

Séminaire doctoral « La mesure » (EDSHS et EDSTS)  
« Usages de la mesure »

**OBSERVATIONS ET MESURES :  
UNE (TRÈS) LONGUE HISTOIRE DE LA CLIMATOLOGIE**

**Olivier PLANCHON**

Biogéosciences, UMR 6282 CNRS,  
Université de Bourgogne (Dijon)

Maison de la Recherche, Université d'Artois, 31 mars 2023



# PRESSION, TEMPÉRATURE, PRÉCIPITATIONS





# DES FONTAINES AU BAROMÈTRE



# TORRICELLI ET LE PREMIER BAROMÈTRE (Florence, 1643)

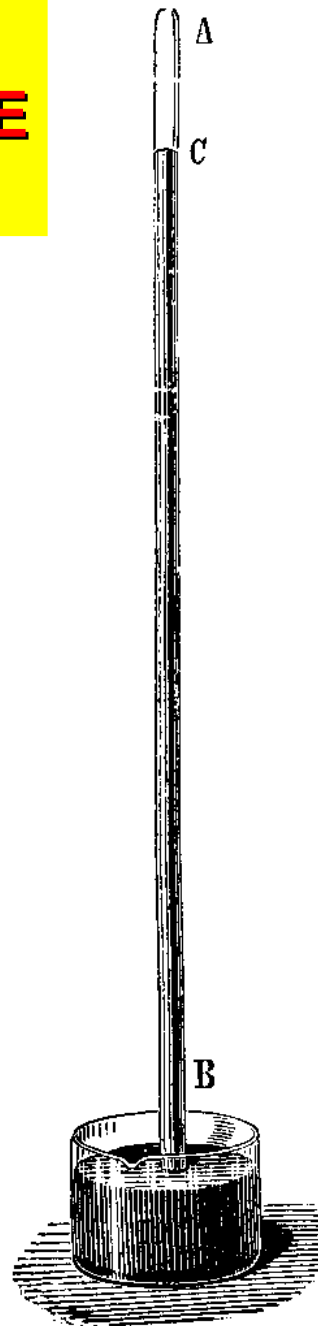


Fig. 275. — Baromètre à cuvette.

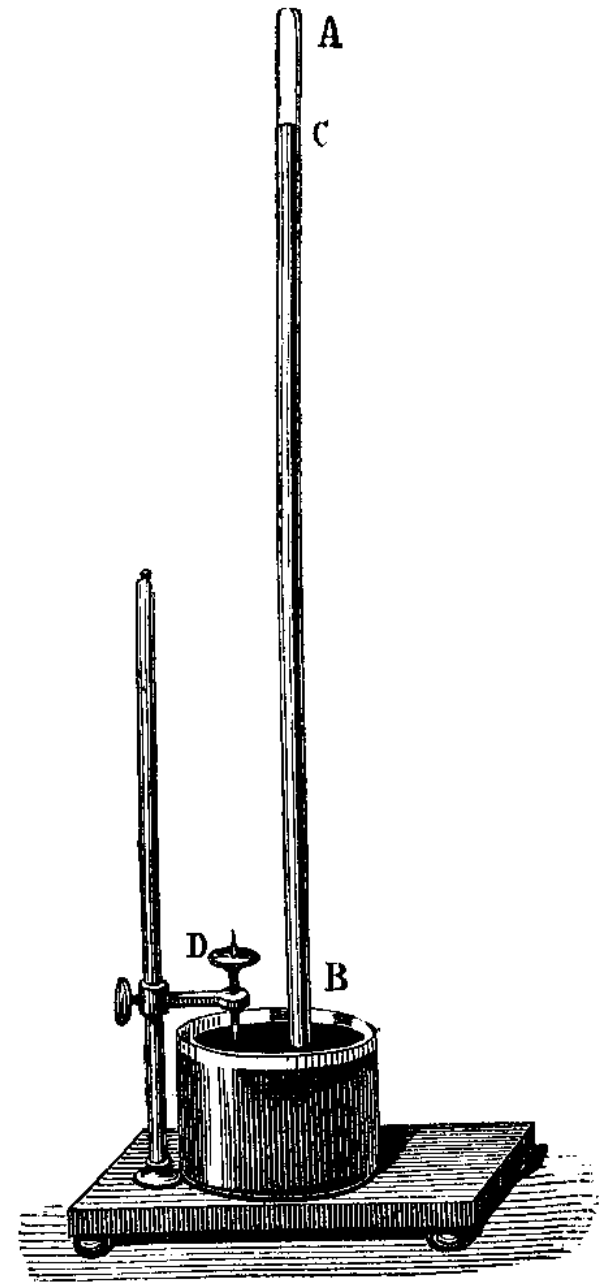
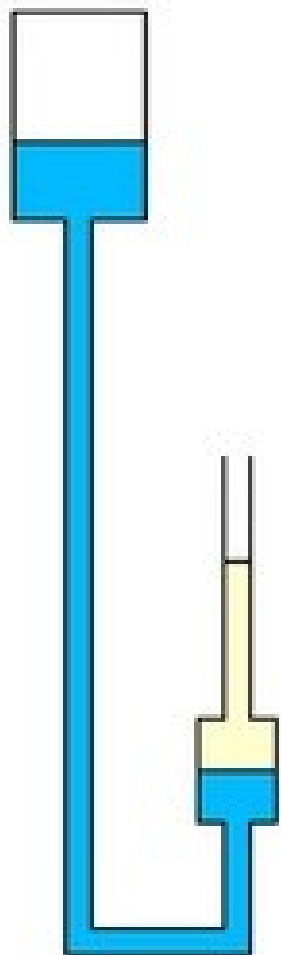


Fig. 276. — Baromètre à cuvette et sa pointe.





Principe du  
baromètre  
de  
Huygens.  
(1672)

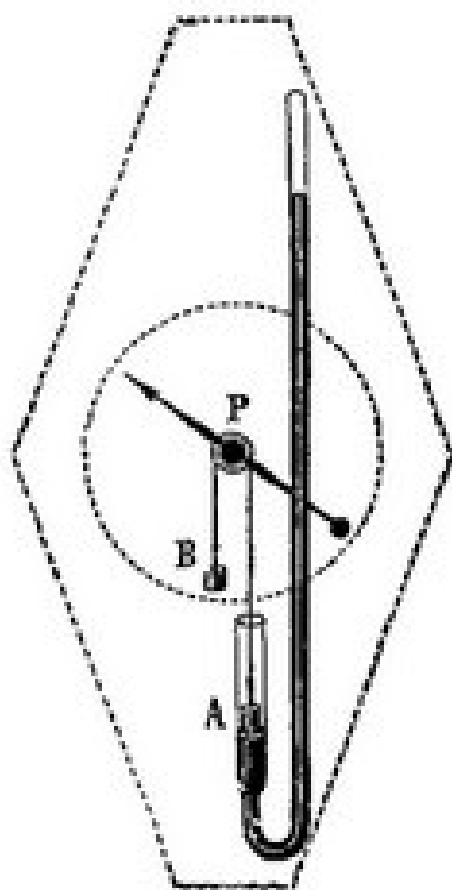
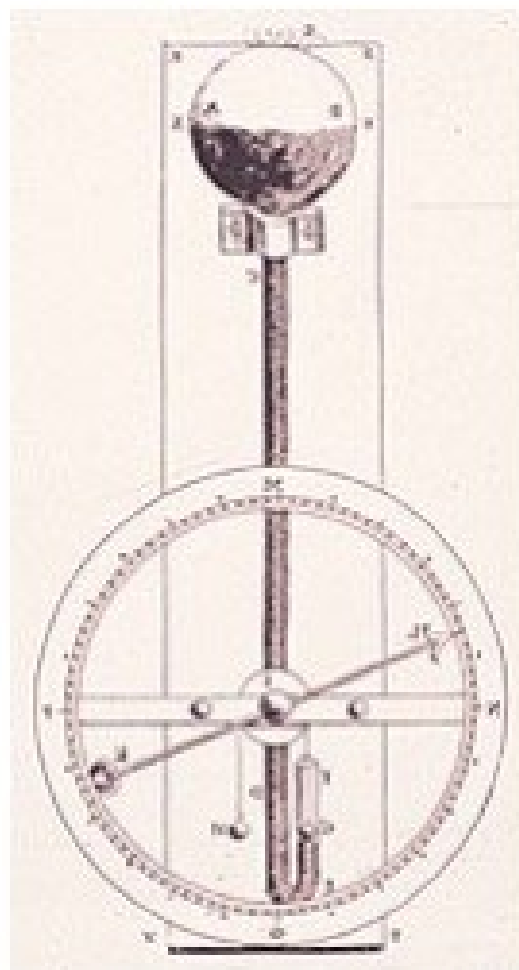


Fig. 282. — Baromètre à cadran.

Principe du baromètre  
à cadran.



Baromètre de Hooke,  
vers 1660.

