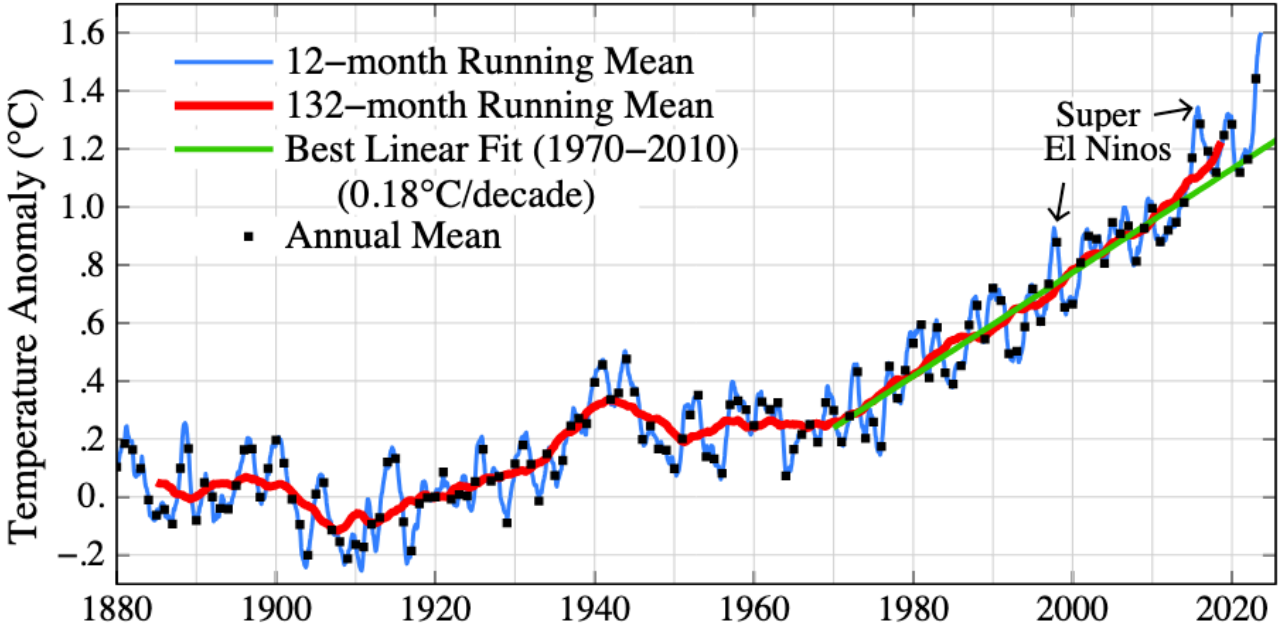


Les observations spatiales confirment la hausse des températures observées en surface mais structure temporelle significativement différente pour des raison mal comprises

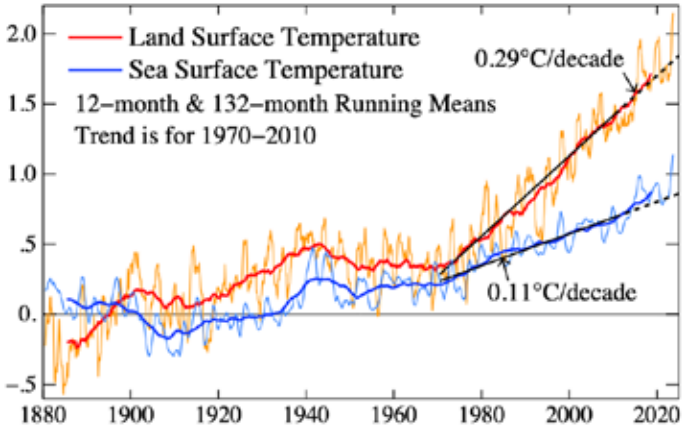
Un réchauffement, à quel rythme ?

