



Colloque de séminaires organisé par la chaire de
l'évolution du climat et de l'océan du Collège de France

Variations climatiques : rôle du Soleil et des autres forçages externes

Vendredi 30 mai 2008 de 9h à 18h30,
Amphithéâtre Marguerite de Navarre
du Collège de France, 11, place Marcellin Berthelot, Paris 75005

----- Matinée -----

9h Edouard Bard, Collège de France, CEREGE Aix-en-Provence
"Perspectives historiques et paléoclimatiques "

10h Sylvaine Turck-Chièze, Laboratoire Plasmas Stellaires
et Astrophysique Nucléaire du CEA
"Fonctionnement du Soleil et origines de sa variabilité"

11h Gérard Thuillier, Service d'Aéronomie du CNRS
"Les forçages externes du système climatique et l'expérience PICARD"

----- Après-midi -----

14h Thierry Dudok de Wit, Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement
"Relations Soleil-Terre et le rôle de la composante UV"

15h Olivier Boucher, Meteorological Office, Hadley Centre,
Climate, Chemistry and Ecosystems
"Cycles biogéochimiques et rétroactions climatiques »"

----- Pause café -----

16h30 Claudia Stubenrauch, Laboratoire de Météorologie Dynamique
"Propriétés des nuages et leur variabilité à partir des observations spatiales"

17h30 Sandrine Bony-Léna, Laboratoire de Météorologie Dynamique
"Modélisation de la réponse du climat à un forçage externe"



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

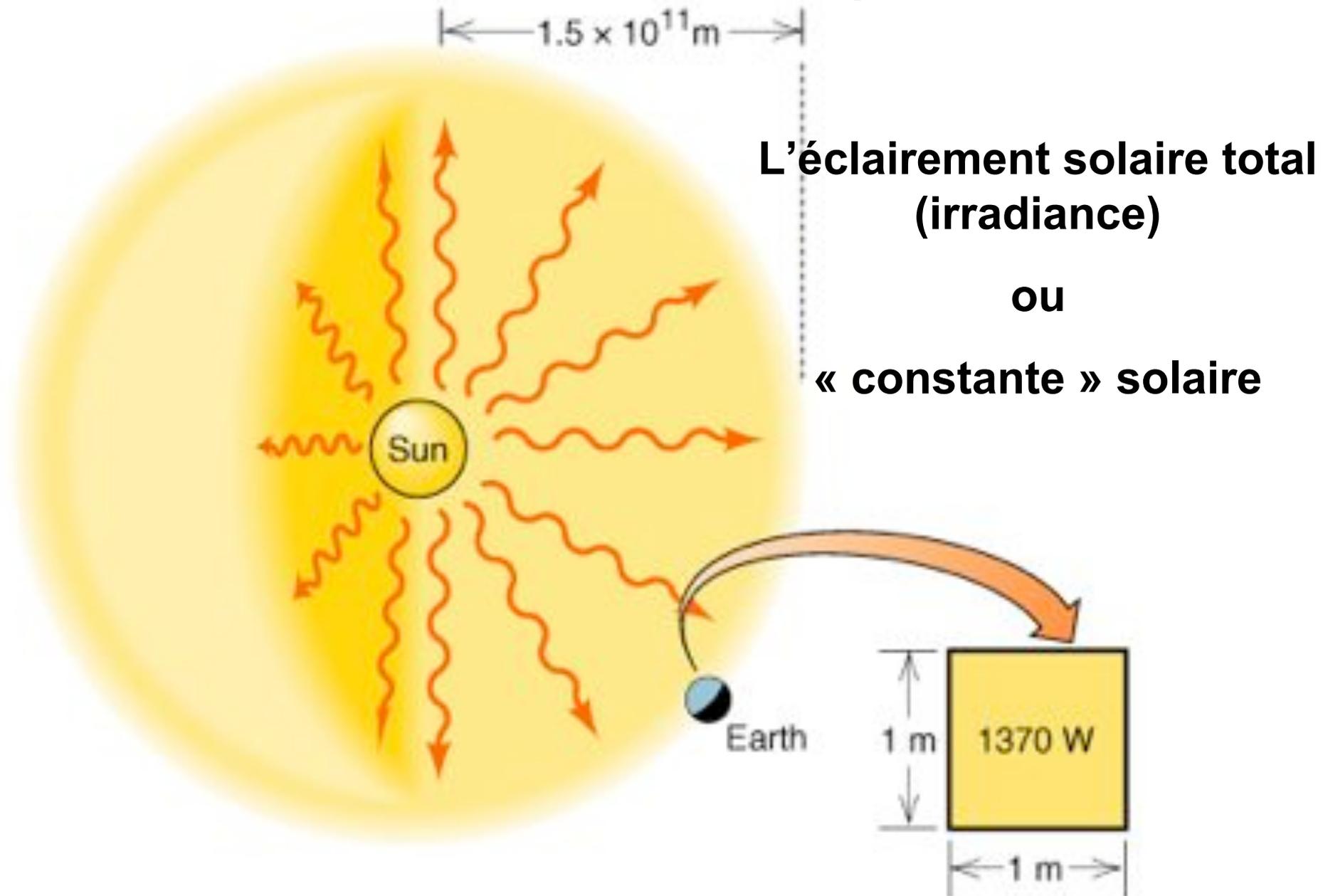


Perspectives historiques et paléoclimatiques

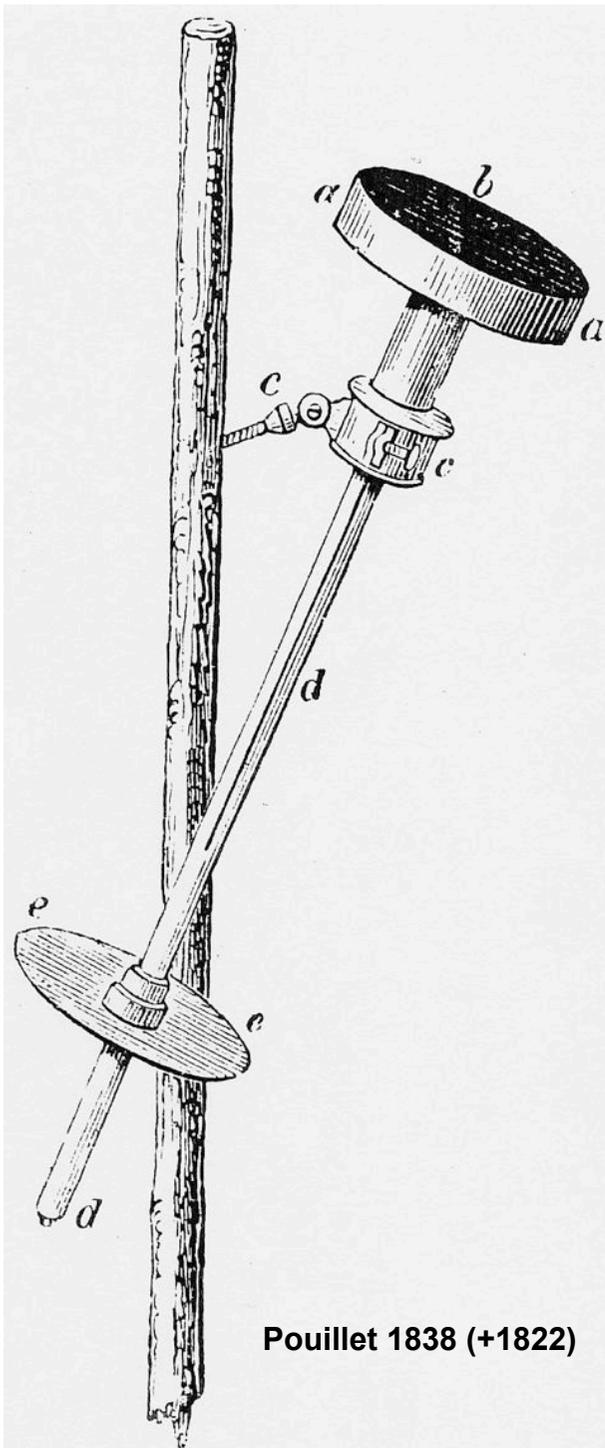
Edouard BARD

*Chaire de l'évolution du climat et de l'océan
du Collège de France
CEREGE Aix-en-Provence, France*

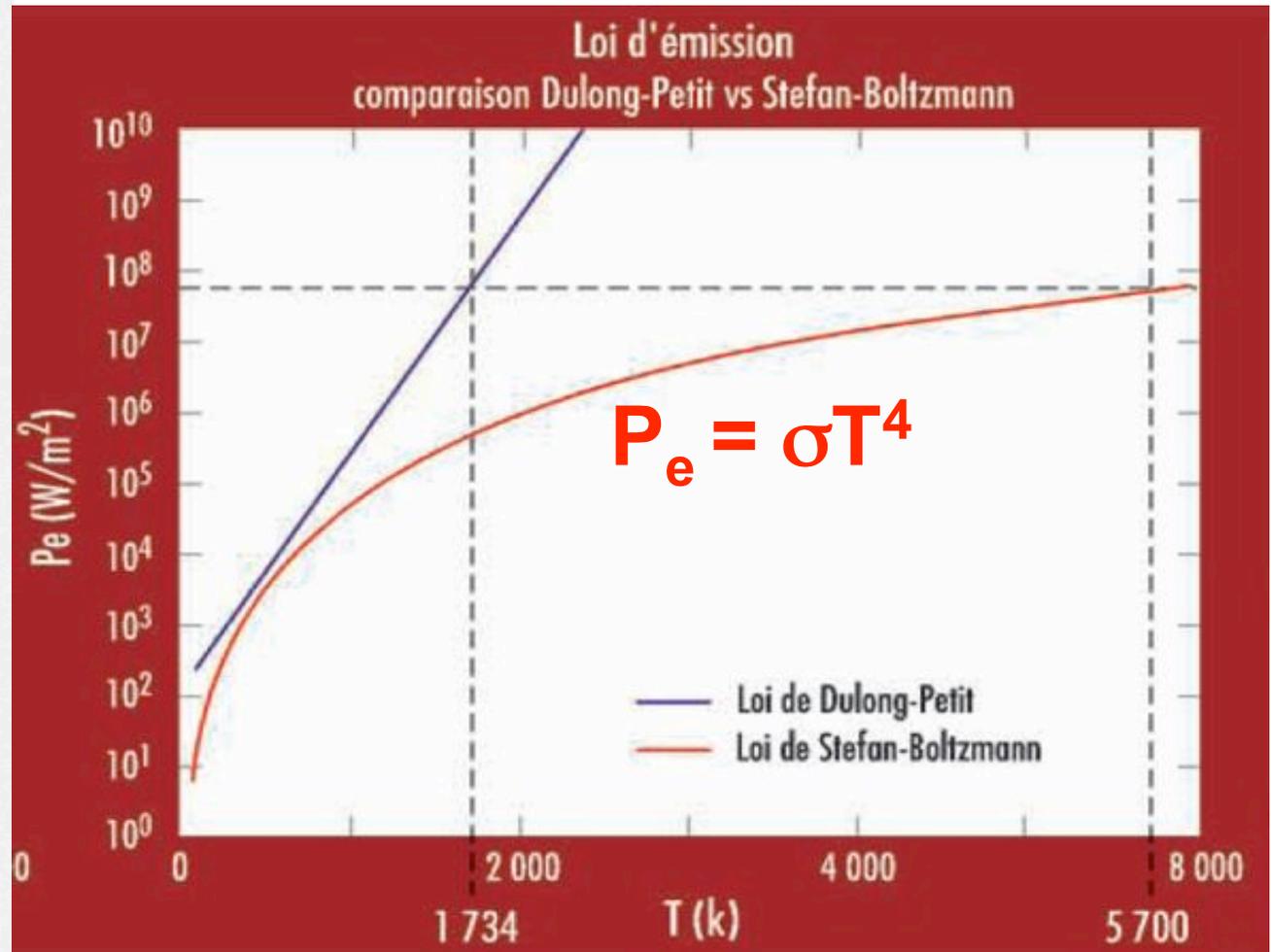
Le Soleil procure l'énergie à l'origine de la dynamique de l'atmosphère et de l'océan



Pyrhéliomètre de Claude Pouillet (1790-1868)
 constitué d'un thermomètre mesurant le changement
 de température d'un réservoir d'eau dont la face
 supérieure plane, orientée perpendiculairement aux
 rayons du Soleil, est peinte en noir.