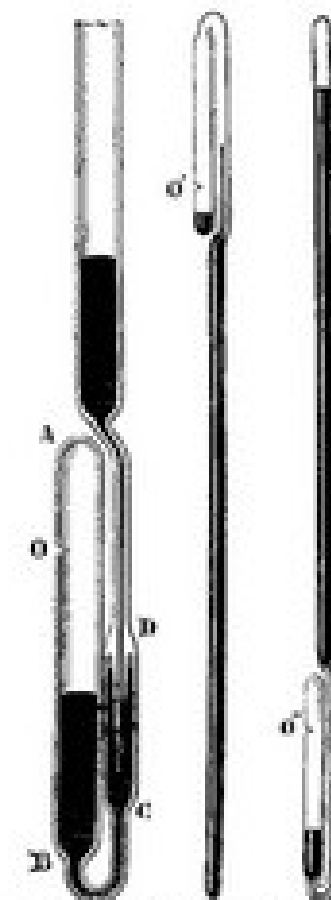


Fig. 181. — Tubes du baromètre à siphon de  
Gay-Lussac, modifié par Buntens

Baromètres à  
siphon de Gay-  
Lussac et  
Buntens.  
(Début XIX<sup>e</sup> siècle)





# BAROGRAPHERS

(Baromètres enregistreurs)





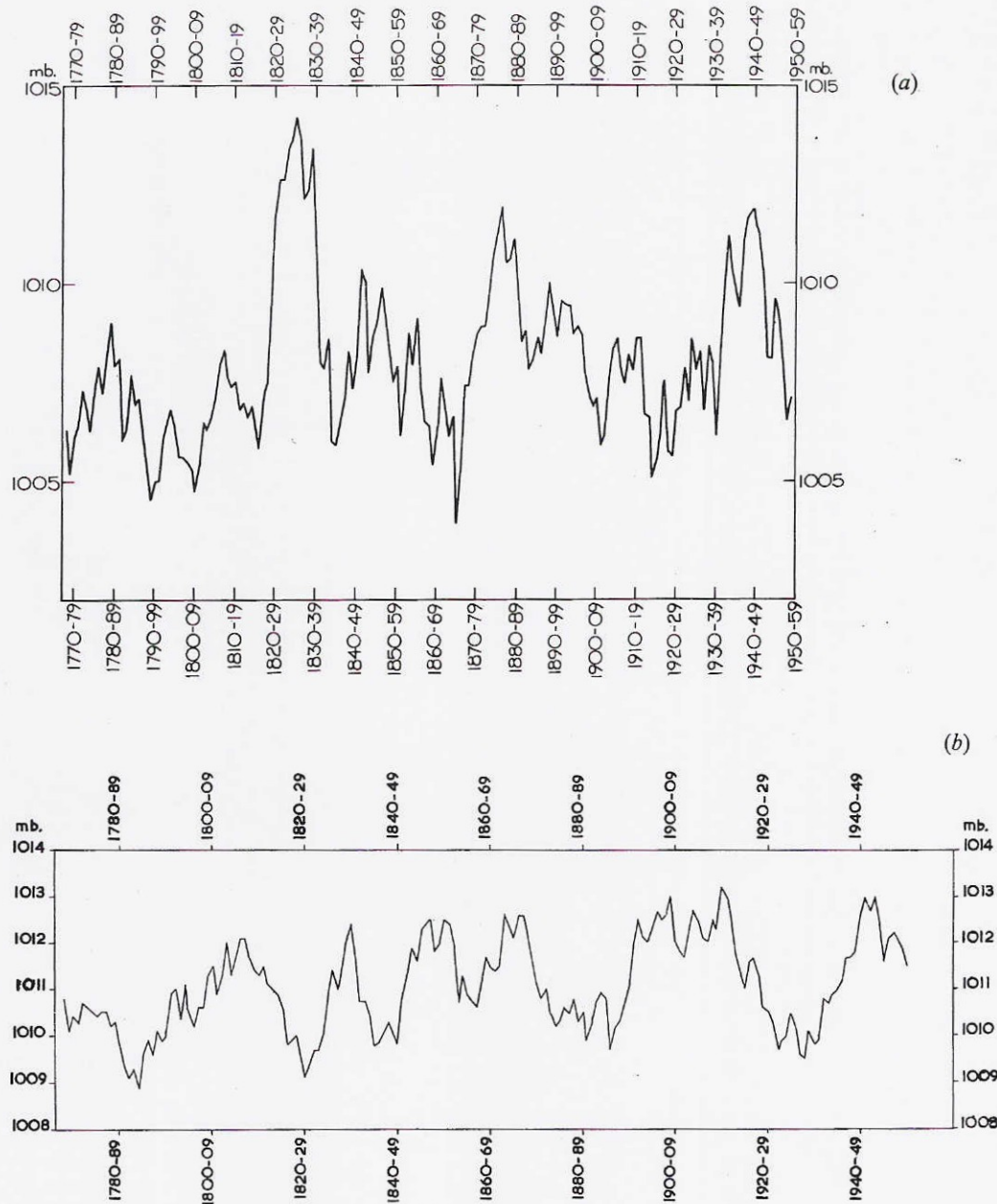
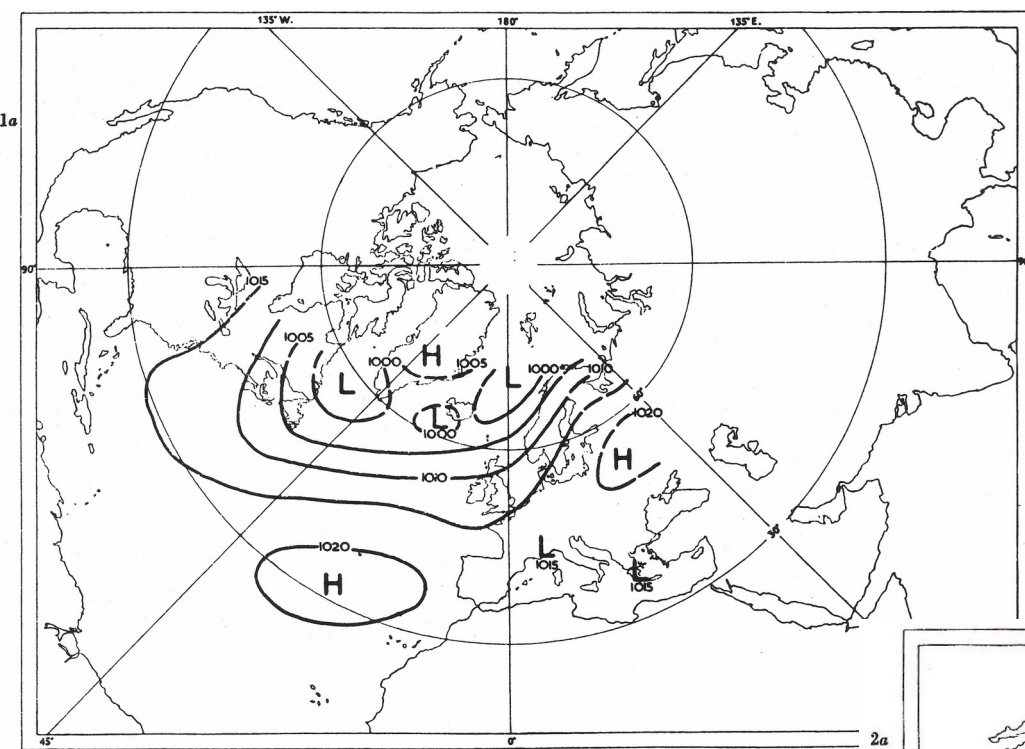


Fig. 18.14 Atmospheric pressure (mean sea level values) at Trondheim (63°N 11°E).  
Ten-year running means from 1762.  
(a) January.  
(b) July.

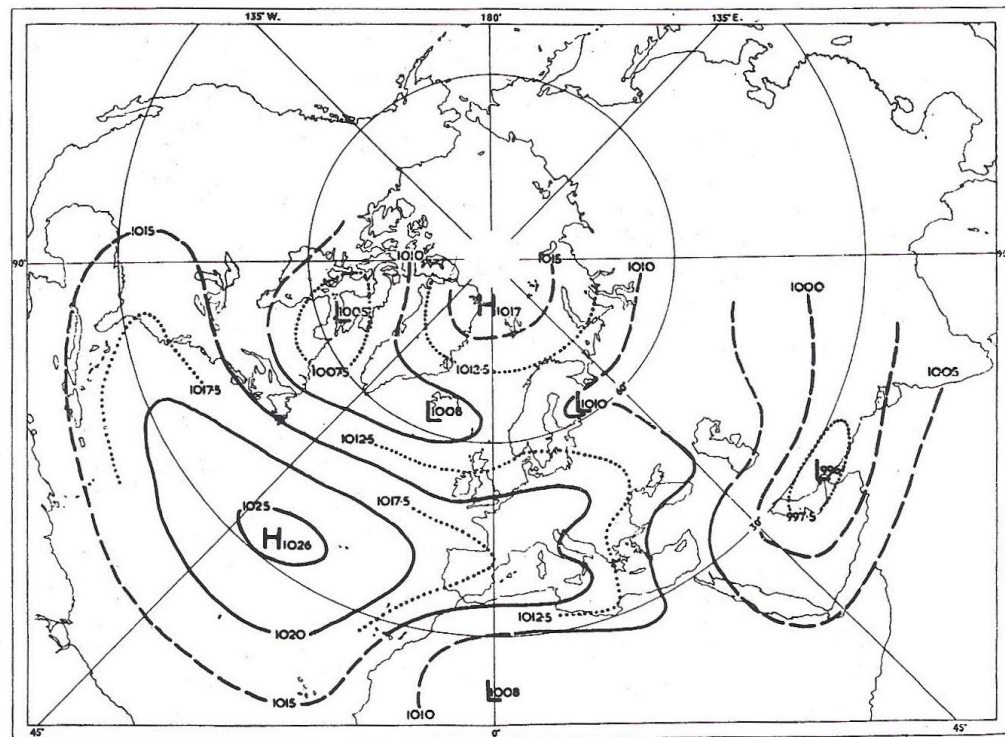
(LAMB, 1977)





Average m.s.l. pressure for January : (a) 1790-1829

(LAMB, 1968)