Les températures de 2023 ont été exceptionnellement élevées, et n'ont pas diminué significativement en 2024

Augmentation de 0,18°C par décade sur période 1970-2010



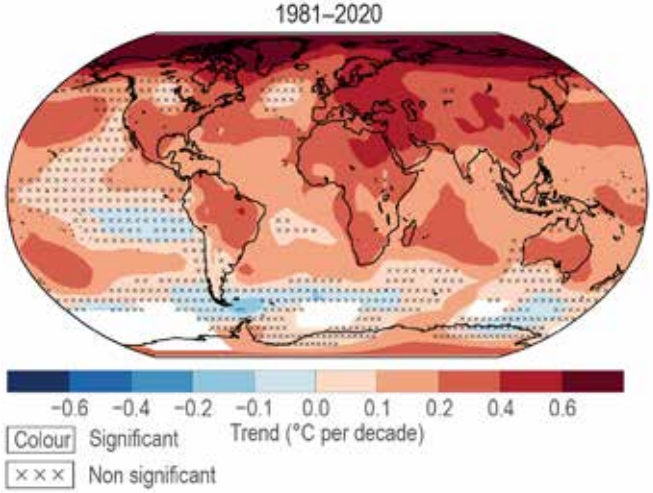
Un réchauffement hétérogène



Les terres se réchauffent plus vite que les océans

Terres : 0,29° par décennie

Océans : 0,11 ° par décennie

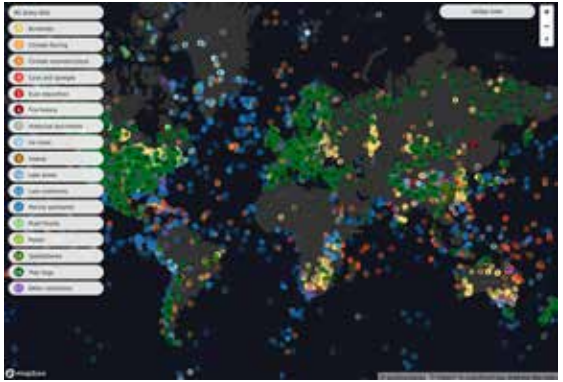


Les hautes latitudes de l'hémisphère Nord se réchauffent particulièrement vite

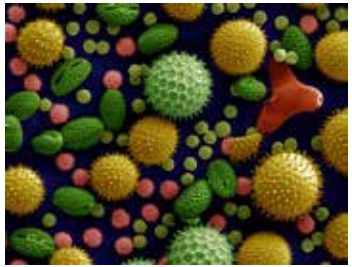
Avant les thermomètres, les proxy

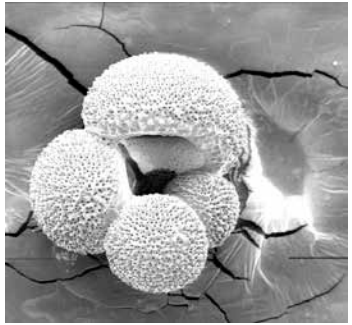
Proxy : Caractéristiques physiques préservées du passé qui permettent de reconstituer les conditions climatiques du passé

- Sondage géotechnique
- Cernes d'arbre
- Sédiments lacustres (pollen)
- Foraminifères
- Isotopes de l'Oxygène



Il existe des relations entre la température et le type d'échantillon ou ses caractéristiques