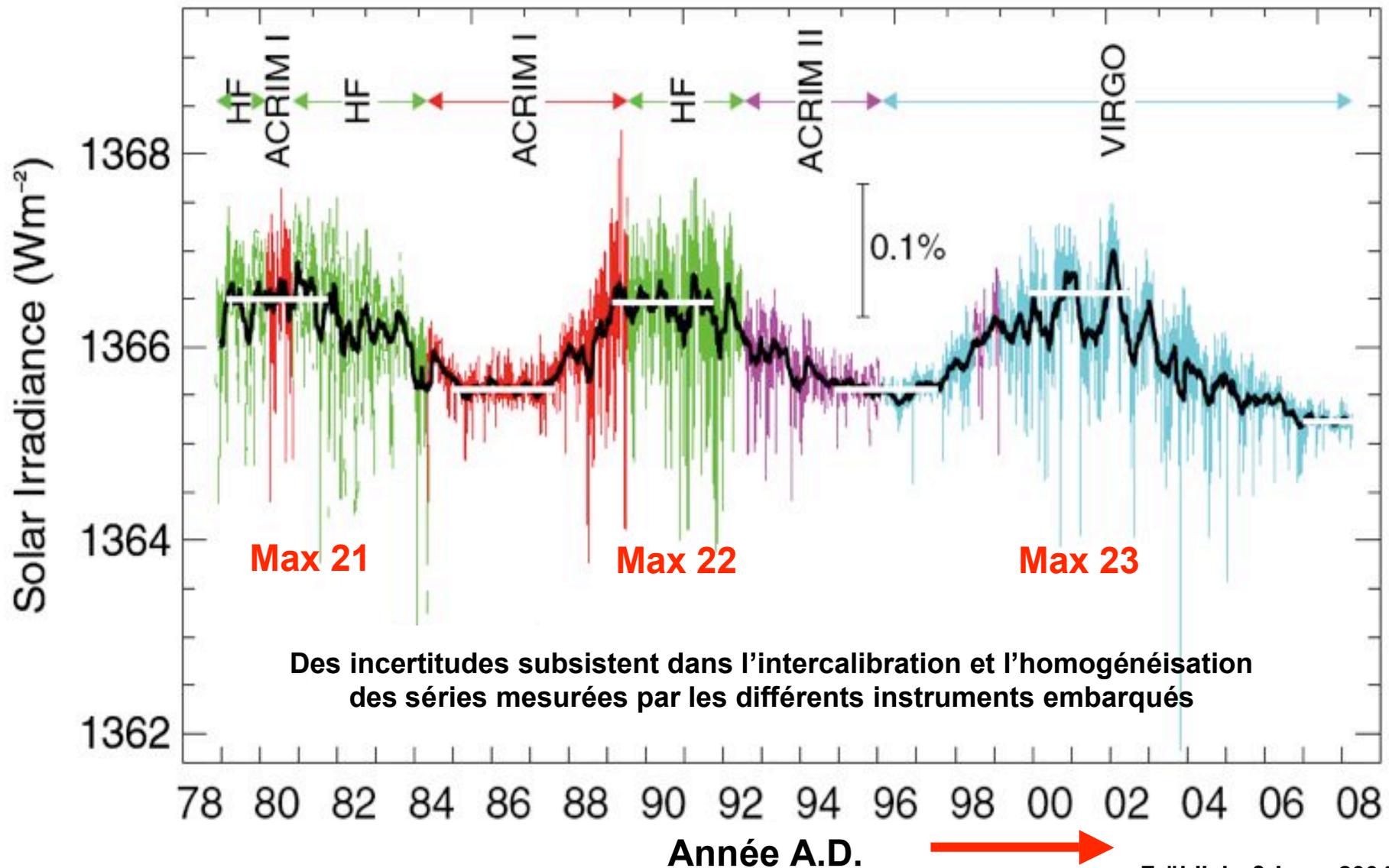


Pouillet 1838 (+1822)

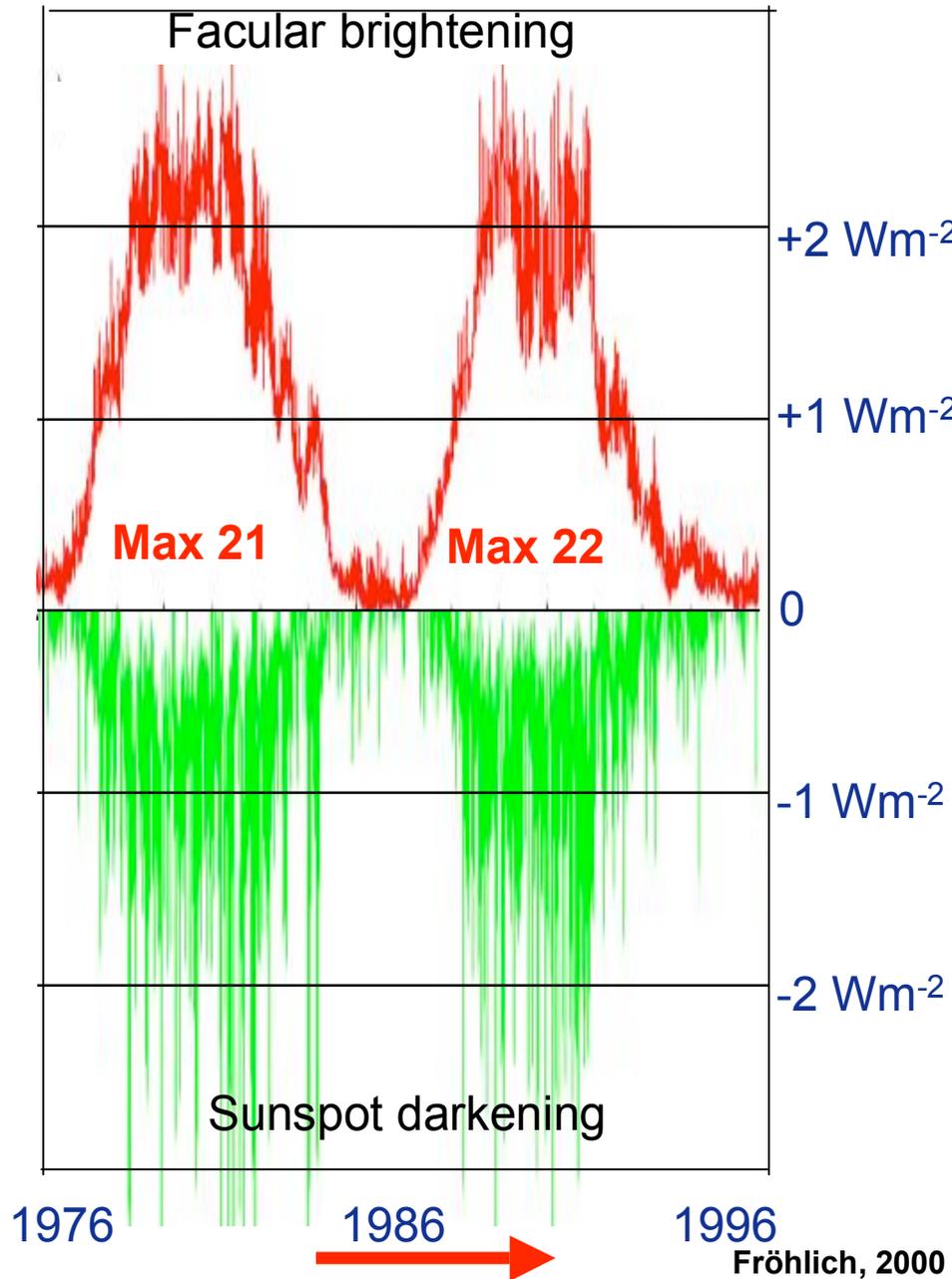


Dufresne 2008)

Depuis 1978 les données des satellites montrent que l'irradiance solaire varie (un peu) au cours du temps



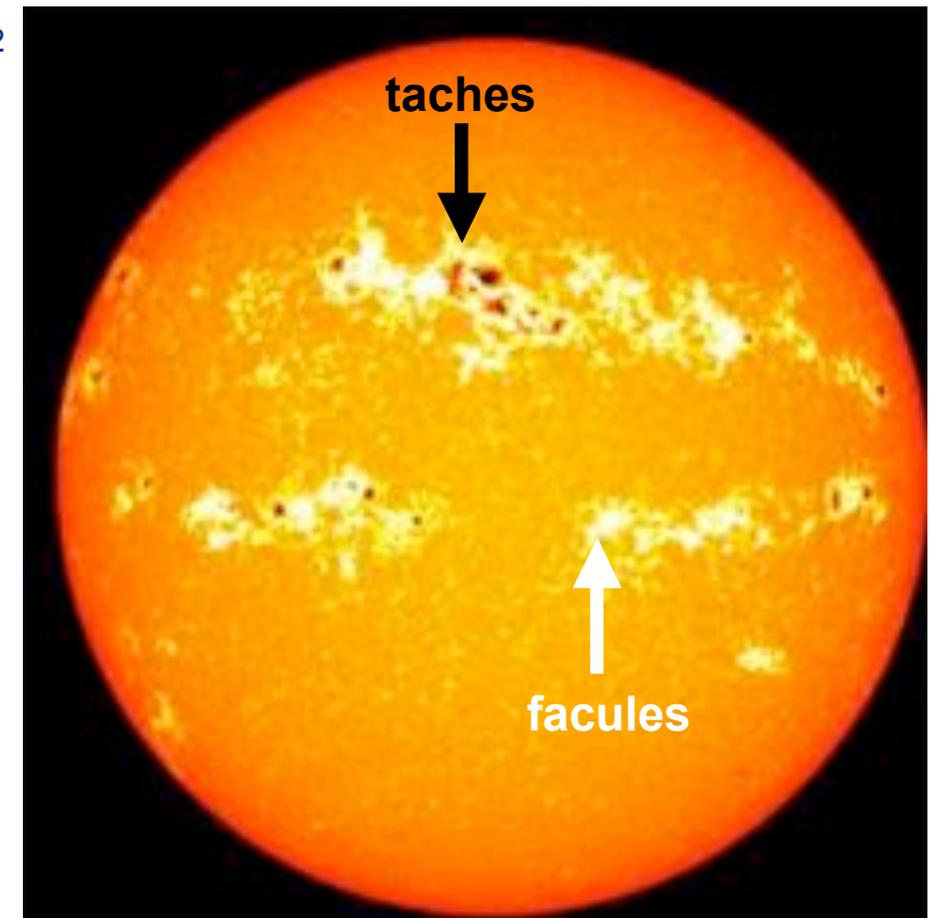
Les taches solaires plus sombres et plus froides que la photosphère ($\approx 1500^{\circ}\text{K}$) alors que les facules sont des zones plus brillantes et plus chaudes



Observations et calculs montrent que les facules dominent sur les taches

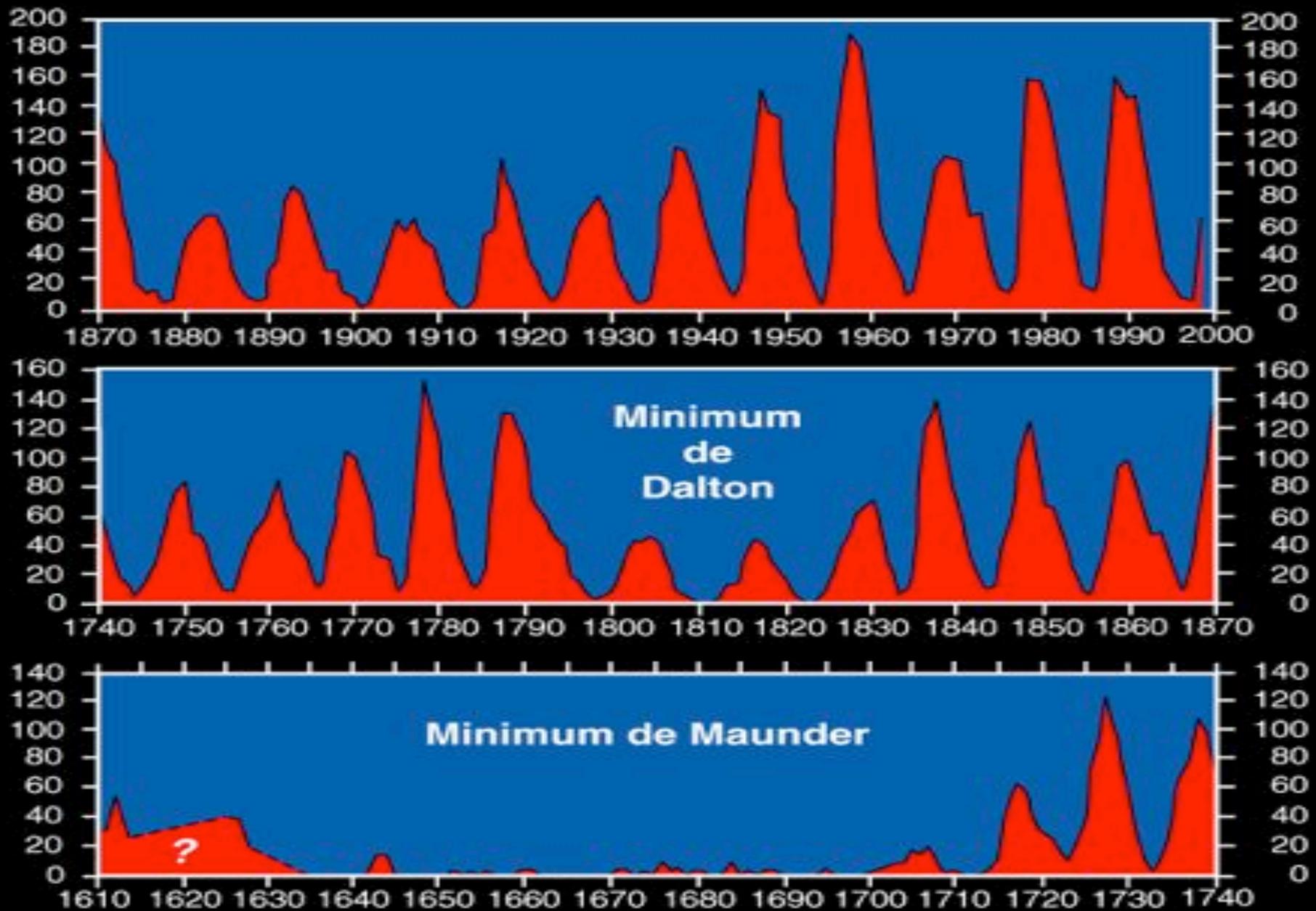
=>

l'irradiance est corrélée positivement avec le nombre de taches



Les variations de l'activité solaire avant l'ère des satellites

nombre annuel de taches solaires



d'après Eddy *et al.* 1976 , Hoyt & Schatten 1998

→ années

Des phénomènes terrestres comme les aurores polaires sont quantitativement liées à l'activité solaire