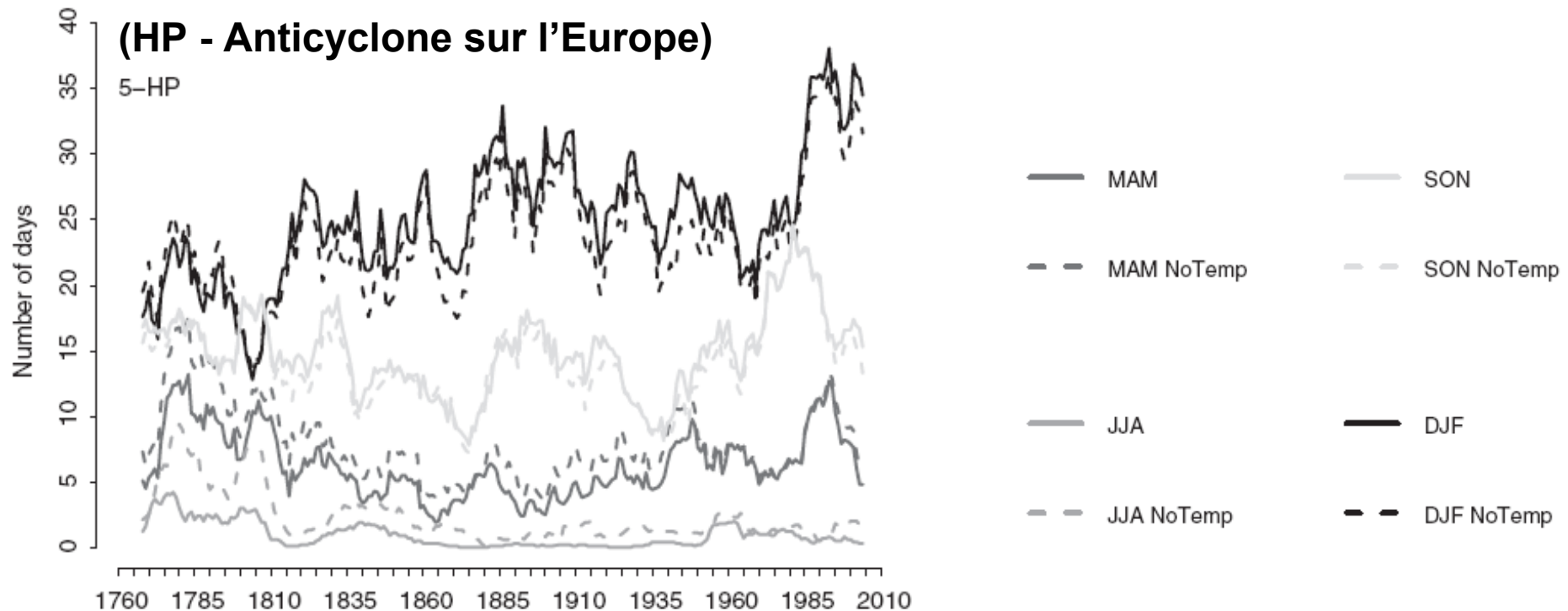


Average m.s.l. pressure for July : (a) 1790-1829

# TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE SUR L'EUROPE CENTRALE DEPUIS 1763

CAP7 classification used in this work, based on CAP9 described in Weusthoff (2011).

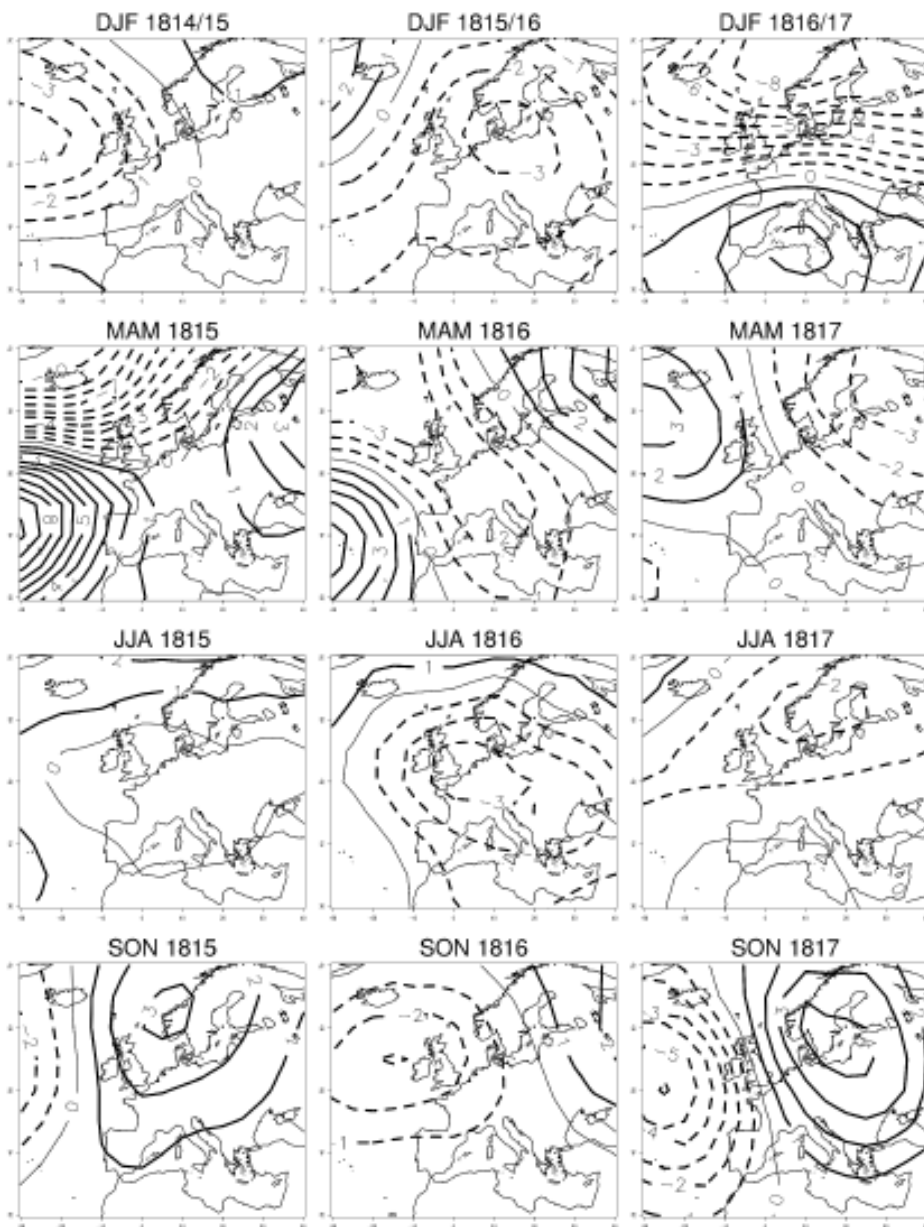
Index	Abbreviation	Full name
1	NE	Northeast, indifferent
2	WSW	West-southwest, cyclonic, flat pressure
3	W	Westerly flow over Northern Europe
4	E	East, indifferent
5	HP	High pressure over Europe
6	N	North, cyclonic
7	WC	Westerly flow over Southern Europe, cyclonic



A 10-year running mean of annual occurrence of CAP7 for each season. CAP7NoTemp is shown in dashed lines.

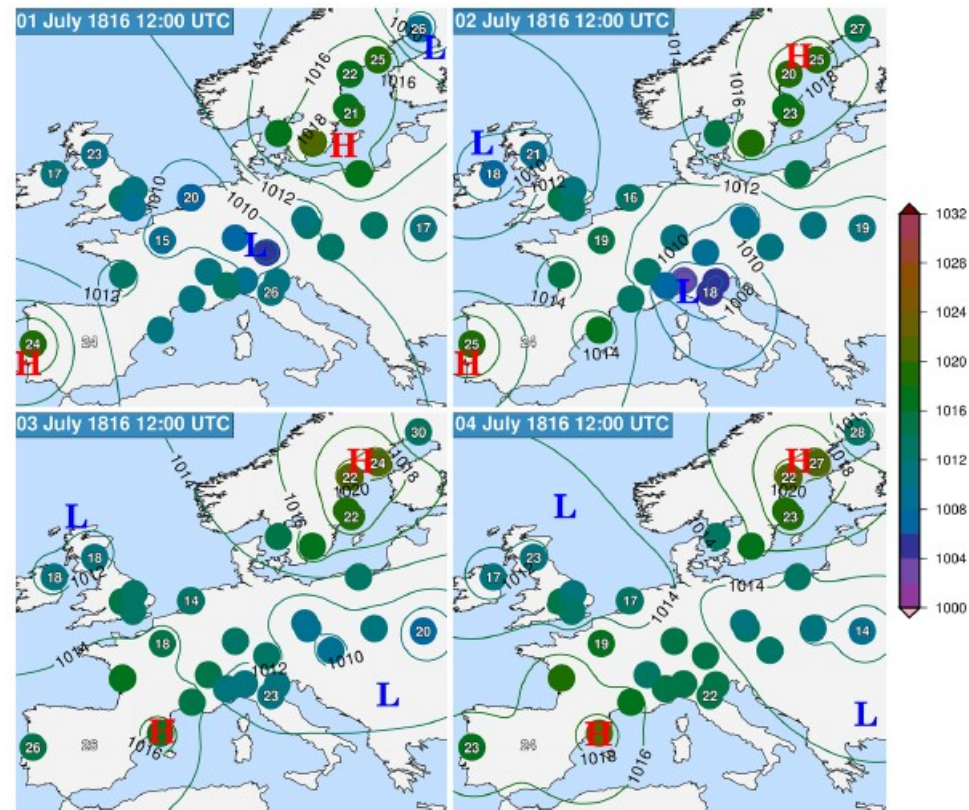
**(SCHWANDER *et al.*, 2017)**





**Figure 5.** Seasonal SLP anomalies (in hPa) in Europe for winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON) for the years 1815–1817 (reference period 1801–1830), reconstructed by Küttel et al. (2010).

## APPLICATION À « L'ANNÉE SANS ÉTÉ » (1816)



**Figure 10.** Similar to Fig. 9, but showing maps for the first four days of July 1816 at 12:00 UTC. Note that the colour scale has changed and isobars are drawn at intervals of 2 hPa.