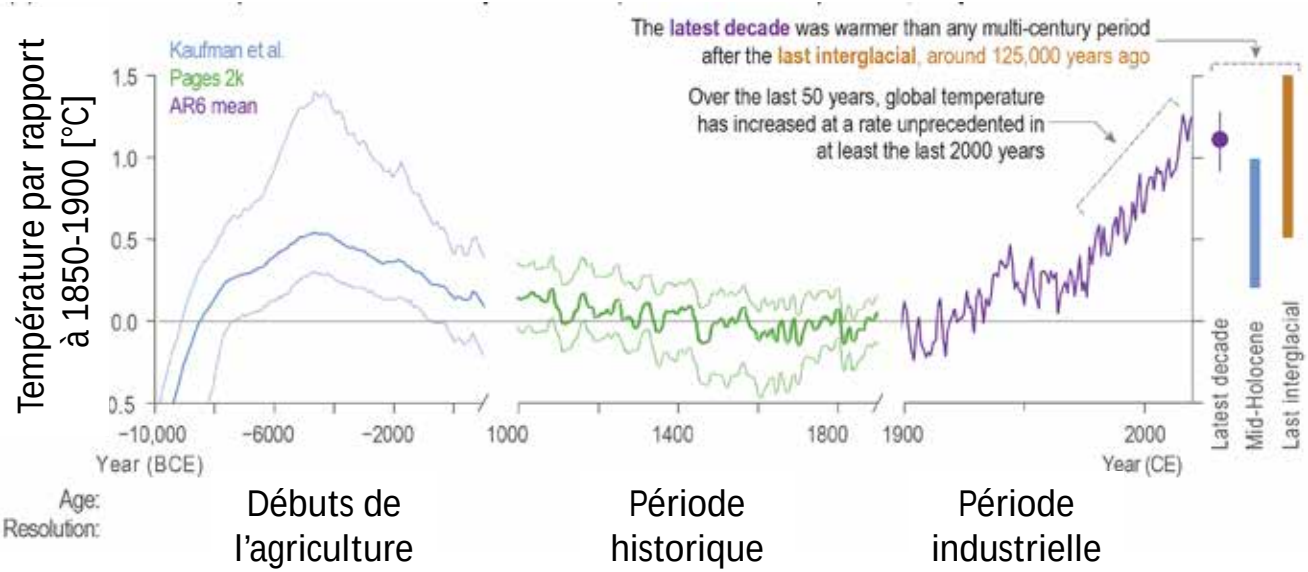
Une perspective historique

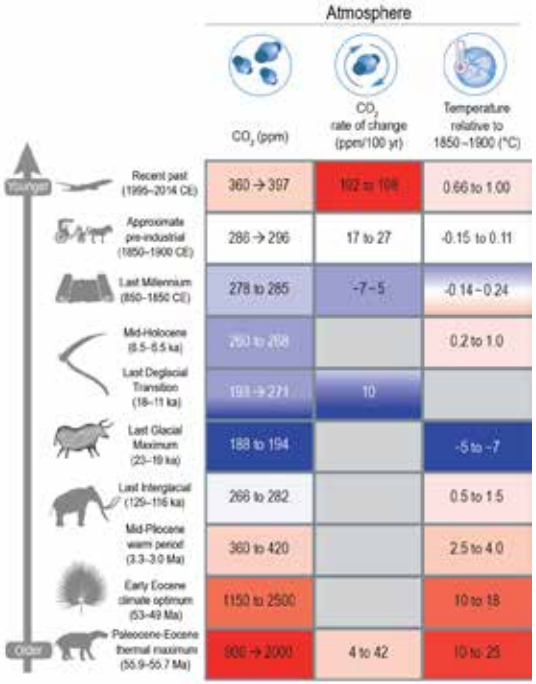
L'estimation de température de la Terre, déduite des proxy, indique que le réchauffement récent est exceptionnel

Lente décroissance de la température sur les milliers d'années avant la période industrielle

La Terre est probablement plus chaude que sur les derniers 125 000 ans

Températures plus chaudes dans le lointain passé (Millions d'années)

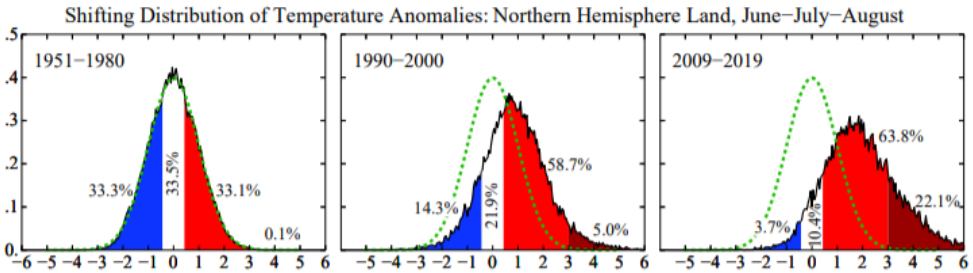




Des températures plus variables ?