photo Jan Curtis

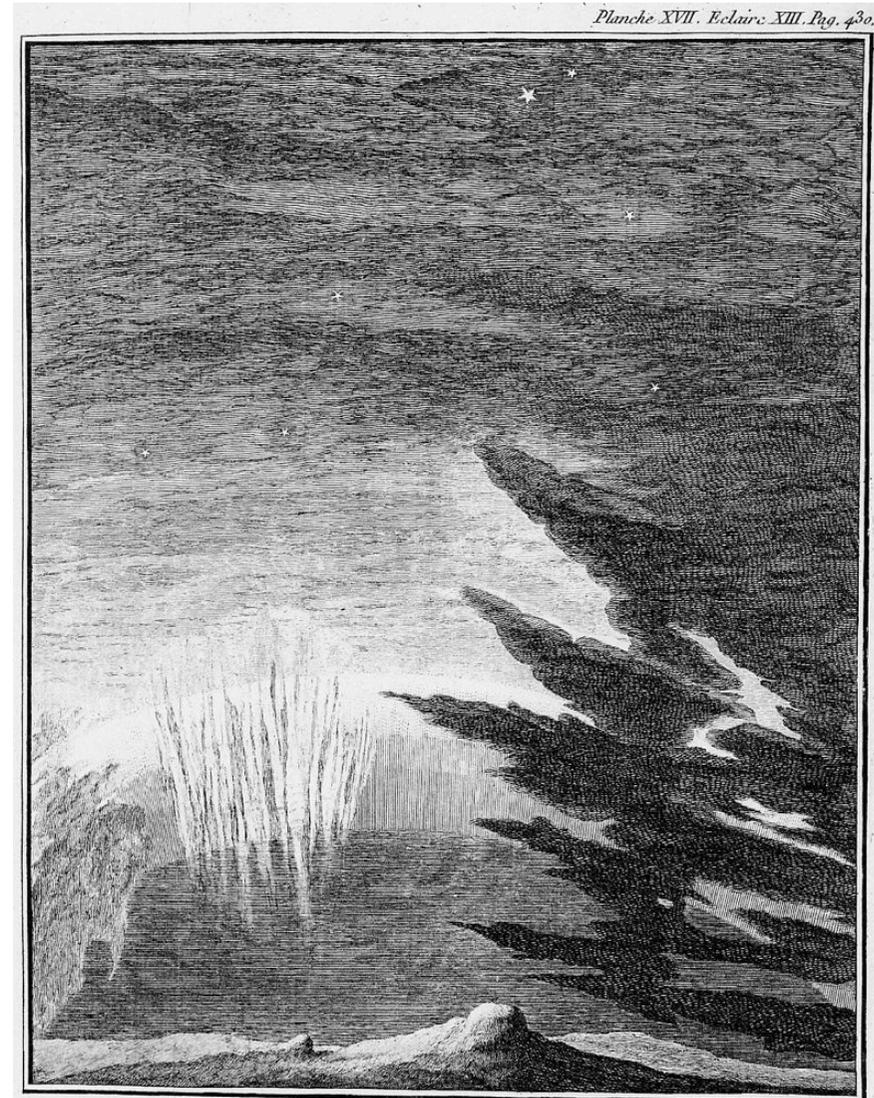
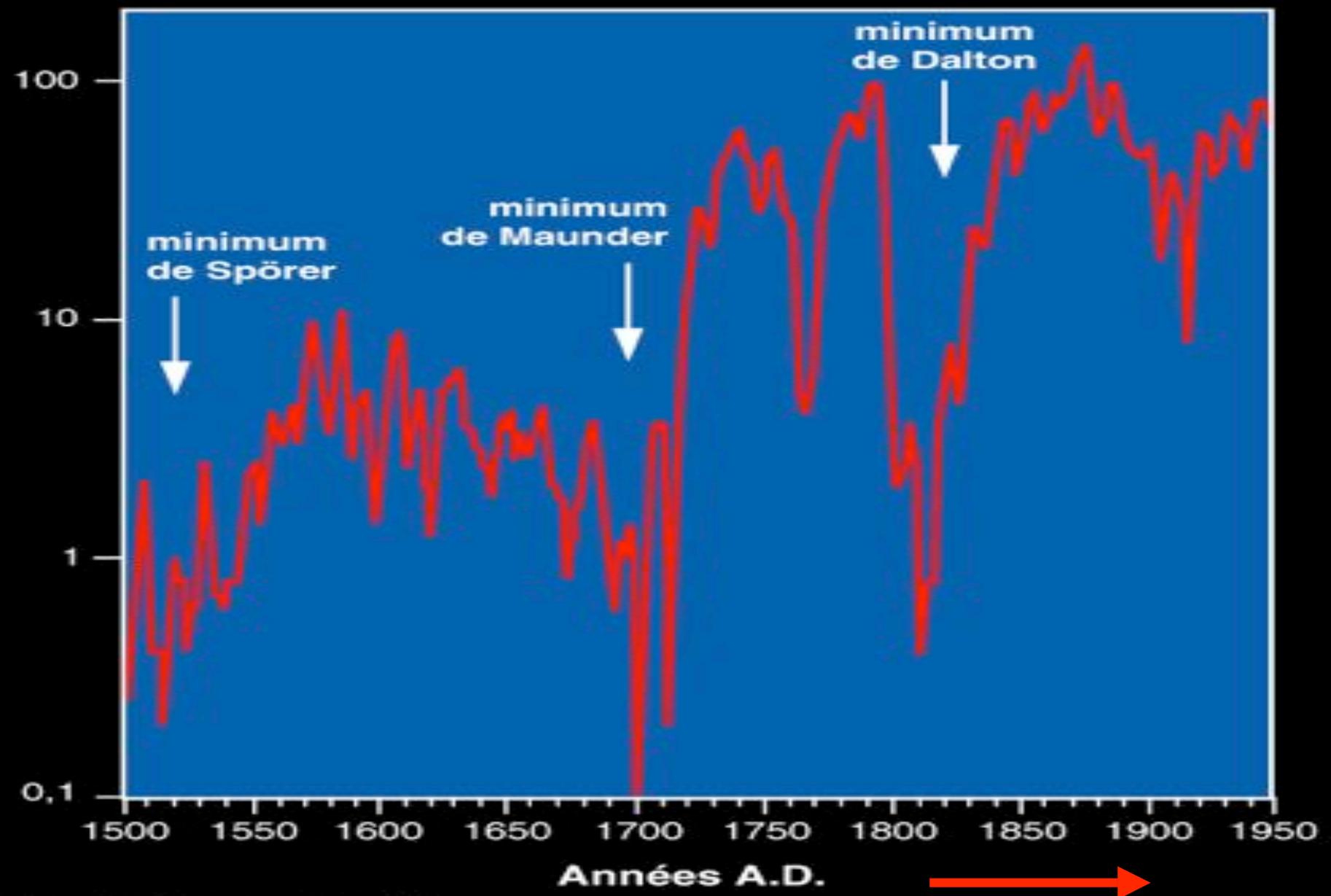


Planche XVII. Eclairc. XIII. Pag. 430.

Fig. XXXVI. Aurore Boreale observée à Montpellier le 16 Decembre 1737.

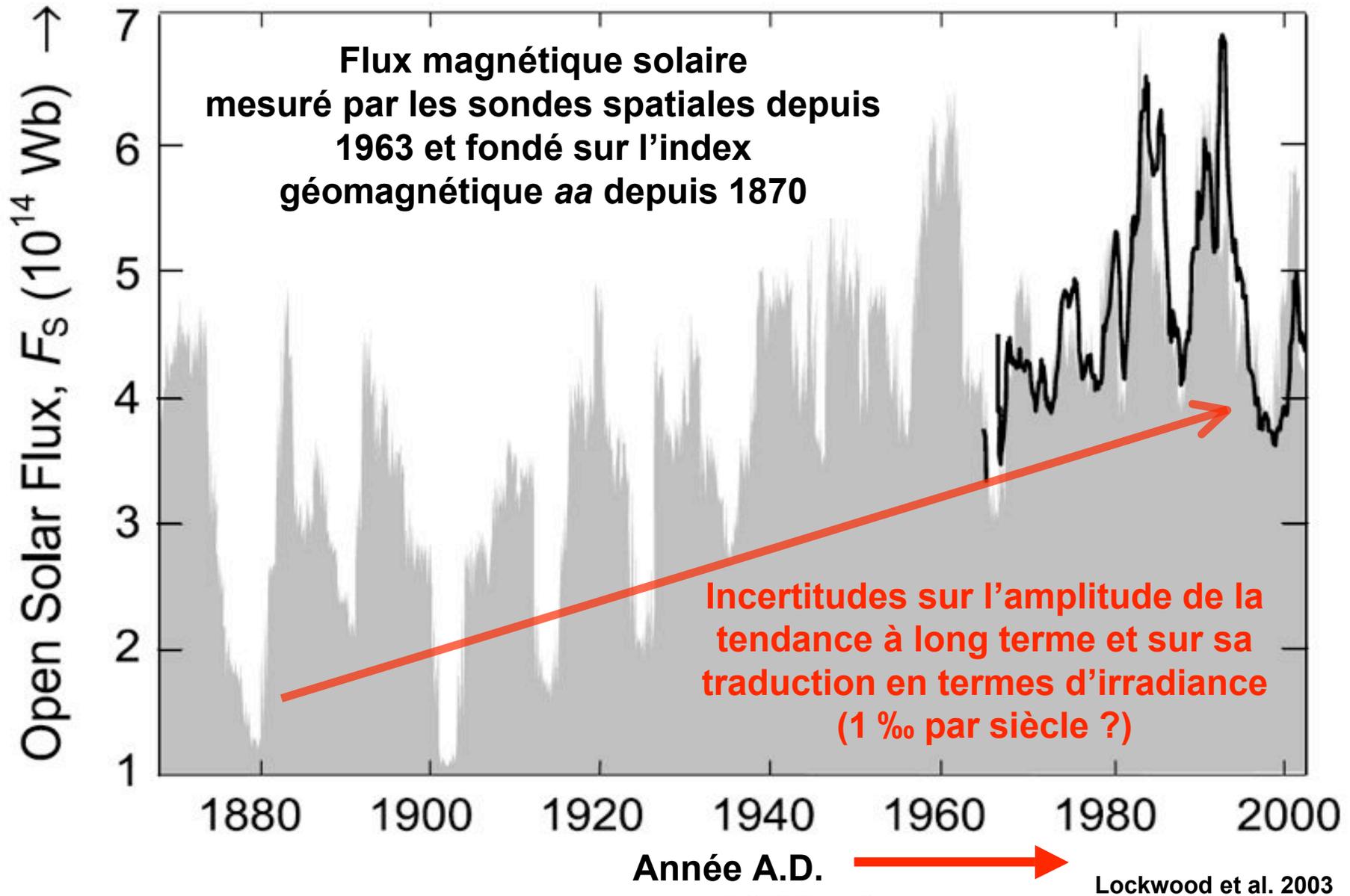
J. J. de Mairan, *Traité Physique et Historique de l'Aurore Boréale*, 1733, 1754