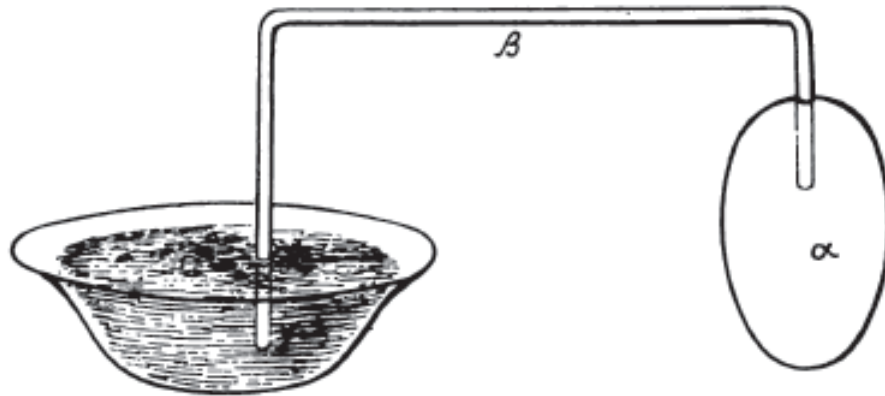
(BRUGNARA *et al.*, 2015)

# PREMIERS PAS DE LA THERMODYNAMIQUE :

## *Philon de Byzance et Héron d'Alexandrie*

**THERMOSCOPE** : met en évidence les différences de température sans les mesurer.

Vers 250 av. J.C. :  
**Philon de Byzance**



**THERMOSCOPE**  
(Philon de Byzance)

Philon de Byzance :  
*Le livre des appareils pneumatiques  
et des machines hydrauliques*

(DETTWILLER, 1982)

Vers 50 ap. J.C. : **Héron d'Alexandrie** (*Traité des gaz*), définition de l'air et du vent. Invente une machine utilisant la pression de la vapeur.

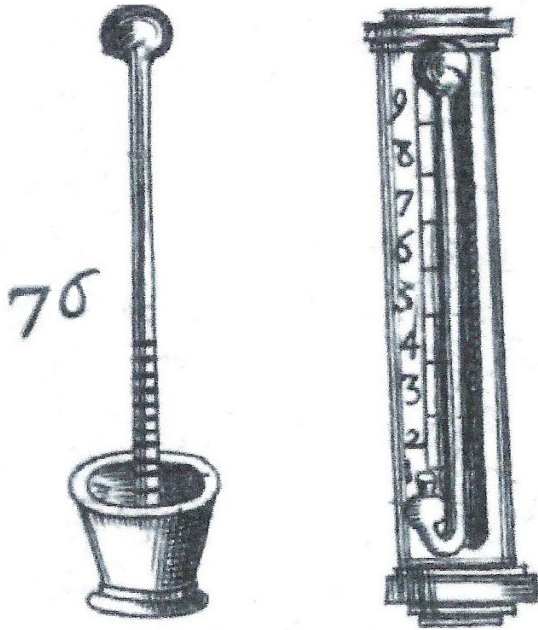


**AEOLIPILE**  
(Héron d'Alexandrie)



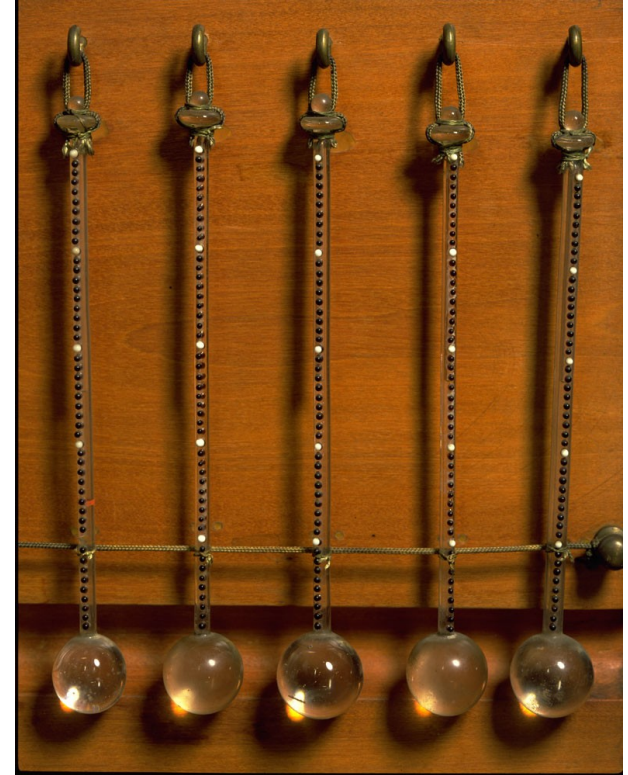
# DU THERMOSCOPE AU THERMOMÈTRE

« Thermomètre » de Jean Leurechon  
(1624)



- ➔ Thermoscope gradué,
  - min. Température de la neige
  - Max. Température flamme d'une bougie
- ➔ Tube ouvert donc soumis à la pression atmosphérique.

Thermomètres « florentins »  
(Ferdinand II de Médicis, 1654)



- ➔ Thermomètre à alcool (éthanol), échelle de température à 50 degrés.
- ➔ Tube scellé donc non soumis à la pression atmosphérique.

# PRINCIPAUX THERMOMÈTRES EN USAGE ENTRE 1650 ET 1750

Paramètres	Ferdinand II	Newton	Rømer	Fahrenheit	Réaumur	Delisle	Celsius	Christin***
Année de publication/de diffusion	1654	1700	1702	1724	1730	1738	1742	1743
Ville de l'auteur	Florence	Londres	Copenhague	La Haye	Paris	Saint-Petersbourg	Uppsala	Lyon
Fluide	alcool	huile de lin	alcool	mercure	alcool*	mercure	mercure	mercure
Point haut								
...Vaporisation de l'eau		(33)	60	(212)		0	0	100
...Plus forte chaleur d'été	40							
...Vaporisation de l'alcool					80			
...Température corporelle**	(37.5)	12		96				
Point bas								
...Fusion de l'eau (glace)	(13.5)	0	(7.5)	(32)	0	150	100	0
...Plus grand froid d'hiver	10			0				
...Mélange eau/NH <sub>4</sub> Cl			0					
Valeur de l'unité en degrés centigrades	~20/31	3	40/21	5/9	~1	2/3	1	1

Les valeurs en gras sont les points originaux de calibration des thermomètres. Les valeurs entre parenthèses sont les points de recalibration des échelles.

\*Réaumur a utilisé des mélanges éthanol/eau de différents titres pour diminuer l'évaporation de l'alcool.

\*\*Newton avait d'abord calibré son thermomètre sur sa température corporelle avant de choisir la température d'ébullition de l'eau. Fahrenheit avait choisi la température corporelle d'un cheval comme référence haute (96°). Son échelle a ensuite été recalibrée sur l'ébullition de l'eau (212°) et la fusion de la glace (32°).

\*\*\* C'est la forme moderne de l'échelle de Celsius, inversée par rapport à l'échelle d'origine.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Thermomètre>



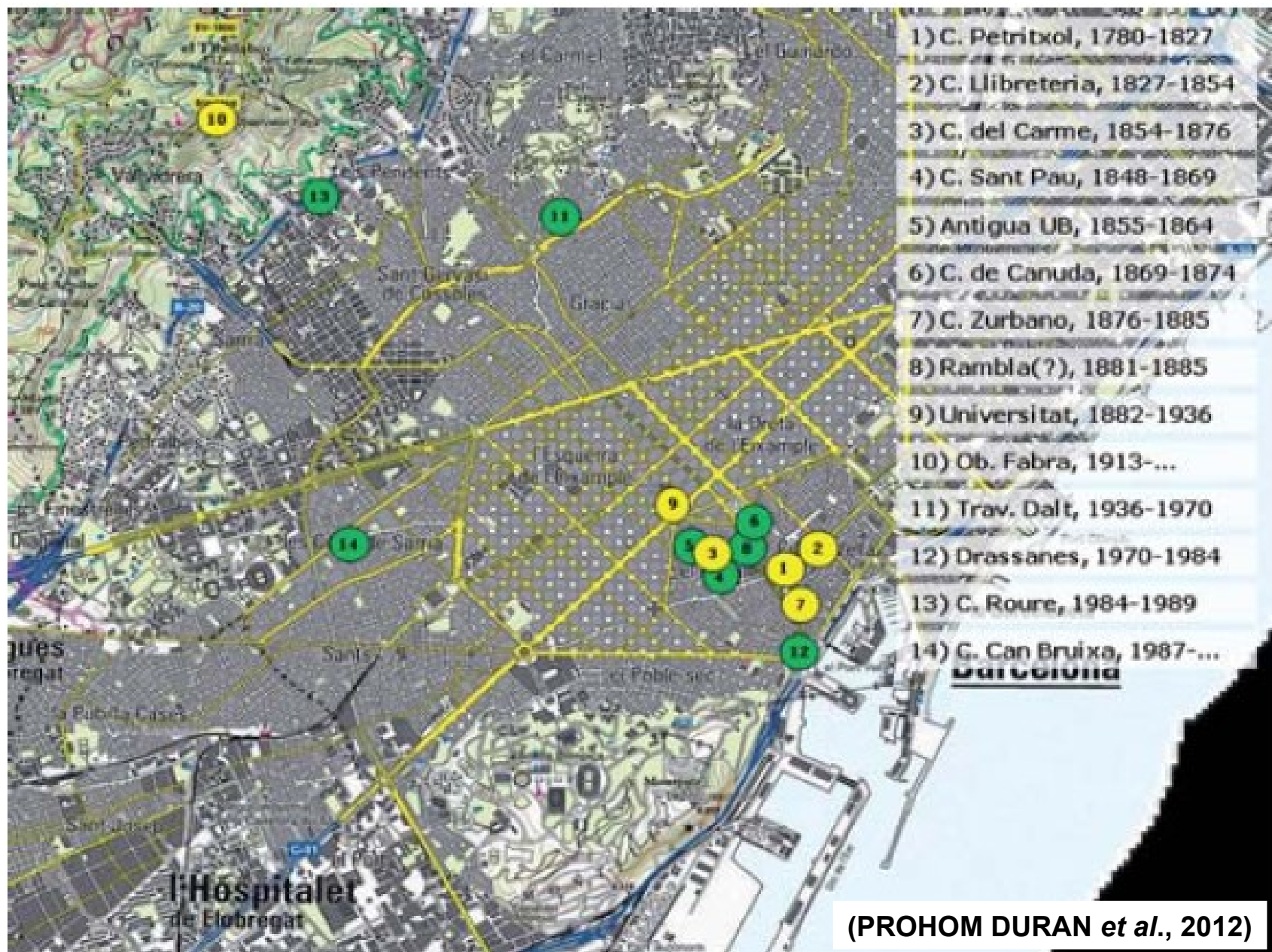


FIG. 2: Localización geográfica de los puntos de observación meteorológica (los círculos con tonalidades más claras corresponden a los puntos cuyas observaciones componen la serie definitiva de Barcelona).