L'animation montre les anomalies de températures mensuelles en fonction du temps sur des zones de 5x5°

On constate un aplatissement de la distribution



Analyse…

Décalage des distributions (plus chaud) + aplatissement (plus variable

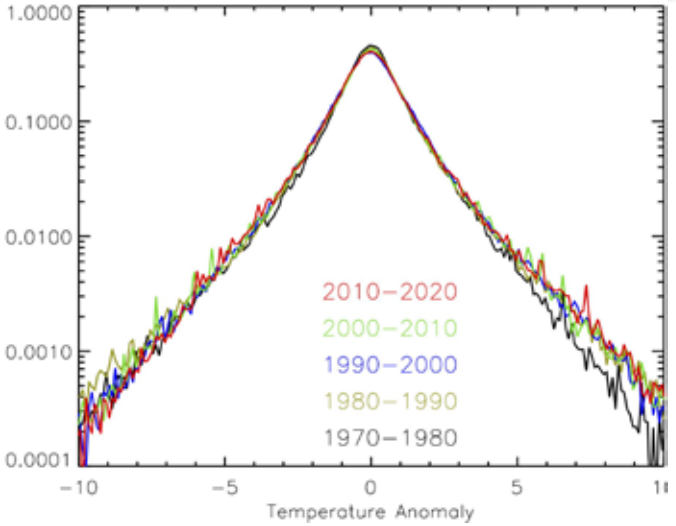
L'échelle log permet de mieux mettre en évidence les extrêmes (chauds + fréquents, froids moins fréquents)

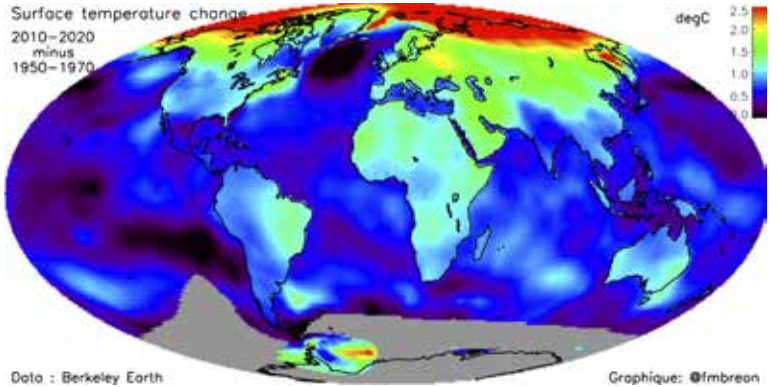
Deux hypothèses : Variabilité plus grande OU différences spatiales.
On normalise (soustrait la moyenne), région par région

Aplatissement très fortement réduit

Rien de significatif sur la statistique des extrêmes

Conclusion : L'aplatissement des distributions est dû à l'hétérogénéité spatiale du réchauffement (+ fort aux hautes latitudes