Nombre d'aurores observées aux moyennes latitudes

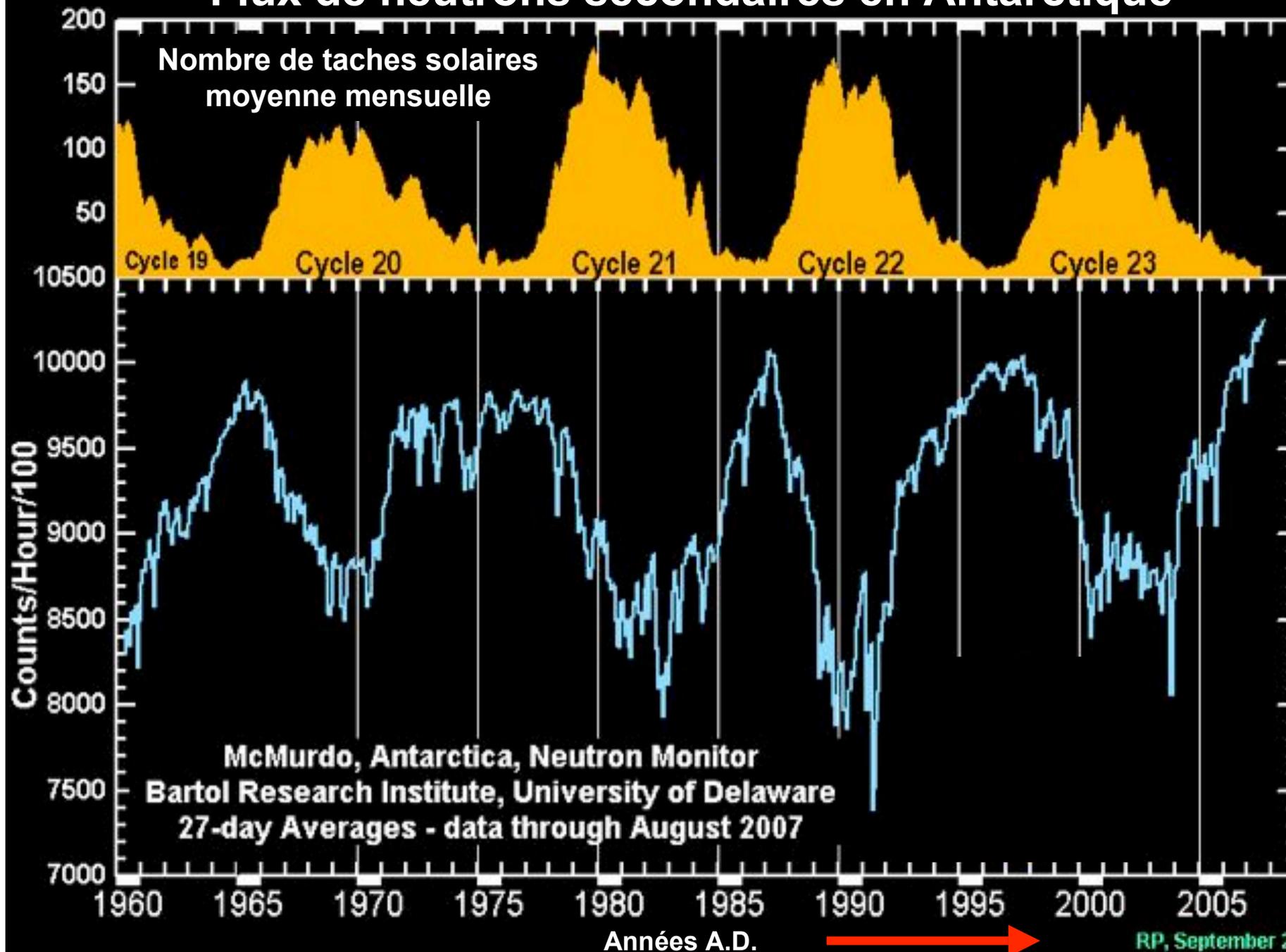


d'après Silverman, 1992

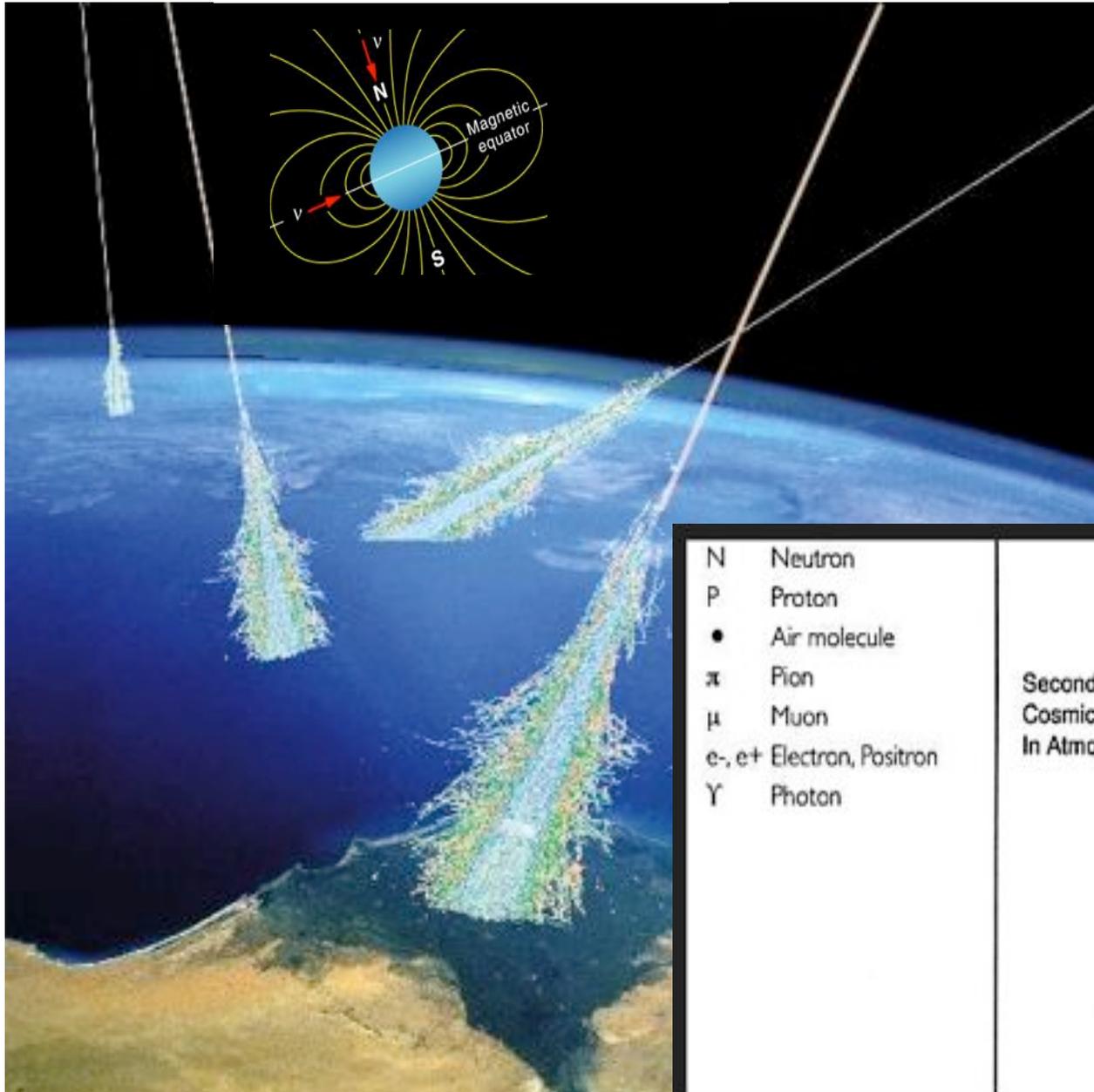
Les perturbations rapides du champ géomagnétique permettent de remonter au champ magnétique solaire



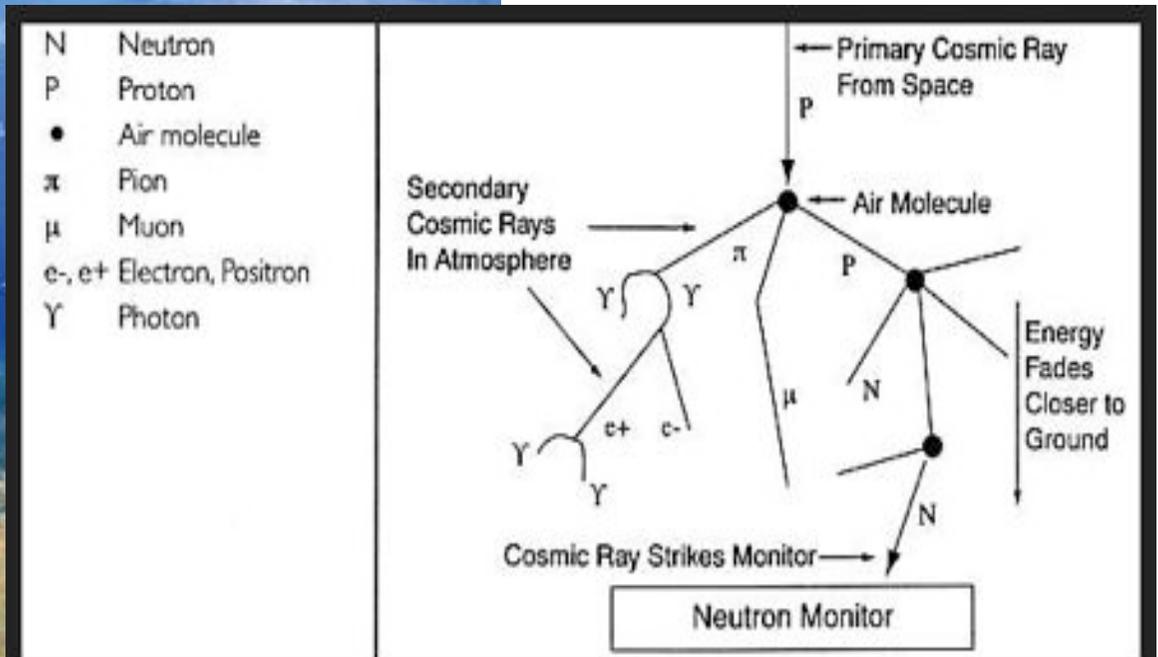
Flux de neutrons secondaires en Antarctique



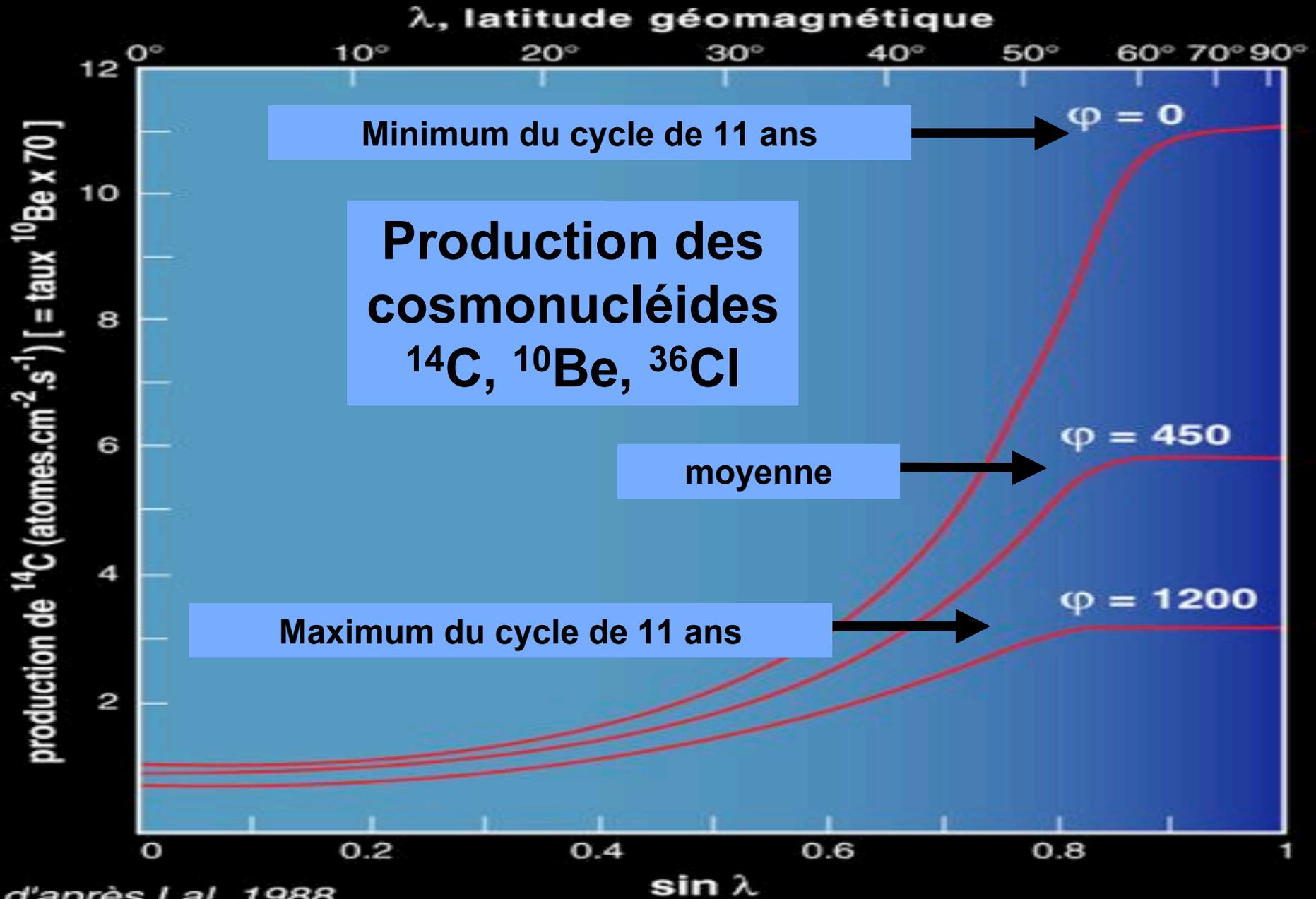
Les champs géo et héliomagnétiques modulent l'arrivée sur Terre des protons du rayonnement cosmique

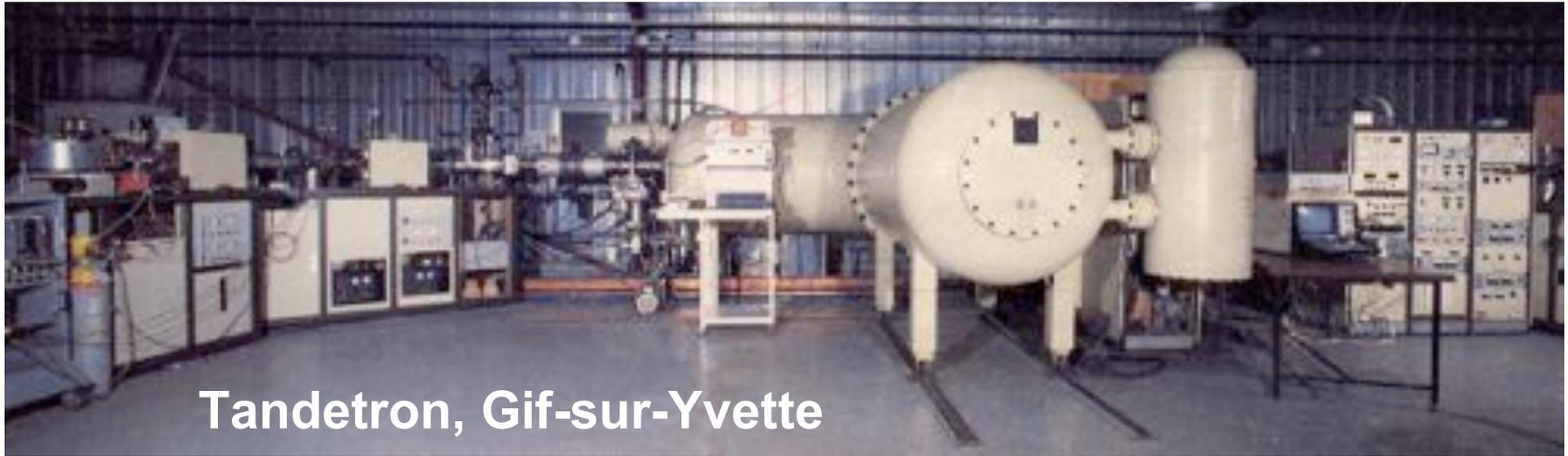


Cascade de réactions nucléaires



Modulation géo- et héliomagnétique





Tandetron, Gif-sur-Yvette

**^{14}C , ^{10}Be et ^{36}Cl en
Spectrométrie de Masse
par Accélérateur**



**ARTEMIS
Saclay**

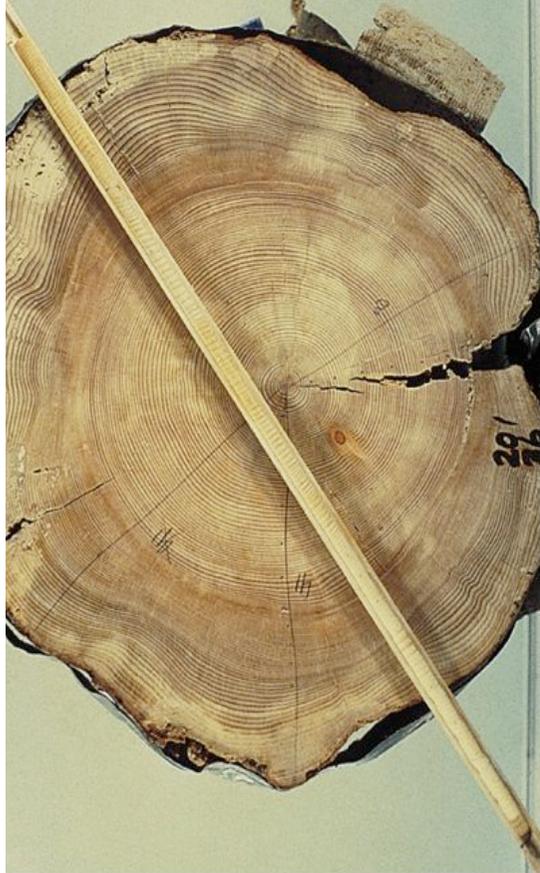
copyright CEA



ASTER, Aix-en-Provence

Au delà du 17e siècle, la seule possibilité de reconstituer l'activité solaire est de mesurer l'abondance des cosmonucléides dans des archives « géologiques » variées