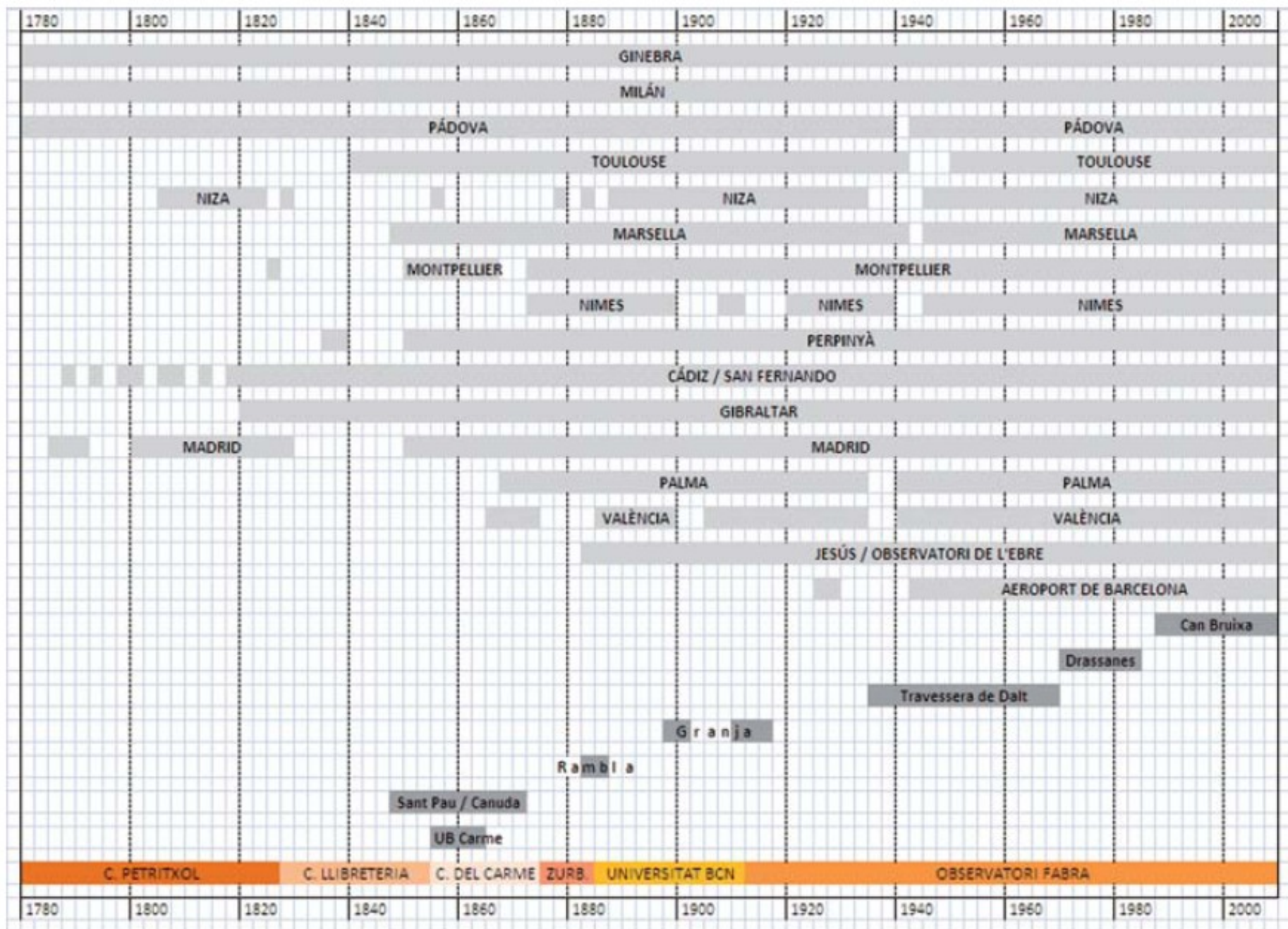


FIG. 4: Cronograma con las series de referencia seleccionadas para el análisis de homogeneidad de la serie de Barcelona. (PROHOM DURAN et al., 2012)



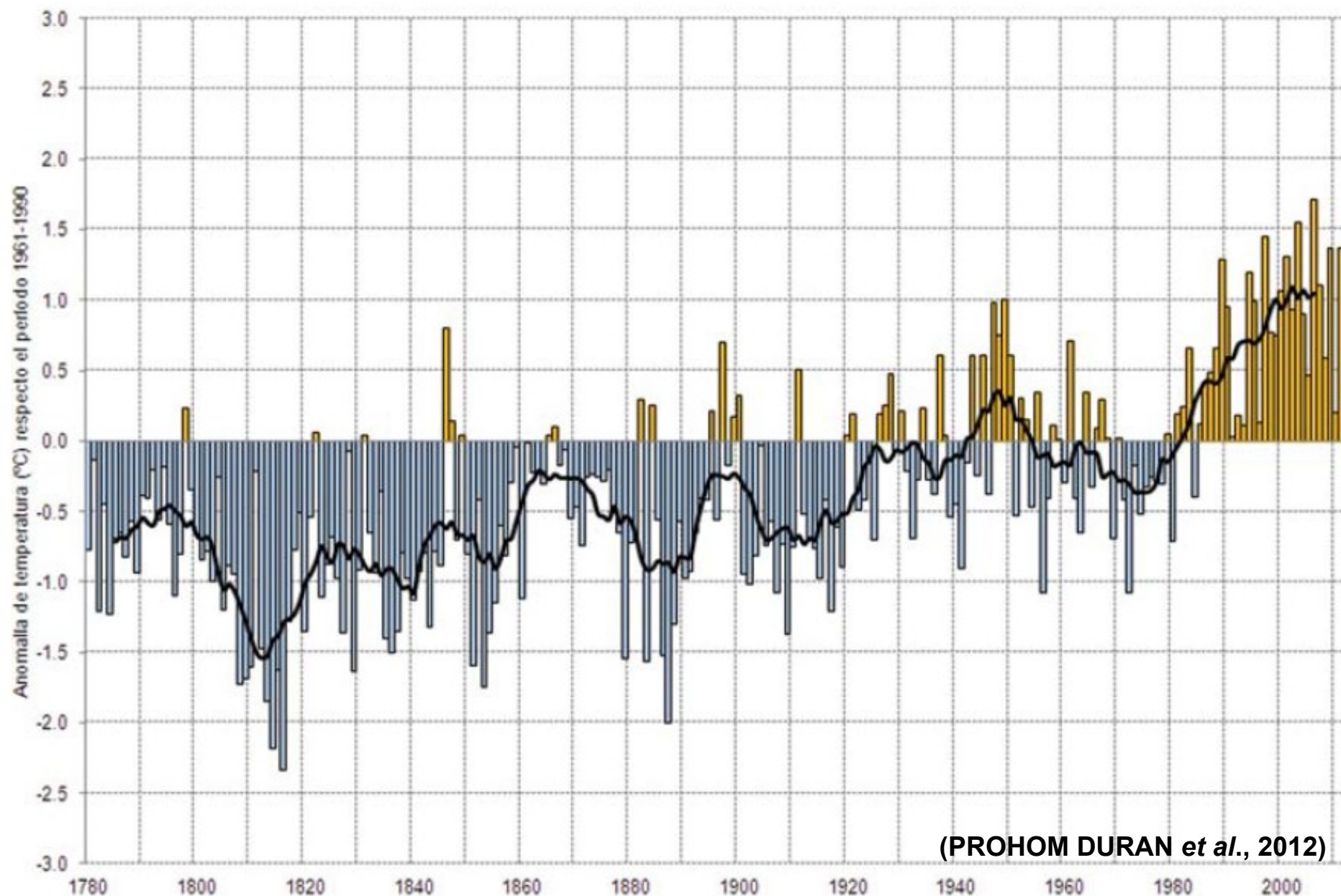


FIG. 6: Gráfico de la temperatura media anual de Barcelona (1780-2011) expresado como anomalías respecto al período de referencia 1961-1990.

*La curva negra corresponde a una media móvil de 11 años de período.*

# LE « *NILOMÈTRE* » ÉGYPTIEN

Puits creusé à proximité du Nil, qui servait dans l'antiquité à mesurer le niveau du fleuve grâce à des repères gravés sur ses parois. Ces mesures permettaient de prévoir approximativement la date du début de l'inondation annuelle (début de l'année égyptienne), ainsi que son importance. Du niveau de crue dépendait le taux des impôts. Plus la crue était bonne (ni trop forte, ni trop faible), et plus les impôts étaient élevés en prévision des bonnes récoltes qui devraient en suivre.