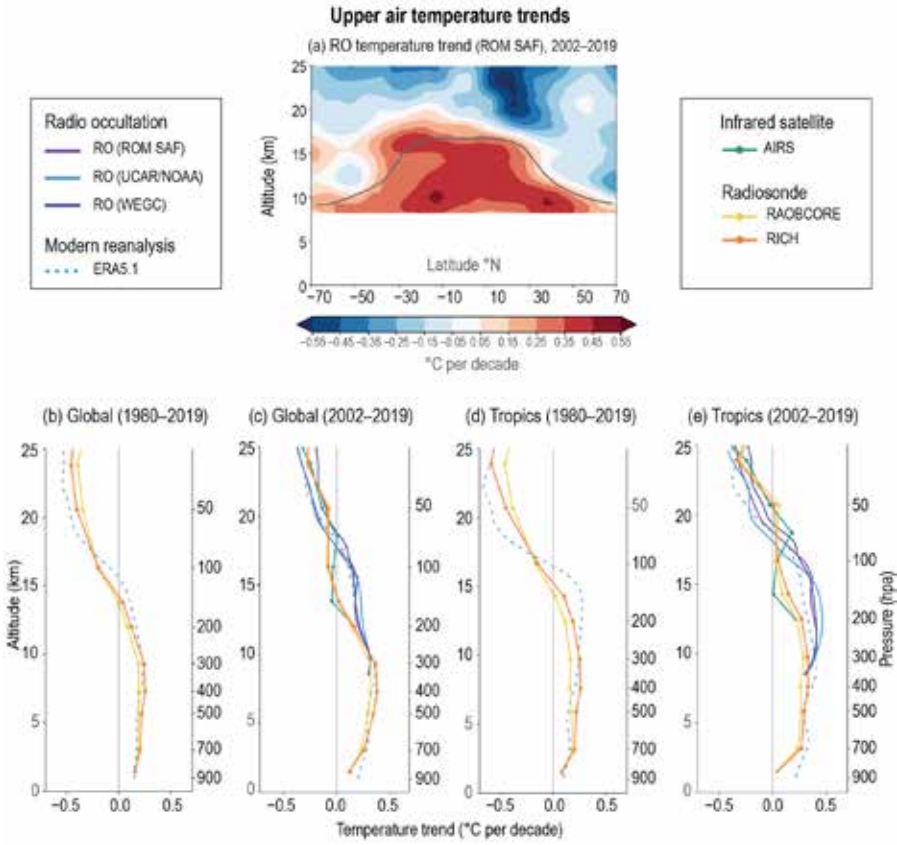


Et en altitude ?

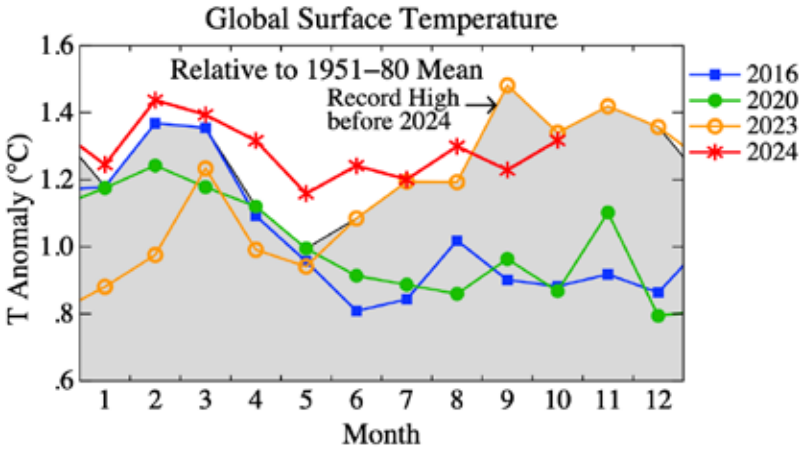
Observations par Radio-occultation, satellite infrarouge, ou radiosondage