^{14}C des cernes d'arbres



^{14}C & ^{10}Be dans les sédiments marins



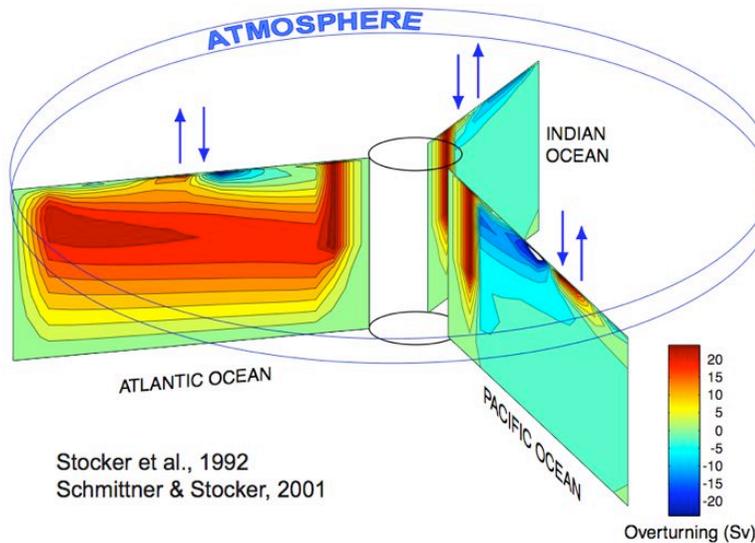
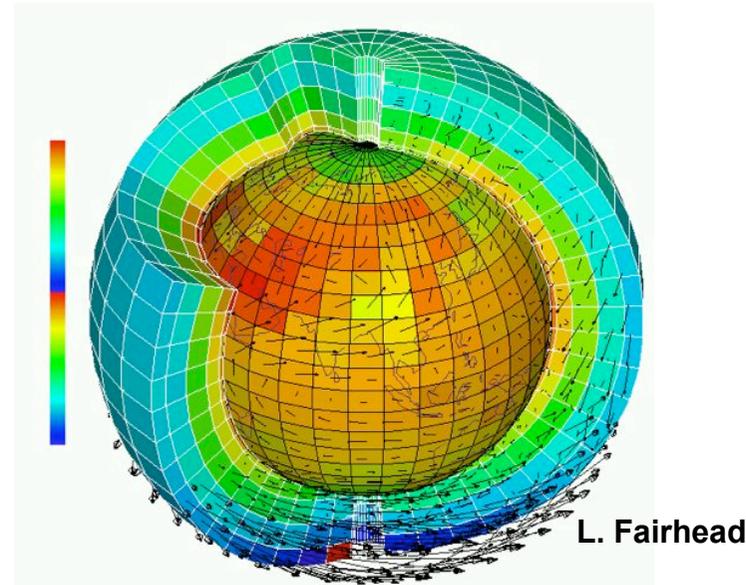
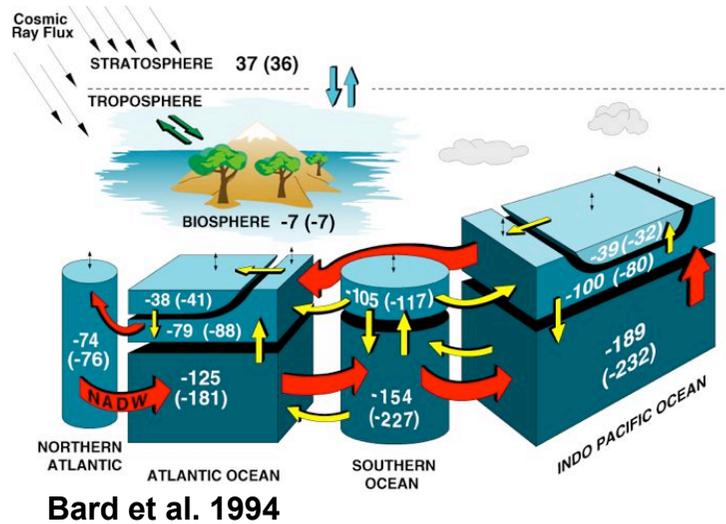
^{10}Be & ^{36}Cl de la glace polaire



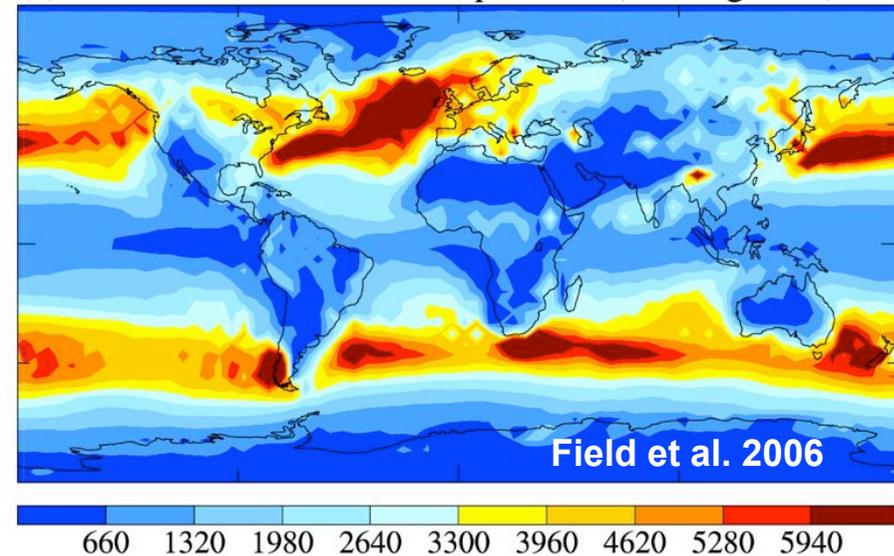
^{14}C & ^{230}Th - ^{234}U des coraux



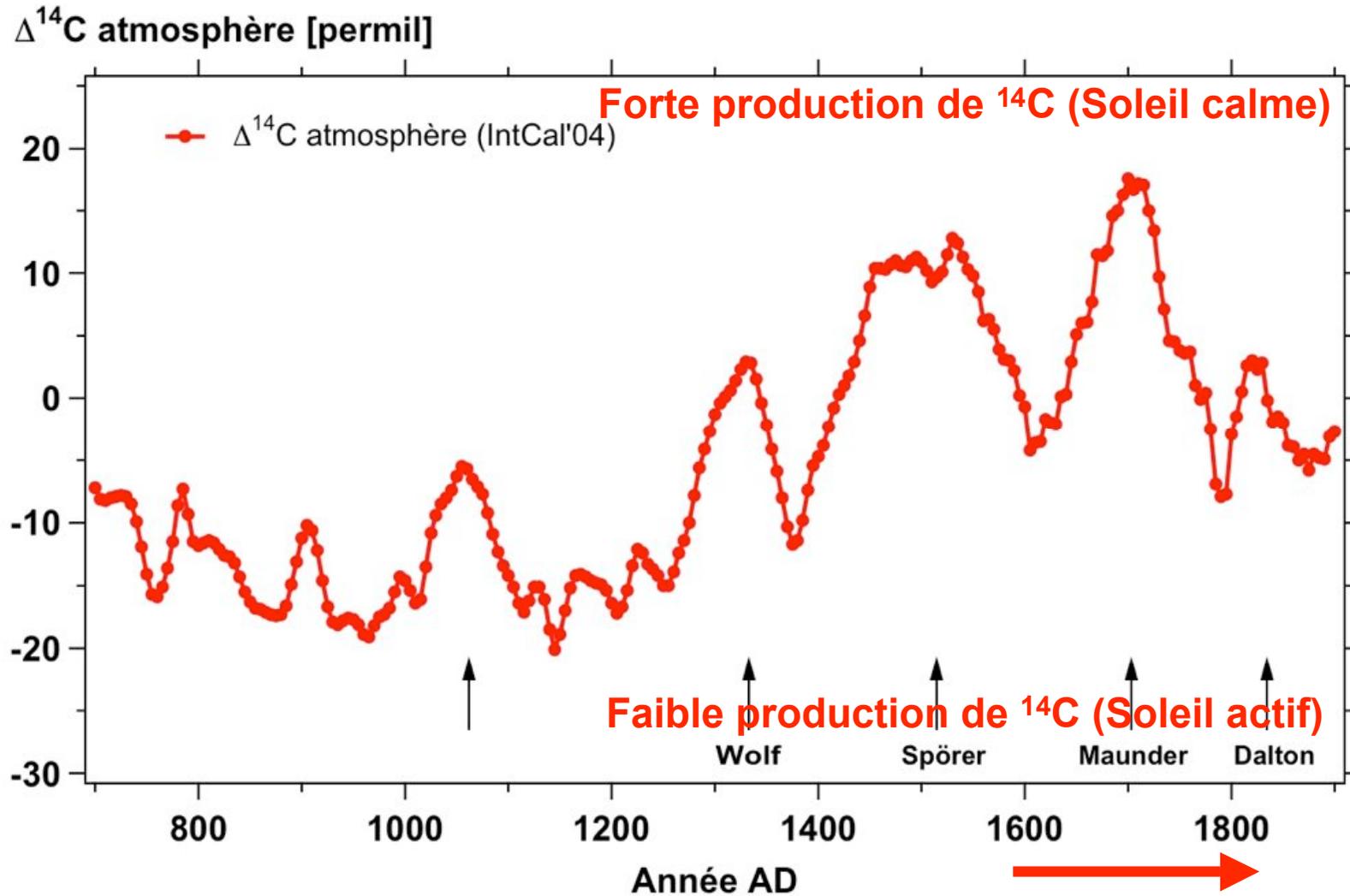
Des modèles géochimiques et climatiques sont nécessaires pour comparer les données de ^{14}C et de ^{10}Be



(a) Annual mean wet ^{10}Be deposition ($10^{-27} \text{ kg/m}^2/\text{s}$)

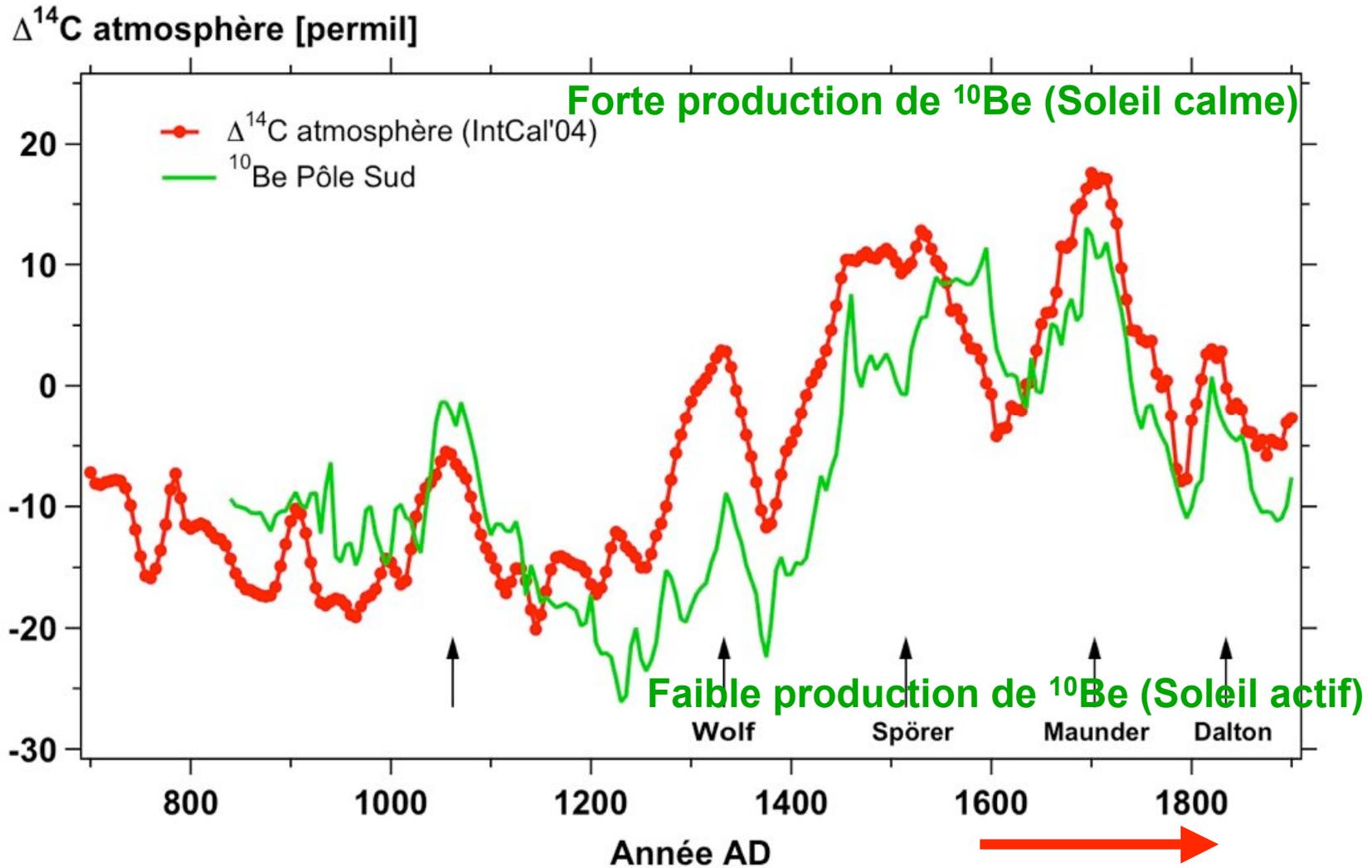


Fluctuations du ^{14}C dans les cernes d'arbres au cours du dernier millénaire (courbe IntCal04)



Reimer et al. 2004

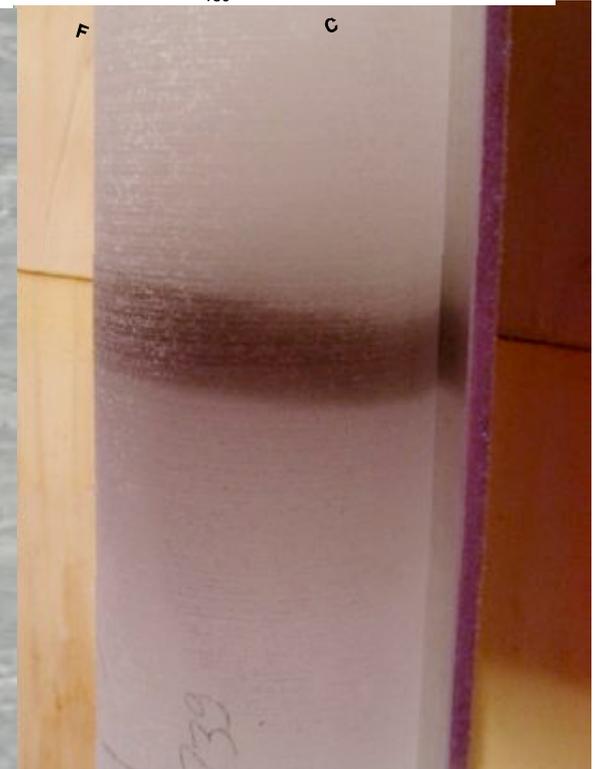
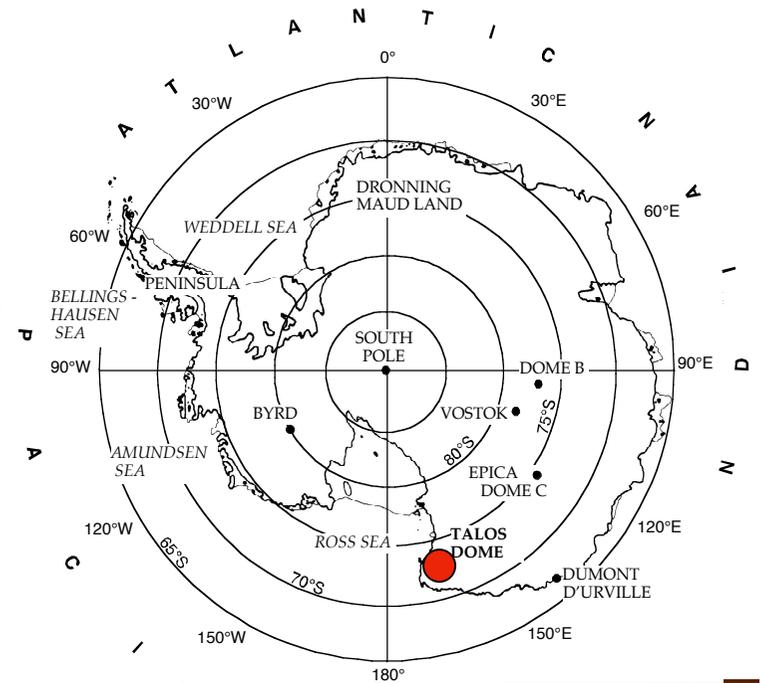
^{10}Be dans une carotte de glace du Pôle Sud (PS1) converti en unité ^{14}C