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Nilom%C3%A8tre>

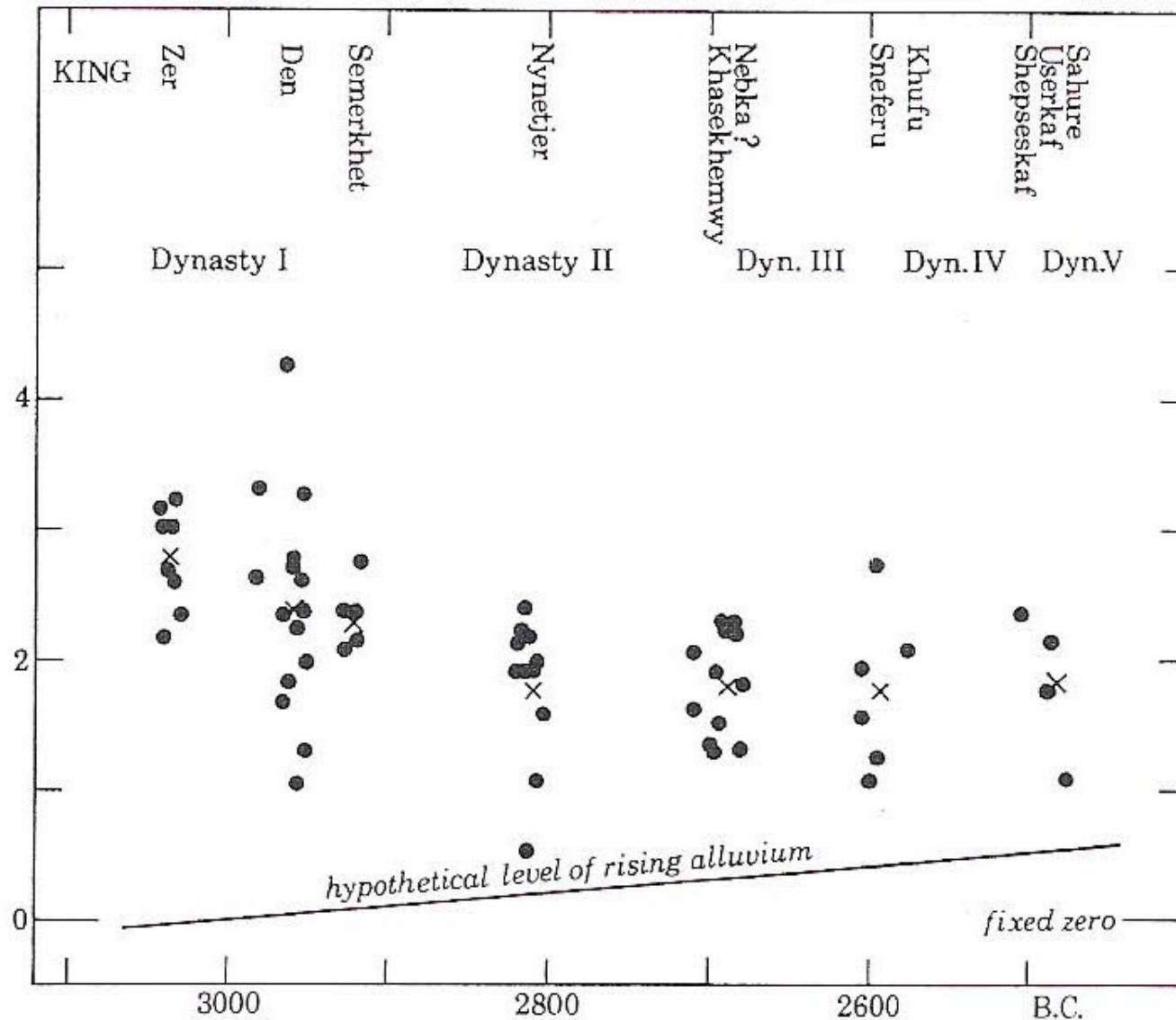


La crue annuelle du Nil a été à la base de l'agriculture égyptienne depuis au moins 5000 ans et le niveau de la crue semble avoir été mesuré et noté dans les registres pharaoniques depuis la Première dynastie vers 3100 av. J.-C. (Lamb, 1977)

*Nilomètre  
d'Éléphantine*



# Hauteur de la crue du Nil mesurée à Memphis pour quelques échantillons d'années des premières dynasties



(BELL, 1970 ; in: LAMB, 1977)

# **VARIATION SAISONNIÈRE DU NIVEAU DU NIL EN ÉGYPTÉ**

- Minimum en avril-mai ;
- montée rapide en juillet et hautes eaux jusqu'à fin août et septembre.

➔ Régime du pour l'essentiel à l'apport d'eau du NIL BLEU et ses affluents du massif Éthiopien, alimentés par les pluies tropicales d'été : environ les trois quarts des pluies annuelles tombent de juin à septembre.

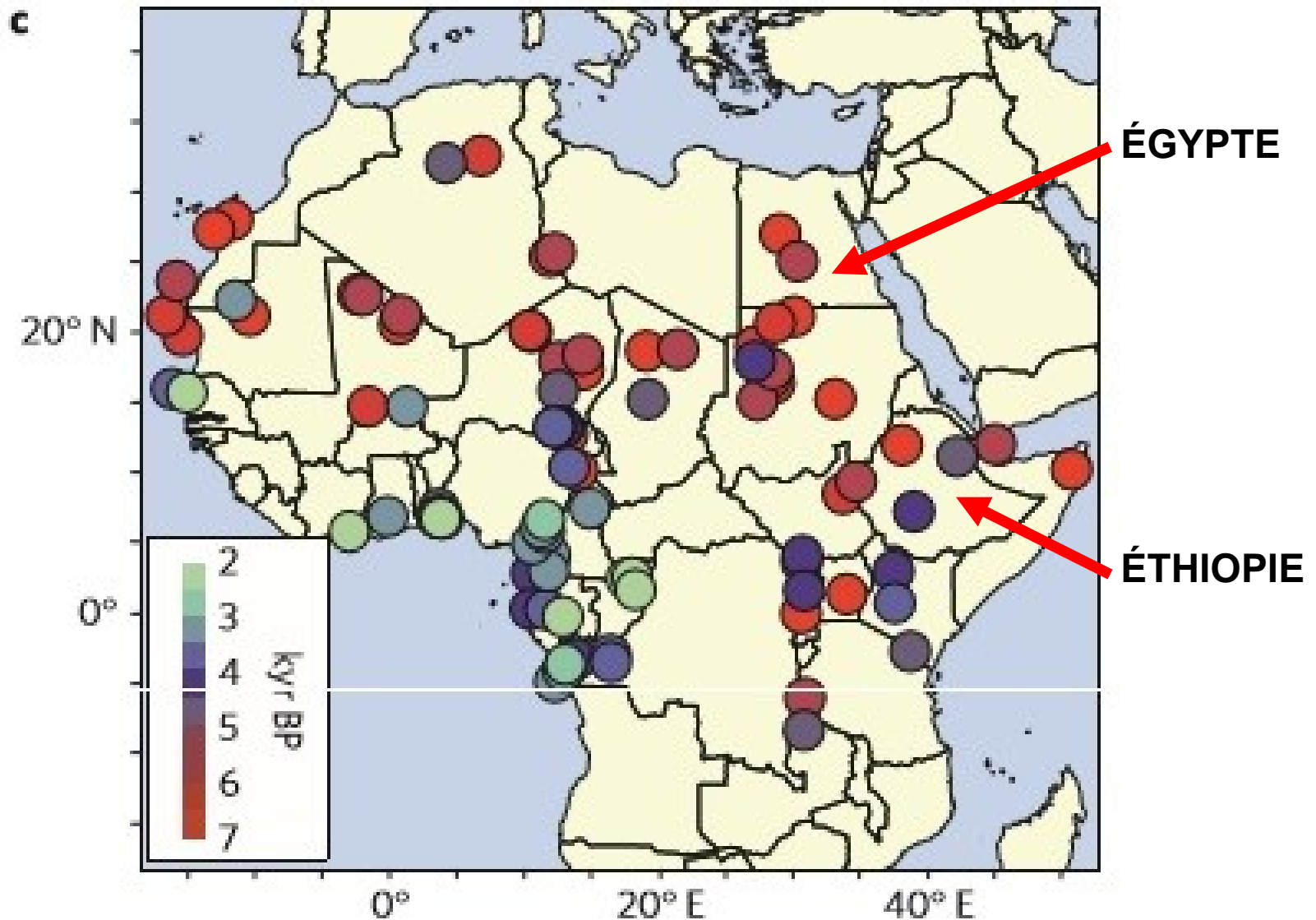
À Memphis, le niveau élevé des crues avant 3000 av. J.-C. a été attribué à des pluies de mousson d'été probablement plus abondantes qu'actuellement sur l'Éthiopie, et se produisant aussi à des latitudes plus septentrionales :

➔ donc à mettre en relation avec la fin de la phase pluviale de l'optimum holocène (Voir BELL, 1970 et 1971, in: Lamb, 1977).

*Les données des « nilomètres » égyptiens sont une source d'information exceptionnelle et très précieuse pour les paléoclimatologues tropicalistes.*



# FIN DE L'OPTIMUM CLIMATIQUE DE L'HOLOCÈNE



(Shanahan *et al.*, 2015)

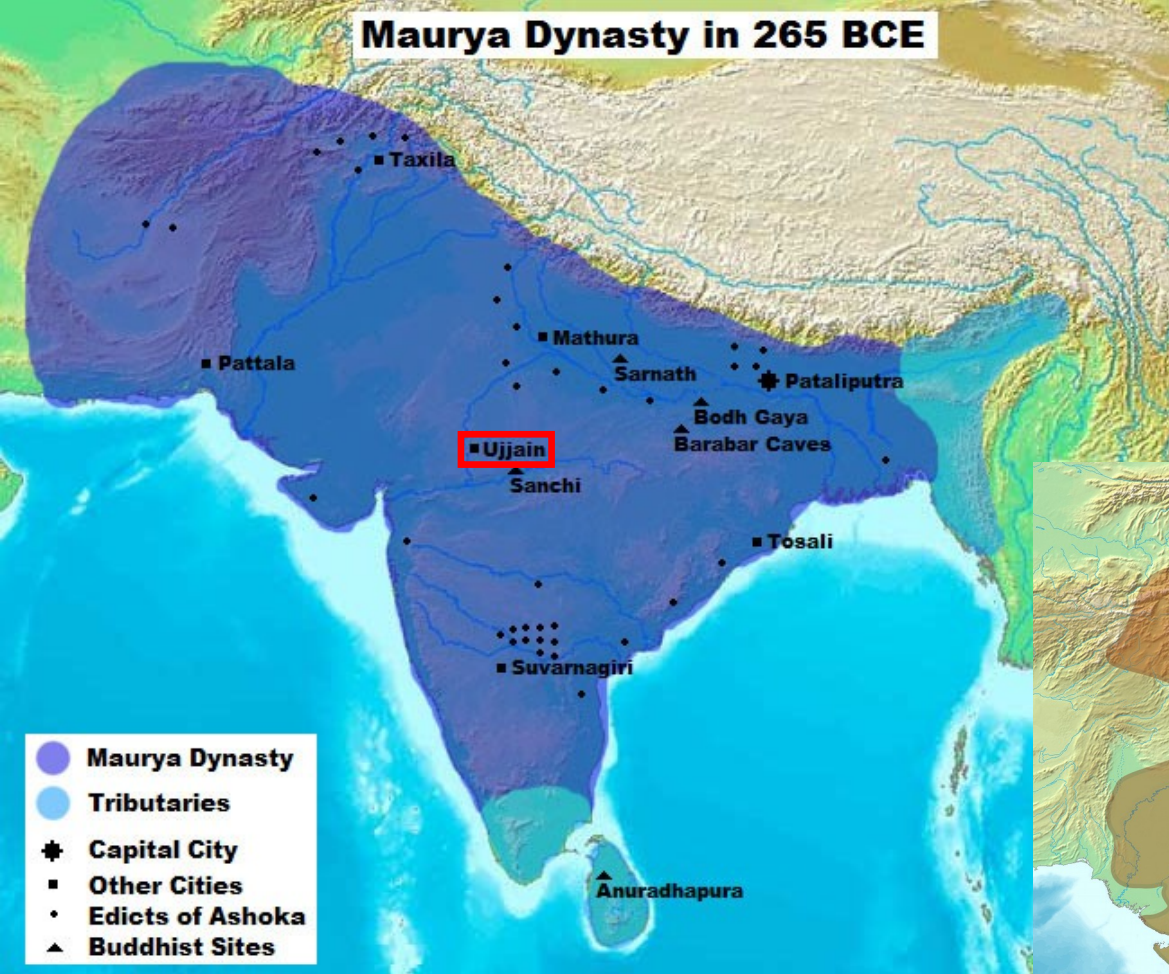
# INDE : Les premiers « pluviomètres » du monde