Réchauffement de la troposphère; refroidissement de la stratosphère

Réchauffement maximal au niveau 300-400 hPa



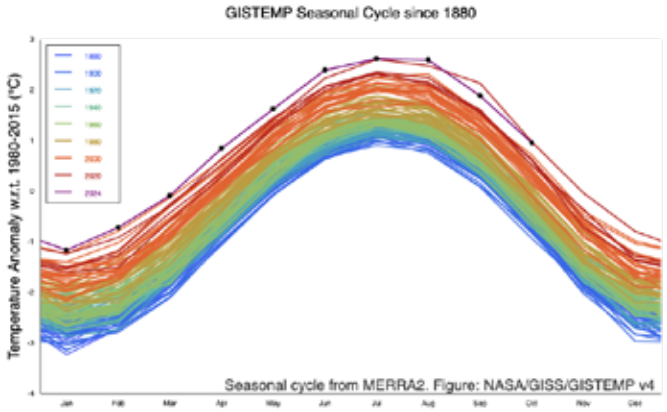
Températures globales récentes

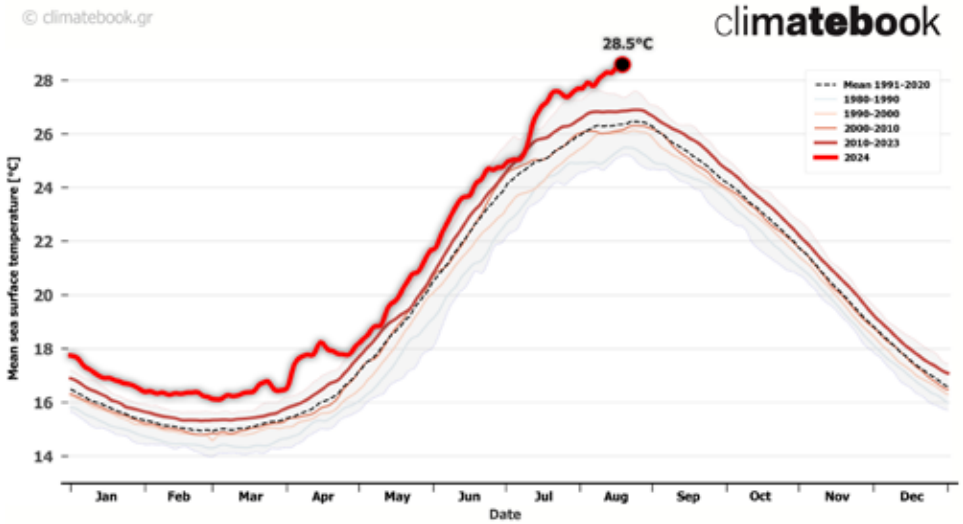


Depuis Juin 2023, et jusqu'à Aout 2024, la température moyenne de chaque mois est un record !