Raisbeck et al. 1990, Bard et al. 1997, 2000

La carotte de glace du Talos Dome (zone de la Mer de Ross):

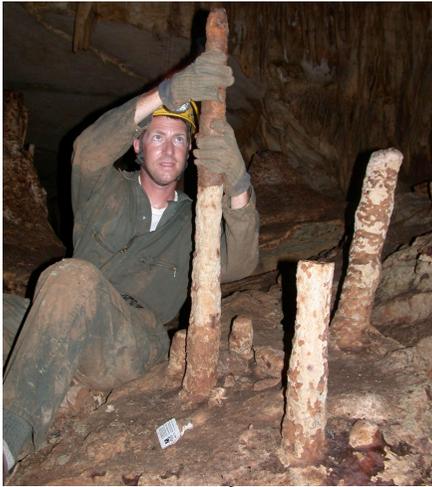
une nouvelle archive pour étudier le ^{10}Be à haute résolution et comparer les différents types de fluctuations solaires (cycles de 11, 90, 200 ans, événements de type Maunder ...)



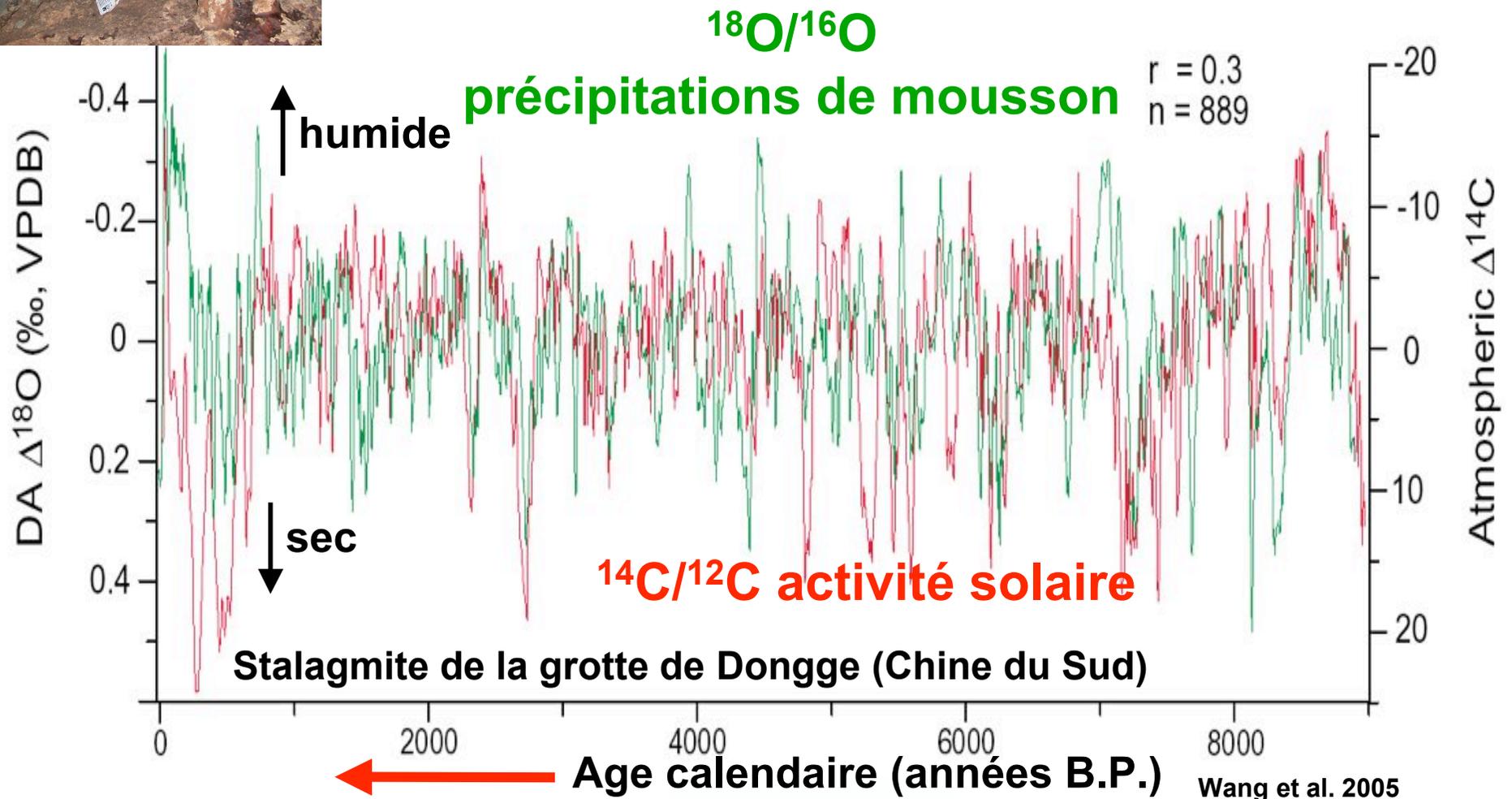
Les changements climatiques liés aux variations solaires

Le Petit Age Glaciaire en 1565 « Chasseurs dans la neige » de Pieter Bruegel



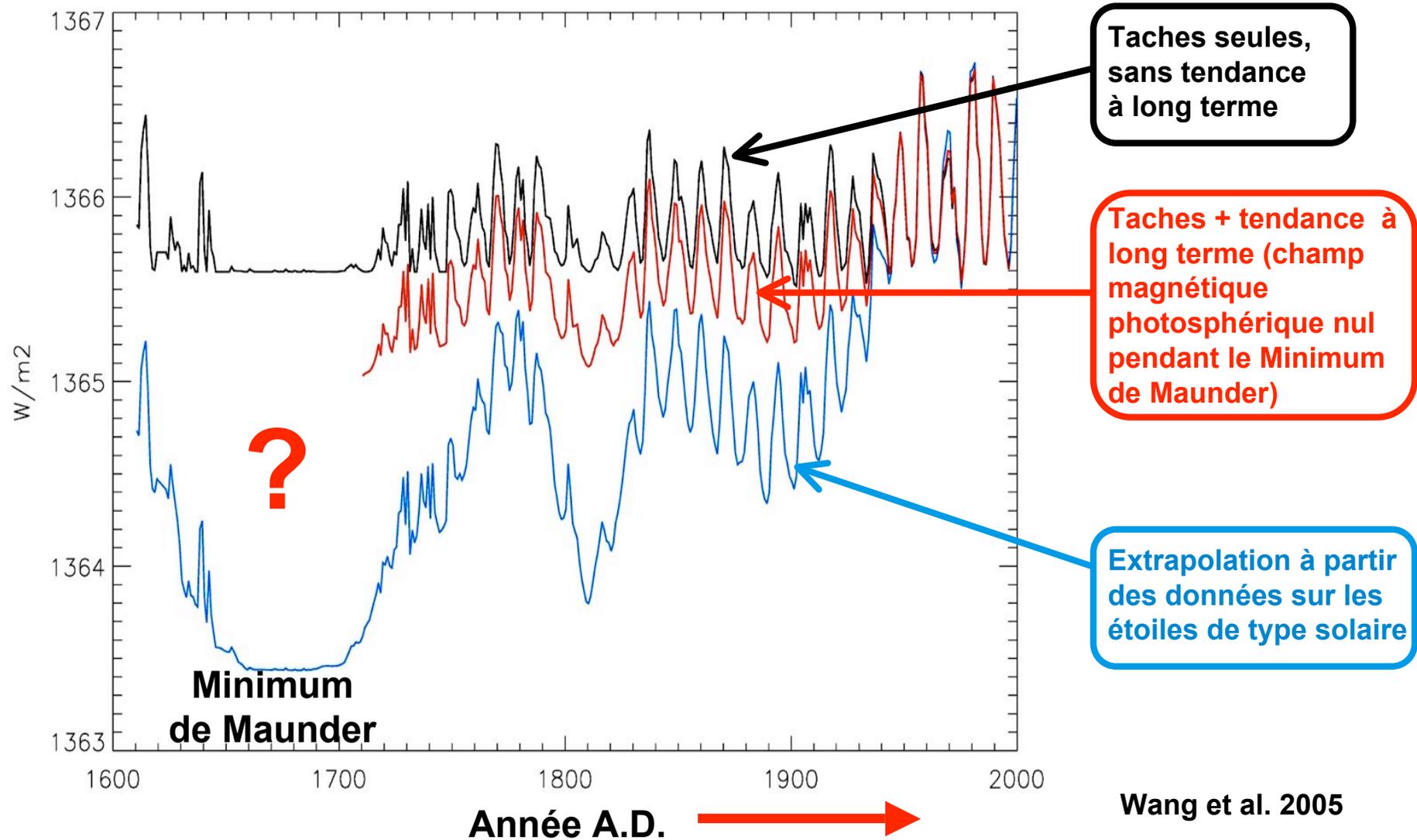


Plusieurs enregistrements bien datés (U-Th) suggèrent qu'une partie de la variabilité de haute fréquence est liée à l'activité solaire