(DETTWILLER, 1982)

- Vers 2500-1700 av. J.C. : descriptions de la mousson dans la vallée de l'Indus (Harappa).
- V. 1000 av. J.C. : le *Rig Veda* donne des renseignements sur les conditions météorologiques du Pendjab et du nord-ouest de l'Inde.
- IV<sup>e</sup> av. J.C. : l'*Arthashastra* de **Kautilya** (premier ministre de l'empereur Chandragupta Maurya) mentionne des mesures de pluie en plusieurs sites.  
L'unité est le drona, mesure de capacité : uniformité des récepteurs, récipients gradués d'environ 45 cm de diamètre.
- VI<sup>e</sup> s. ap. J.C. : l'astronome **Varaha-Mihira** rassemble les indices observables dans le ciel pouvant servir à la prévision du temps ; dans le *Brihat Samhita* sont mentionnées des mesures de pluie.



## Maurya Dynasty in 265 BCE



## EMPIRE MAURYA (IV-II<sup>e</sup> siècles av. J.-C.)



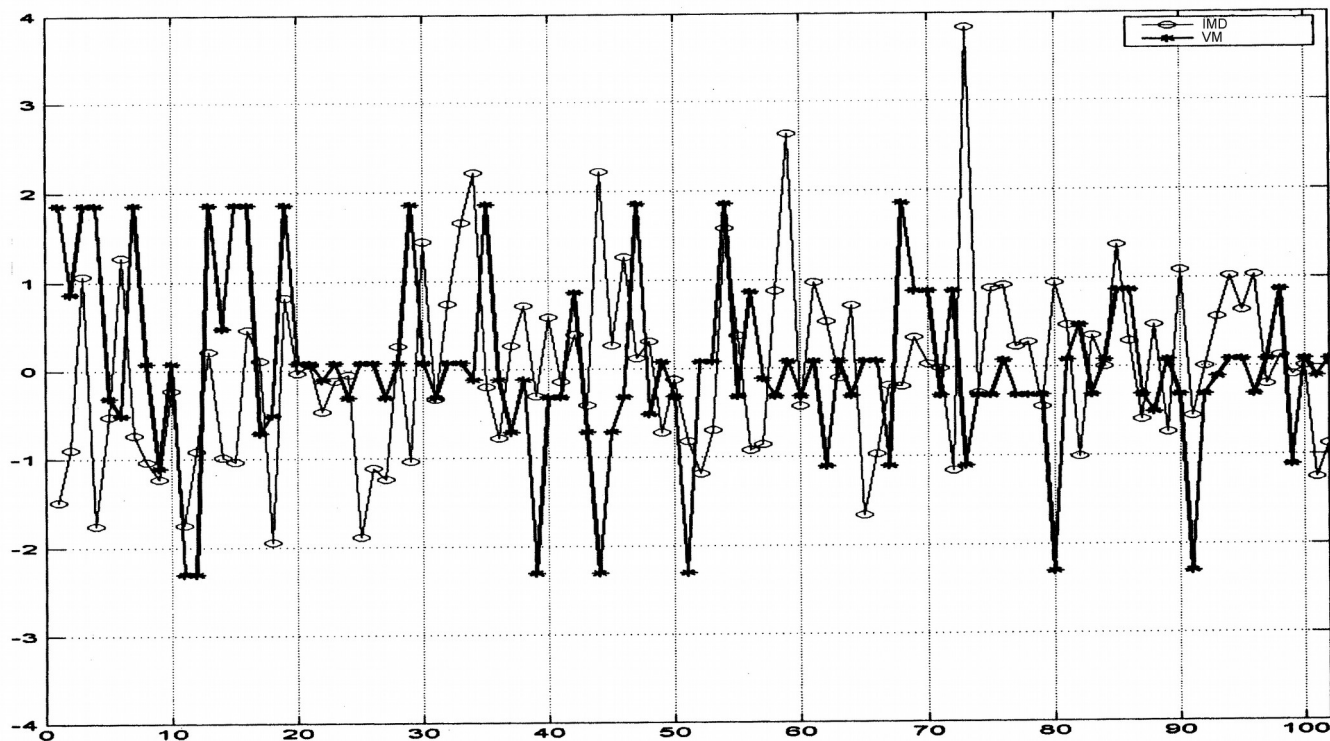
## EMPIRE GUPTA (III-VI<sup>e</sup> siècles ap. J.-C.)

# Possibilité de comparaison : données anciennes et actuelles

## Description of rainfall variability in *Brhat -samhita* of Varâha-mihira

R. N. Iyengar, 2004 : *CURRENT SCIENCE*, 87 (4), 531-533.

*Brhat -samhita* of Varâha-mihira (5–6th century AD) provides valuable information on the approach in ancient India towards monsoon rainfall, including its measurement and forecasting. In this context, we come across a description of the expected amount of total seasonal rainfall depending on the first rains under the 27 nakshatras of Indian astronomy. This provides a rough statistical picture of what might have been the rainfall and its variability in the region around Ujjain, where Varâha-mihira lived. The coefficient of variation of the model, described by him, is 37%. This value is close to the present-day climatic variability of station-level monsoon rainfall in and around Ujjain, Madhya Pradesh.



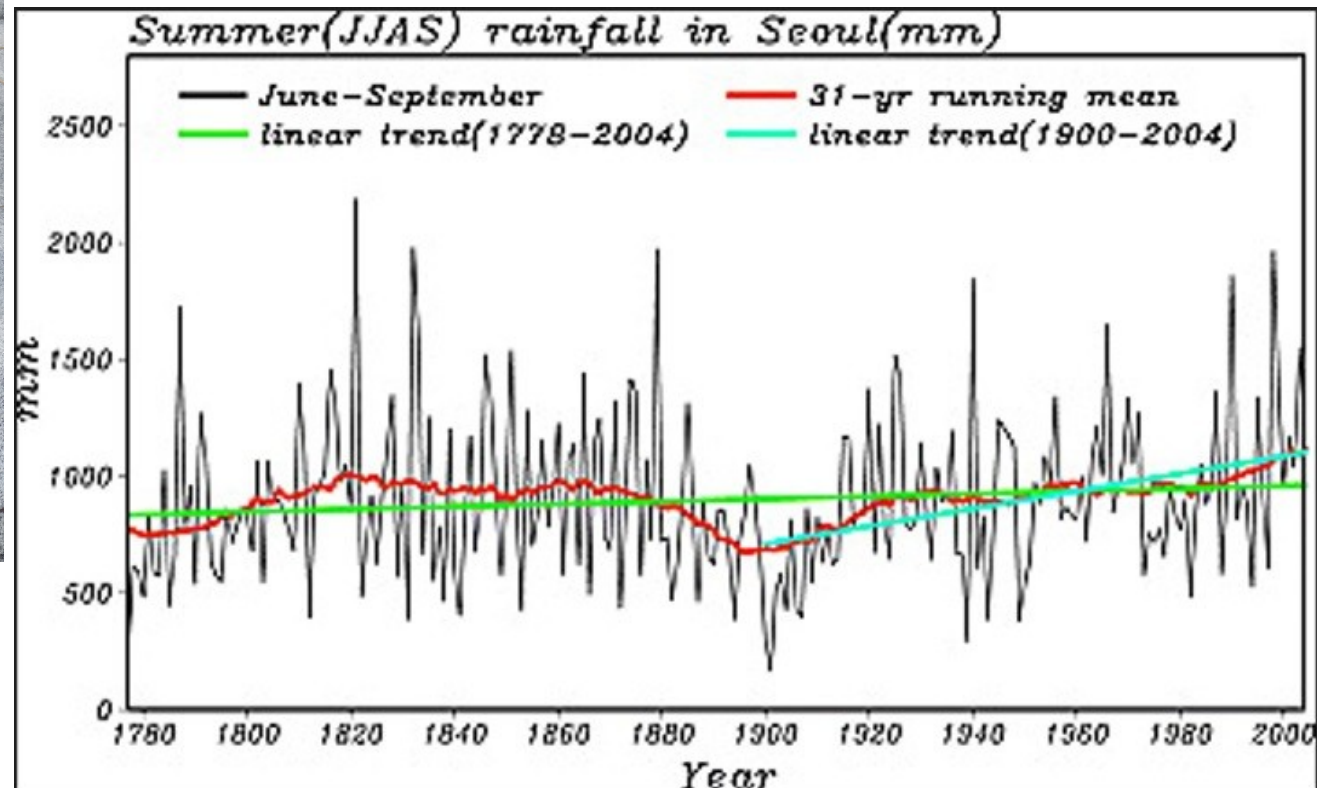
Standardized actual (IMD) and simulated (VM) rainfall time-series at Indore.