Les températures de l'Atlantique Nord sont hors norme

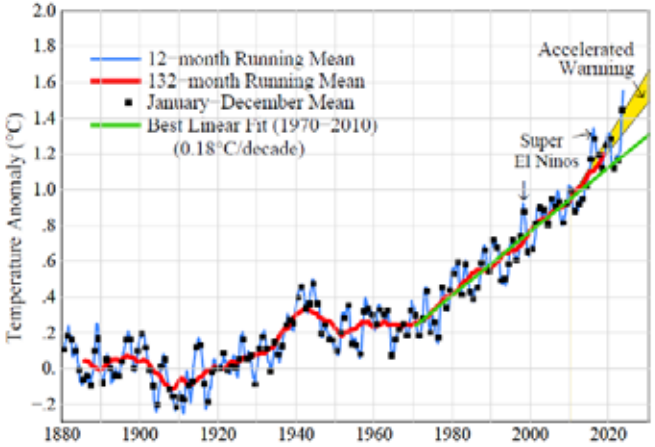
Et de même pour la Méditerranée

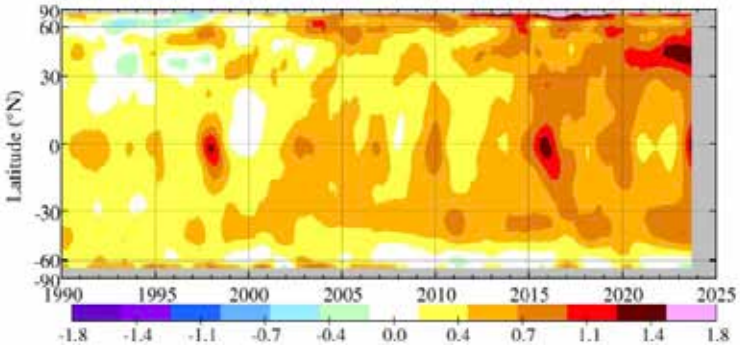


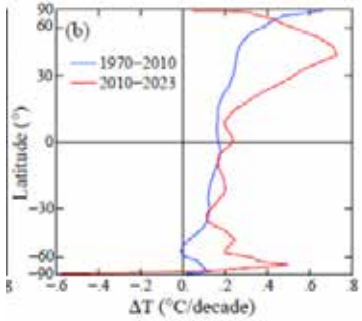


Accélération du réchauffement ?

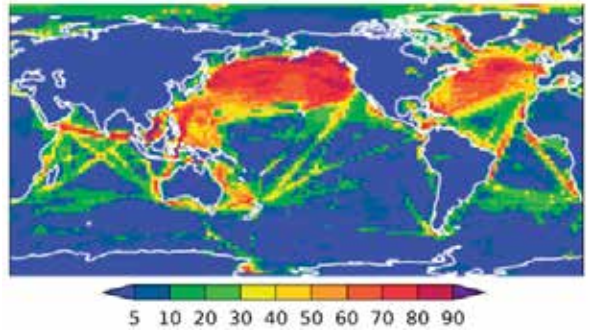
Les températures de ces dernières années sont au dessus de la trajectoire 1970-2010







Réchauffement particulièrement marqué sur moyennes latitudes de l'hémisphère Nord

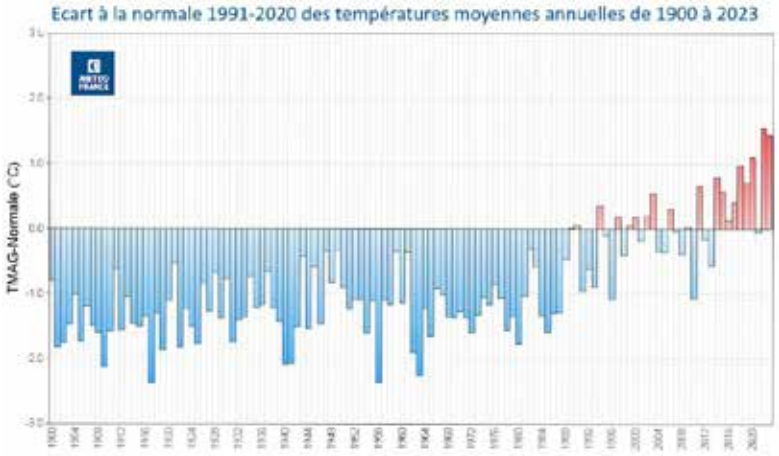


Hypothèse : Nouvelles normes sur les combustibles des cargos (moins de soufre) limite le refroidissent dû aux aérosols.

Théorie qui ne fait pas consensus

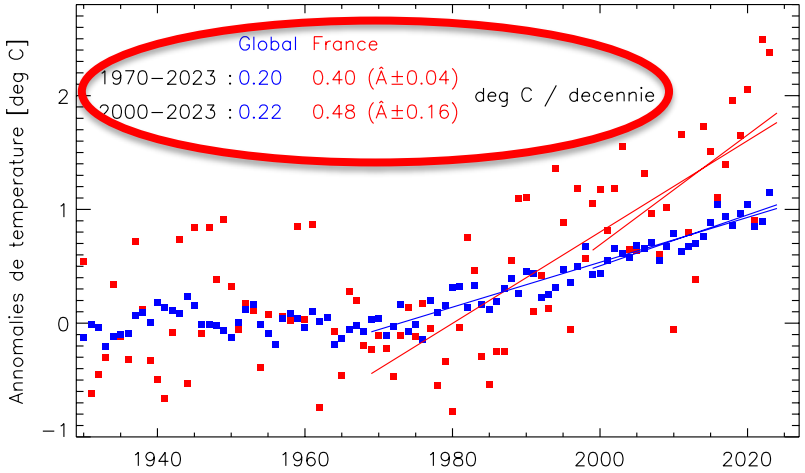
Hansen et al., 2024: Global Warming Acceleration: Hope vs Hopium