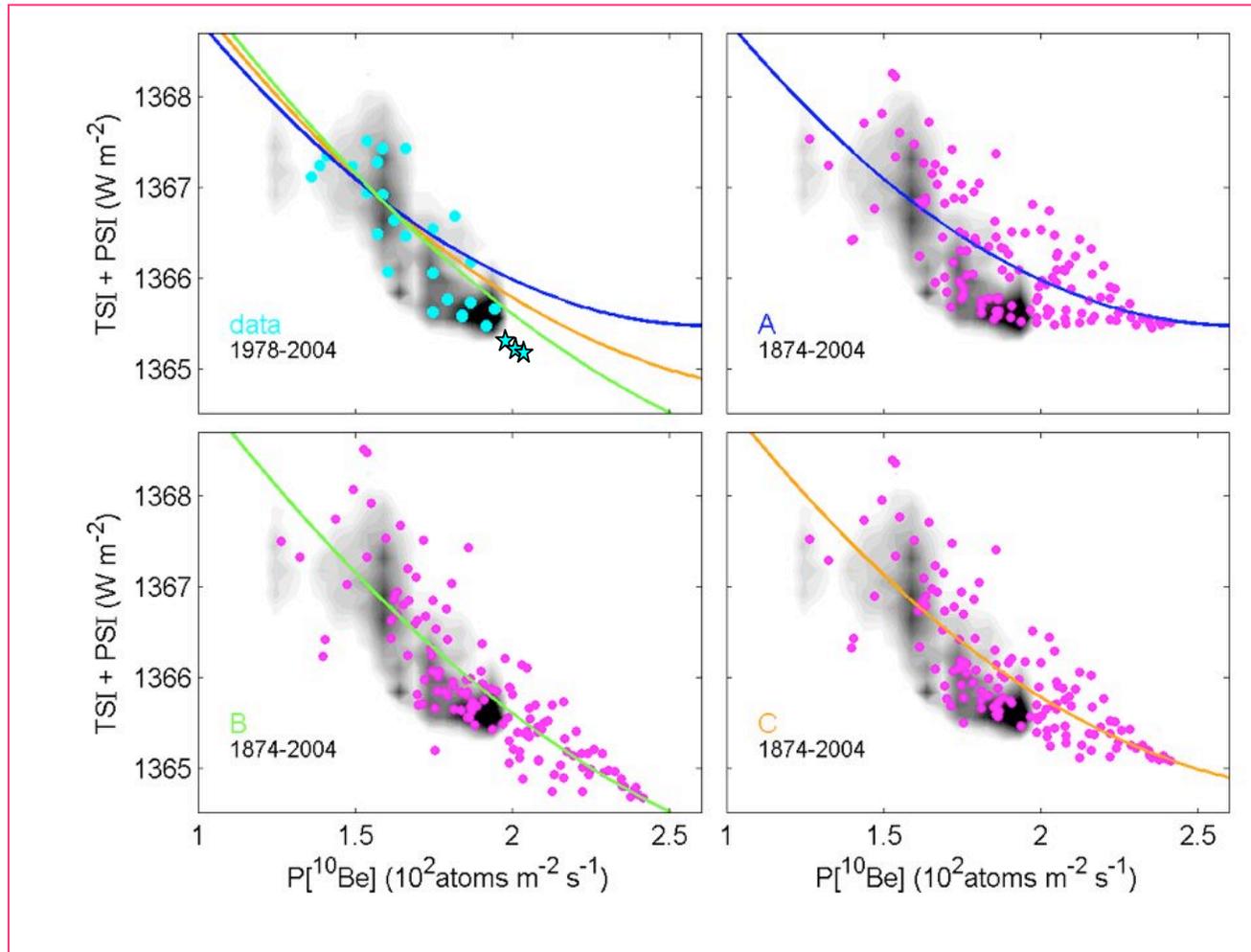


Nature et amplitude du forçage solaire

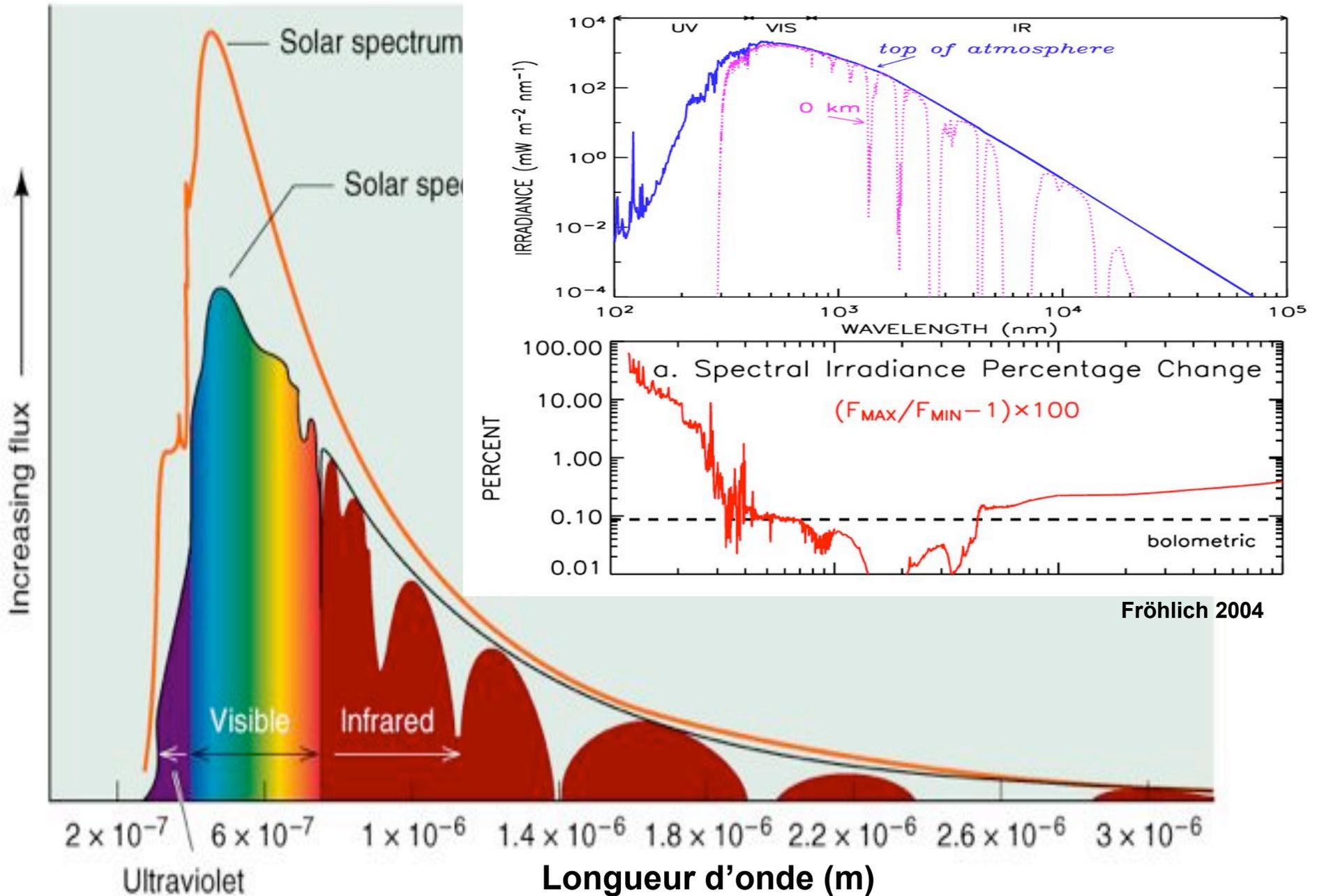
Plusieurs modèles pour convertir les observations sur les taches en termes d'irradiance. Débat sur l'amplitude de la tendance à long terme exprimée par une diminution pendant le Minimum de Maunder



La comparaison des données et des modélisations permet de quantifier la relation entre la production de cosmonucléides et l'irradiance solaire



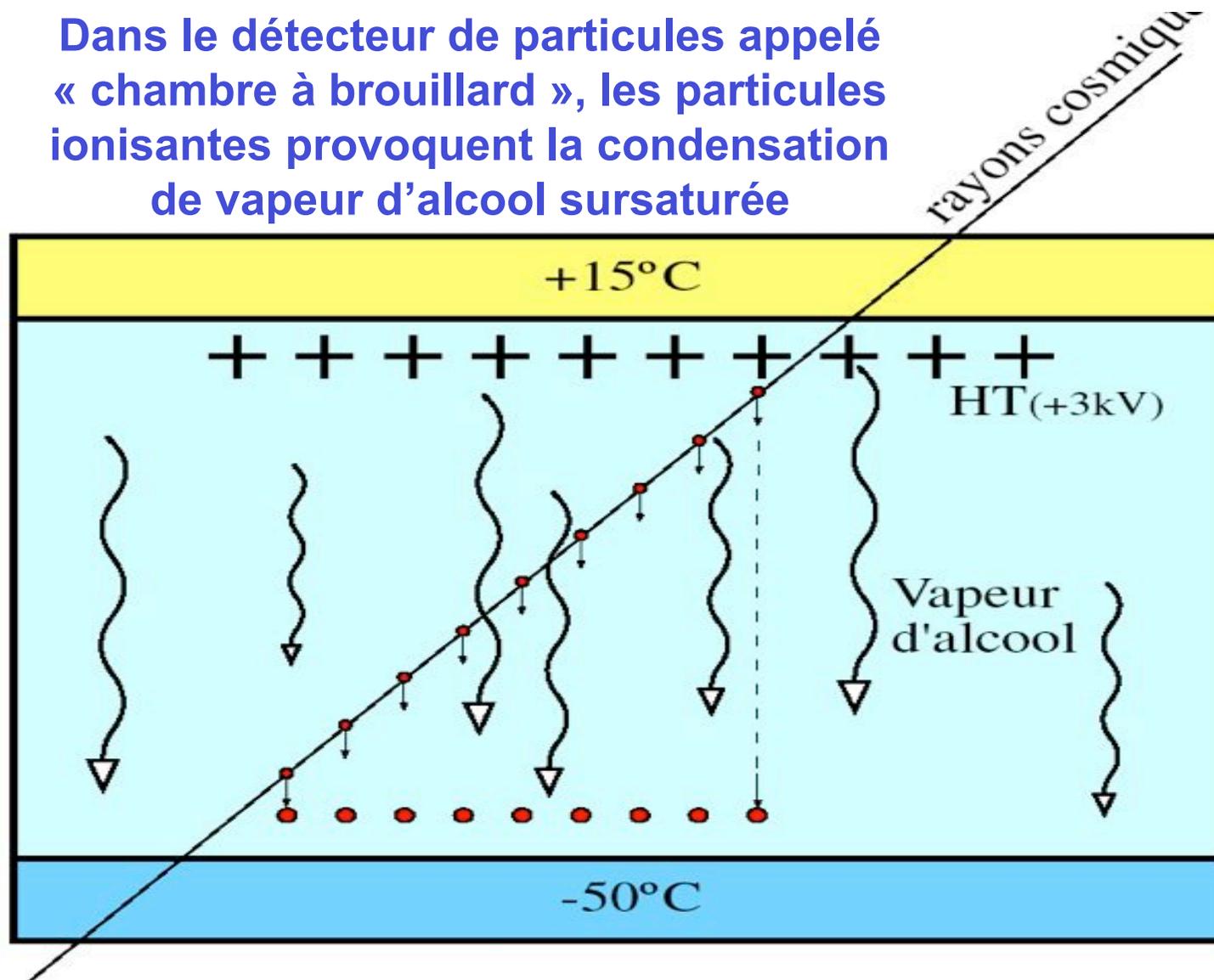
La modulation solaire des UV est plus grande (relativement) que celle de l'irradiance totale (=> effet important sur l'ozone stratosphérique)



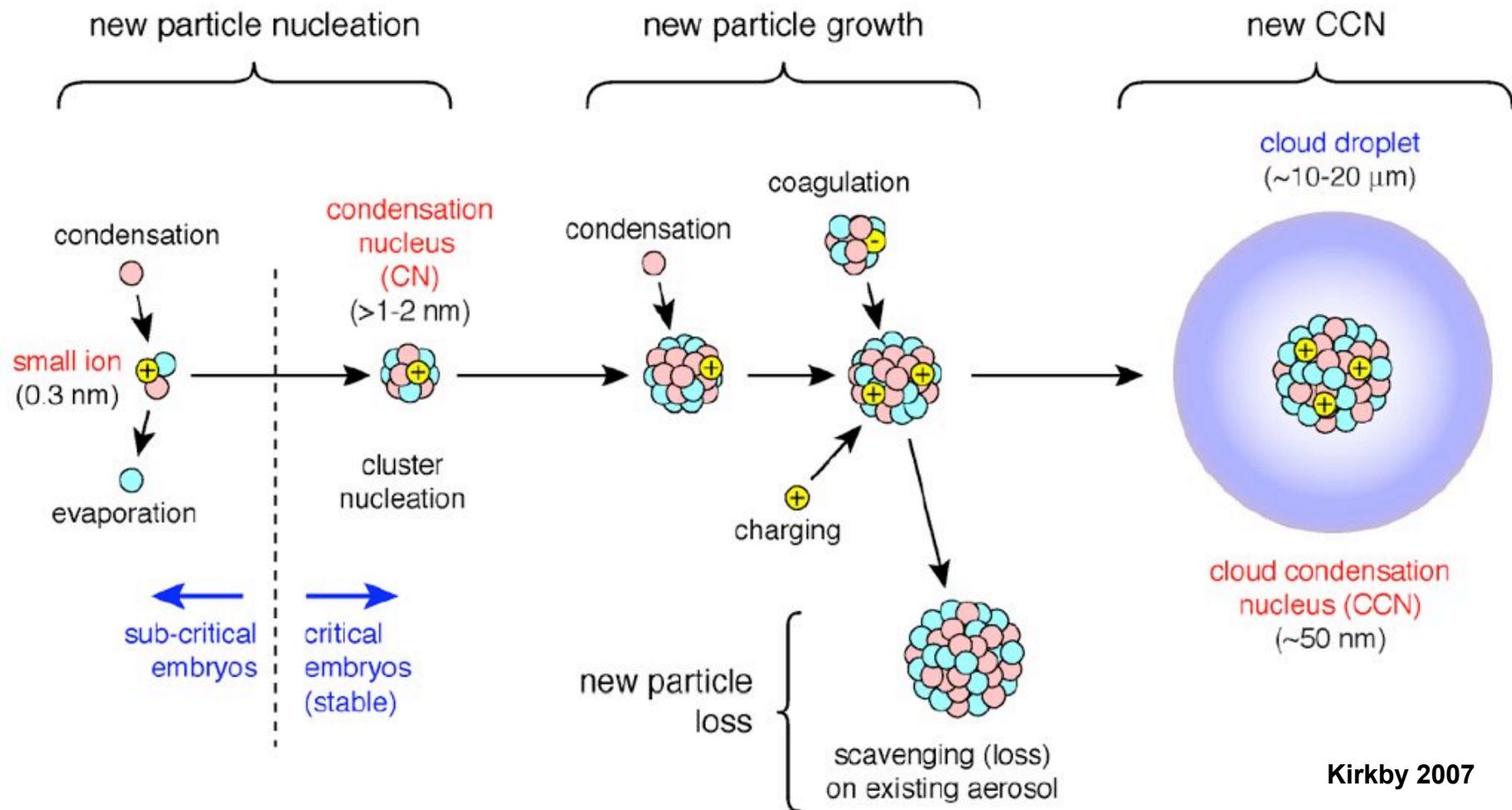
Un effet direct des rayons cosmiques sur le climat ?

(renouveau d'une hypothèse ancienne Ney 1959)

Dans le détecteur de particules appelé « chambre à brouillard », les particules ionisantes provoquent la condensation de vapeur d'alcool sursaturée

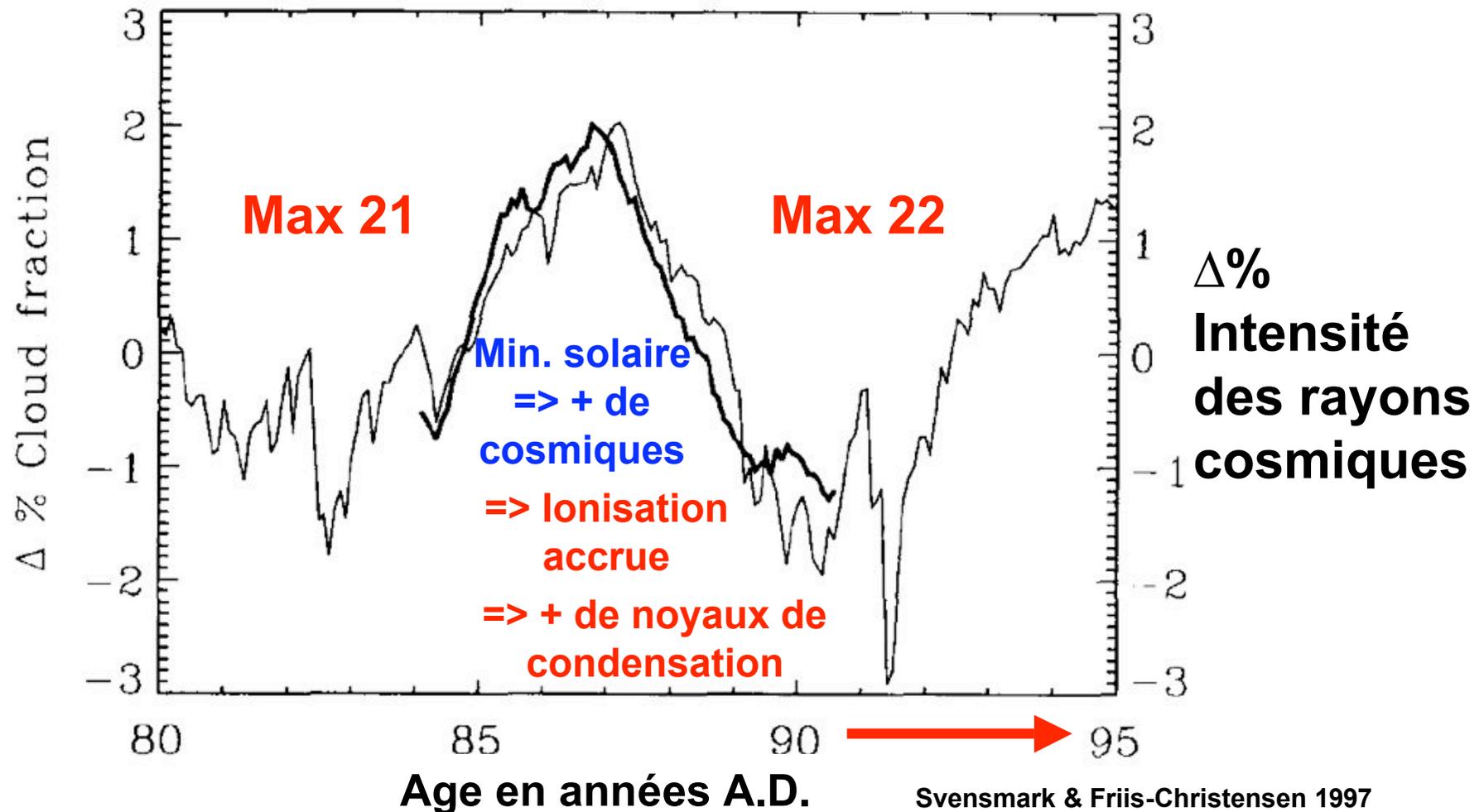


Effet supposé des particules ionisantes sur la formation des noyaux de condensation



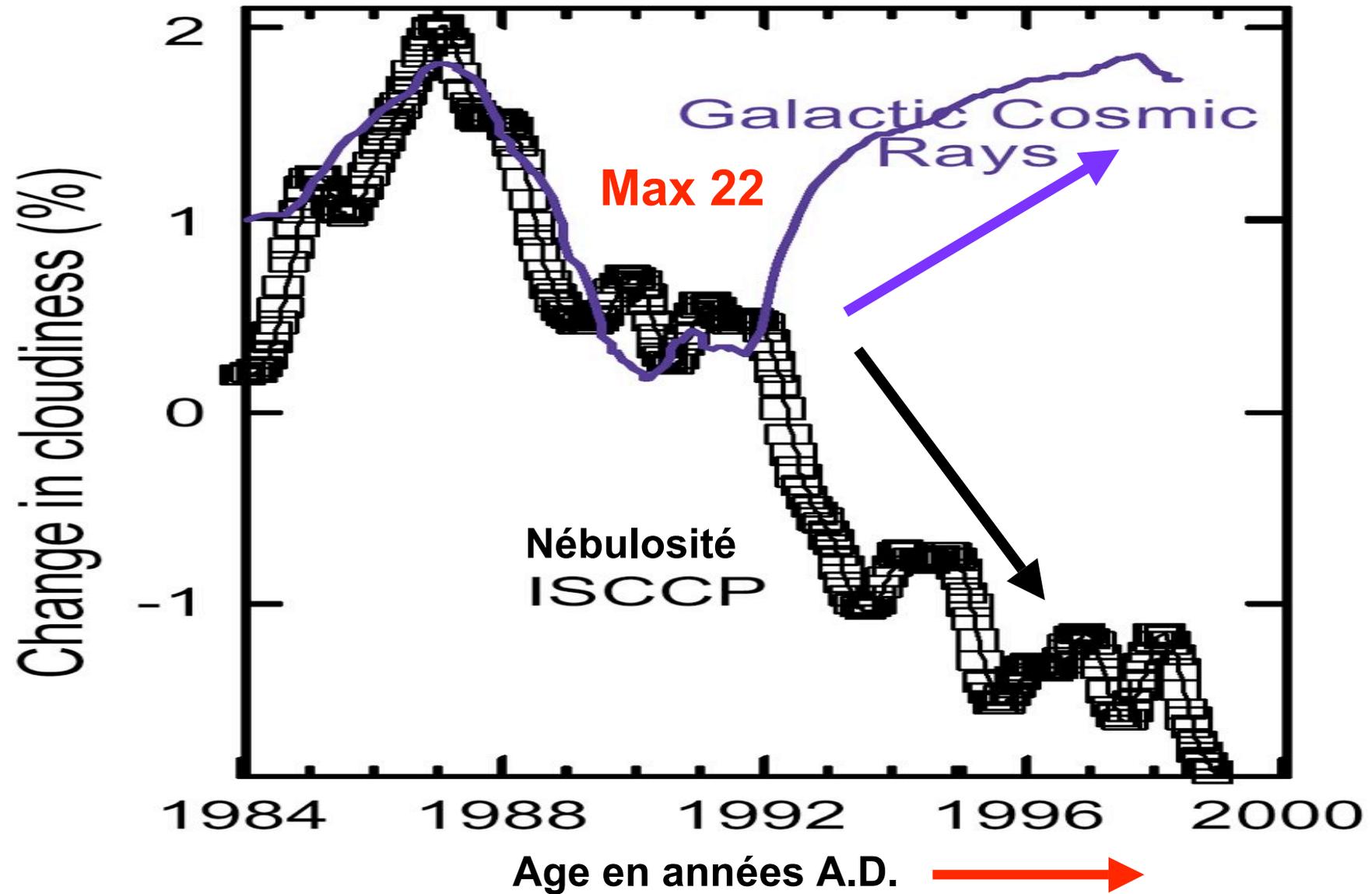
Tests expérimentaux prévus avec l'expérience CLOUD au CERN (2009-11)

Corrélation positive entre la couverture nuageuse et le flux de rayons cosmiques (donc négative avec l'activité solaire)

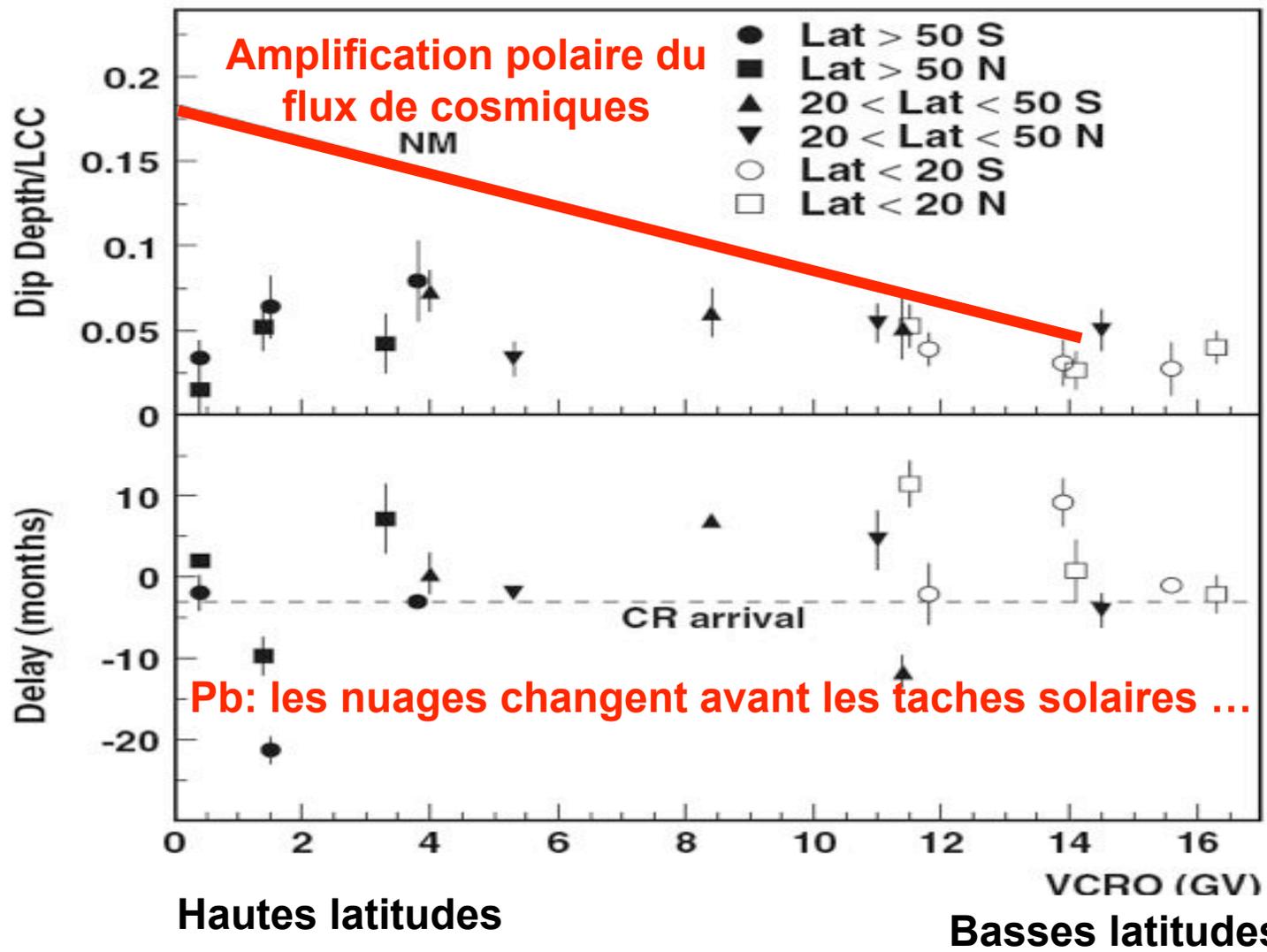


“ this could explain global warming over the past decades ” (???)

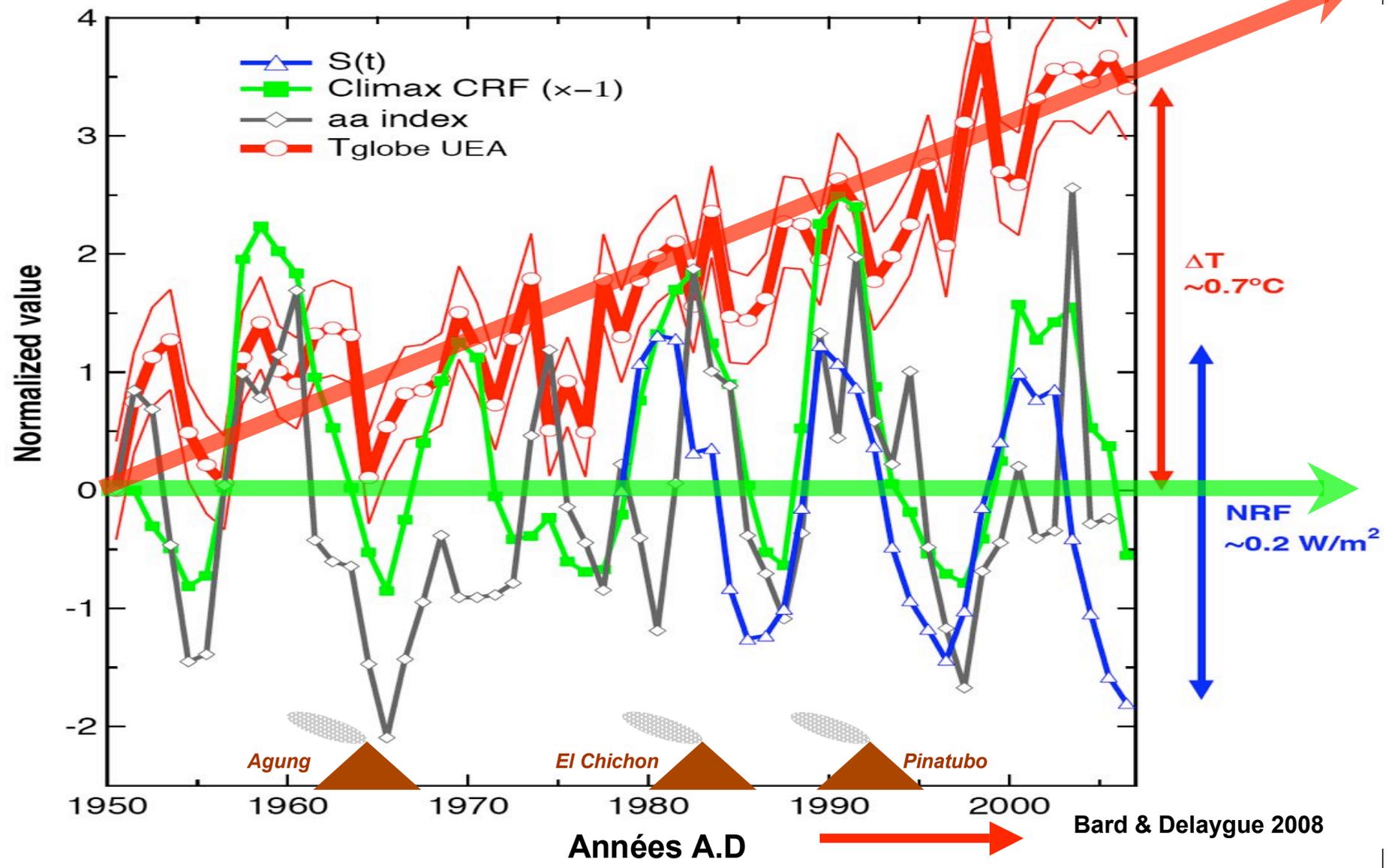
Les études ultérieures ne confirment pas la corrélation



Amplitude de variation des nuages bas lors du cycle # 22 en fonction de la latitude (rigidité de coupure)



Au cours des 50 dernières années, l'irradiance, et la modulation héliomagnétique des rayons cosmiques ne présentent pas de tendance à long terme ayant pu contribuer au réchauffement mondial



Les questions actuelles au sujet du forçage solaire

- Les changements d'irradiance sont-ils limités aux variations d'émissivité de surface (i.e. les taches) ?
Les processus internes au Soleil peuvent-ils aussi changer l'irradiance sur des échelles de temps longues (>> 11 ans)?
 - Quelle est l'ampleur du forçage dû à la modulation préférentielle des ultraviolets ? (formation d'ozone, chauffage et dynamique de la stratosphère, influence sur la troposphère),
- Comment mieux convertir les données "paléo-solaires" (aa, ^{10}Be , ^{14}C) en termes d'irradiance ? Comment fonctionnait le Soleil pendant le Minimum de Maunder ?
 - La modulation des rayons cosmiques peut-elle influencer la nébulosité ? (preuves expérimentales des hypothèses proposées),
- Quelles sont les distributions spatiales et temporelles des fluctuations climatiques d'origine solaire ? (analyses et réanalyses de séries climatiques et paléoclimatiques),
 - Les modèles climatiques (GCM) simulent-ils une réponse particulière du cycle de l'eau, notamment aux basses latitudes ?