Températures en France



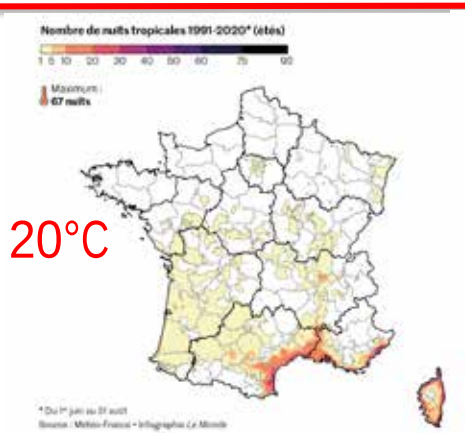
La variabilité inter-annuelle est plus importante pour la région « France » que pour l'ensemble de la Terre. La hausse des températures est néanmoins très nette

La France se réchauffe ≈2 fois plus vite que la Terre. Environ 0.4 degrés par décennie sur les derniers 50 ans



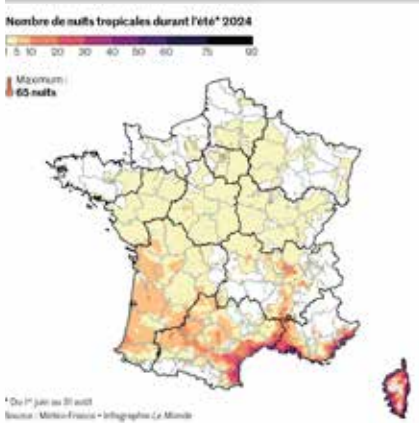
Les nuits tropicales

Tmin > 20°C



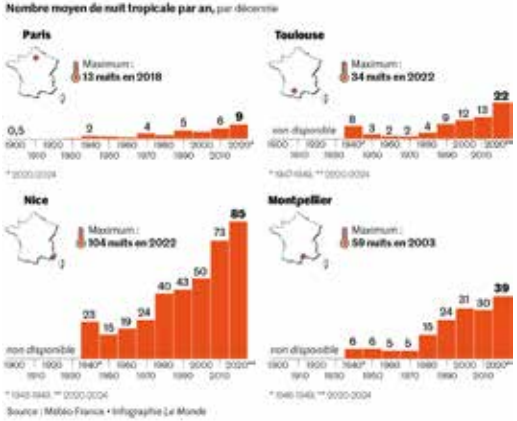
Normale 1991-2020

2022



2024

Fraction France “au moins une nuit”



Statistiques “nb de nuits”, par décennie

Quelques points à retenir…

La température est la variable climatique la plus facile à mesurer. Mais l'homogénéisation des mesures, pour arriver à une température moyenne de la Terre, est difficile

Depuis 1970, les terres se réchauffent de ≈0,29°C par décennie, la surface des océans de 0,11 °C par décennie. Réchauffement pas homogène

Le réchauffement sur 1900-1940 est moins bien décrit

Sur les derniers ≈10 000 ans, les incertitudes sont plus grande. Tendance au refroidissement de quelques dixièmes de degrés

Le réchauffement récent, sur l'ensemble de la Terre, est inédit sur au moins 10 000 ans

Les extrêmes chauds sont plus fréquents, les extrêmes froids moins fréquents. Il n'y a pas d'indication que les températures soient plus variable.

Les deux dernières années ont été particulièrement chaudes confirmant une accélération du réchauffement de la Terre. L'interprétation ne fait pas consensus

Le réchauffement de la France est de l'ordre de 0,40°C par décennie. Impact sensible, par exemple sur la fréquence des canicules ou des nuits "tropicales"