# CHUK-WOO-KEE : LE PLUVIOMÈTRE CORÉEN



- Conçu en 1441 / 1442 sous le règne du roi Sejong.
- Système standardisé de mesure de la pluie.
- Un exemplaire installé dans chaque province.



(WANG et al., 2006)



Photo 1 : *Pluviomètre à lecture directe* © Météo-France



Photo 2 : *pluviomètre enregistreur de type Précis Mécanique* © Météo-France

# RÉSEAUX MÉTÉOROLOGIQUES INTERNATIONAUX

- ***Accademia del Cimento / Société Météorologique de Florence*** (**1657-1667**) : stations météorologiques à Florence, Pise, Vallombrosa, Curtigliano, Bologne, Parme, Milan, Innsbruck, Osnabrück, Paris et Varsovie.

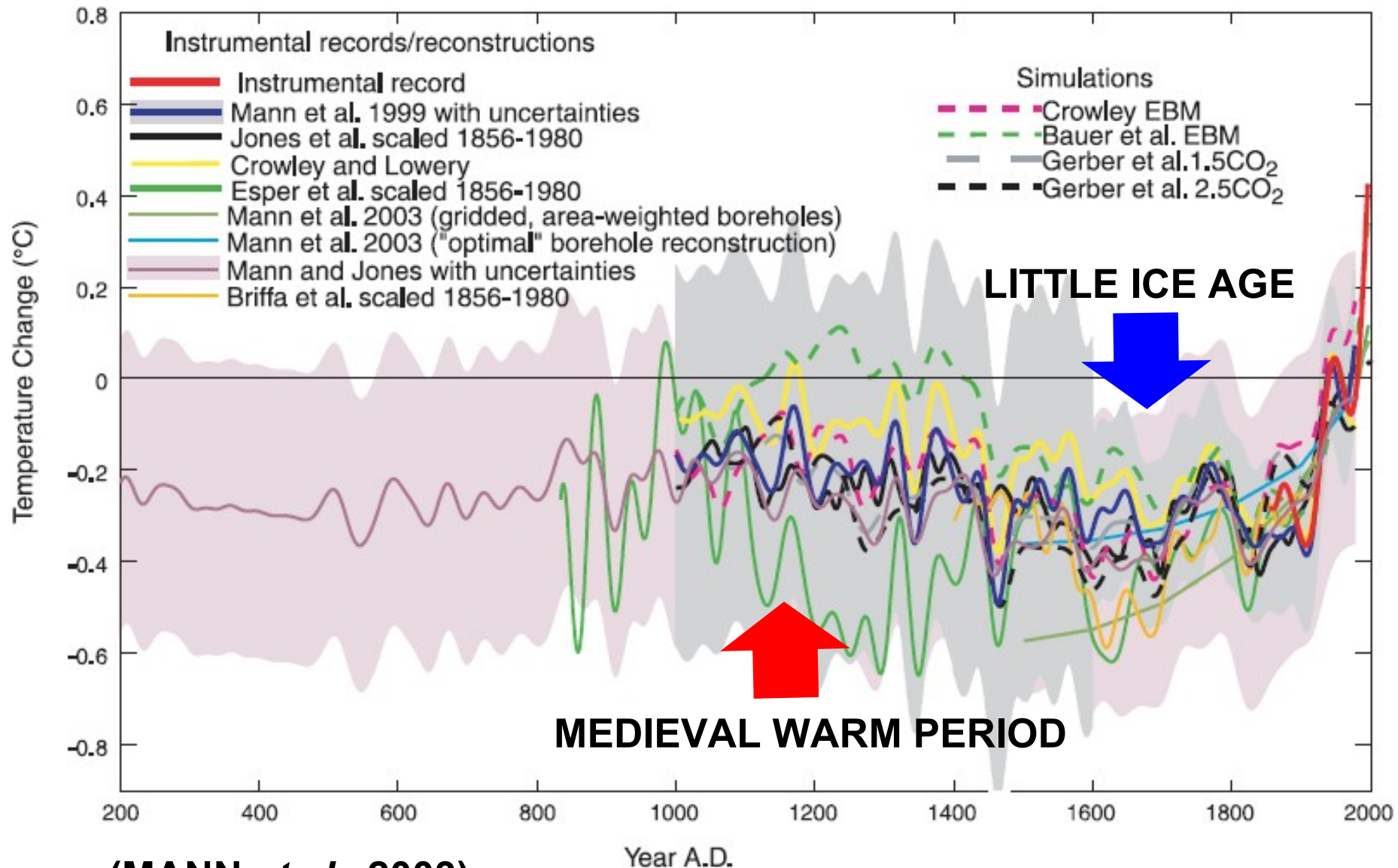
- ➔ Série de température à Paris depuis **1658** (Rousseau, 2012).

- ***Société Météorologique Palatine*** (Mannheim, **1781-1792**) : 37 stations météorologiques, de la côte atlantique nord-américaine (USA) à l'Oural.

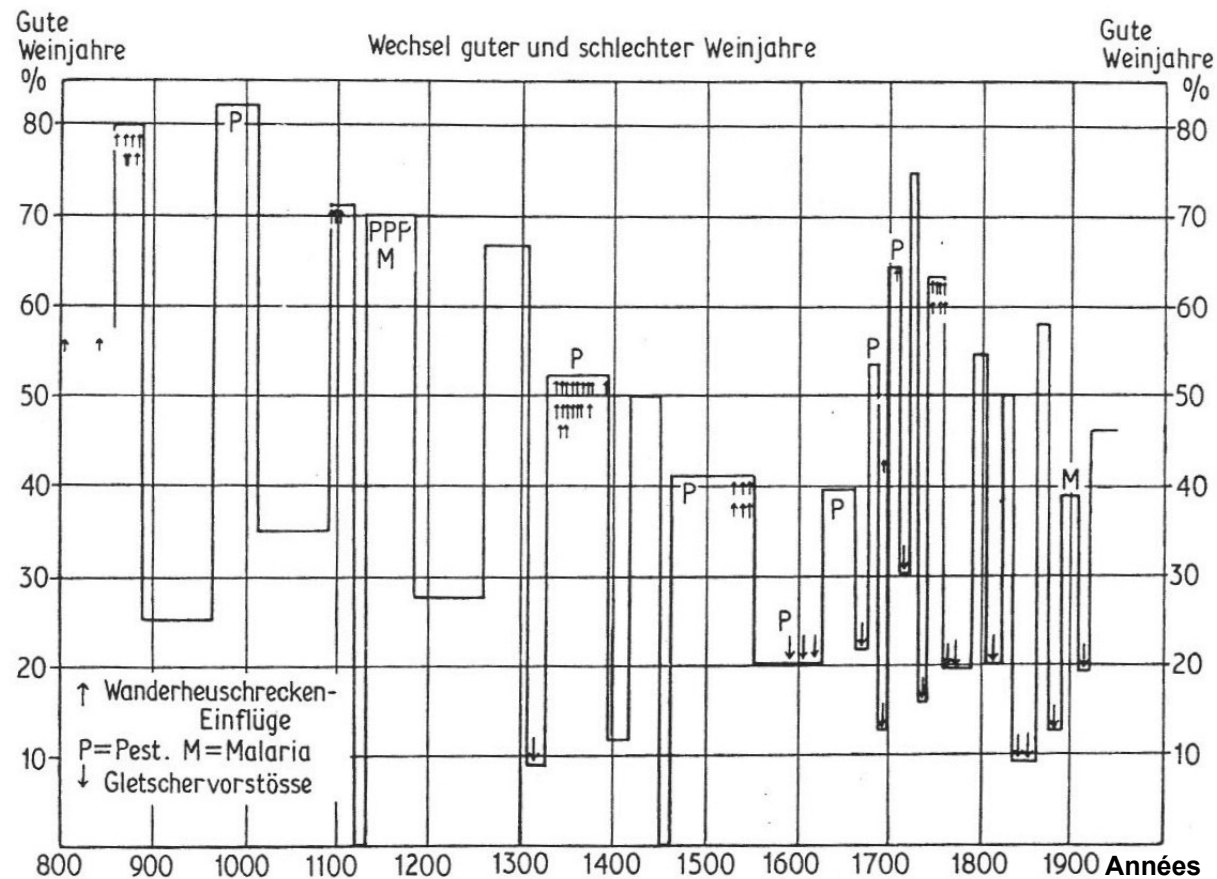
- ***Organisation Météorologique Internationale / OMI*** (Vienne, **1873**),  
➔ ***Organisation Météorologique Mondiale / OMM*** (Genève, **1950**).

Eos, Vol. 84, No. 27, 8 July 2003

# Temperature reconstructions: Northern Hemisphere







**Fig. 13.71** Graph given by MÜLLER (1953) to represent the percentage of wine harvests in Baden (southwest Germany) classified as good in different epochs over the last twelve centuries.

Superposed symbols indicate

↑ Locusts reported

↓ Glacier advances

P Plague

M Malaria

(Reproduced by kind permission.)

**(Lamb, 1977)**



**Corals**



**Ice cores**



**Speleothems**

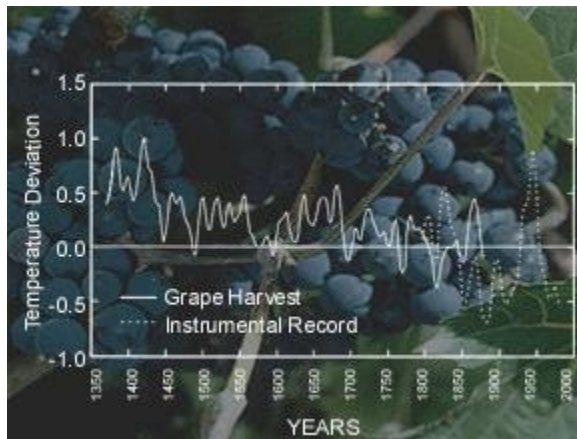


**Fossil pollen grains**

**PROXY  
DATA**



**Ocean & lake  
sediments**



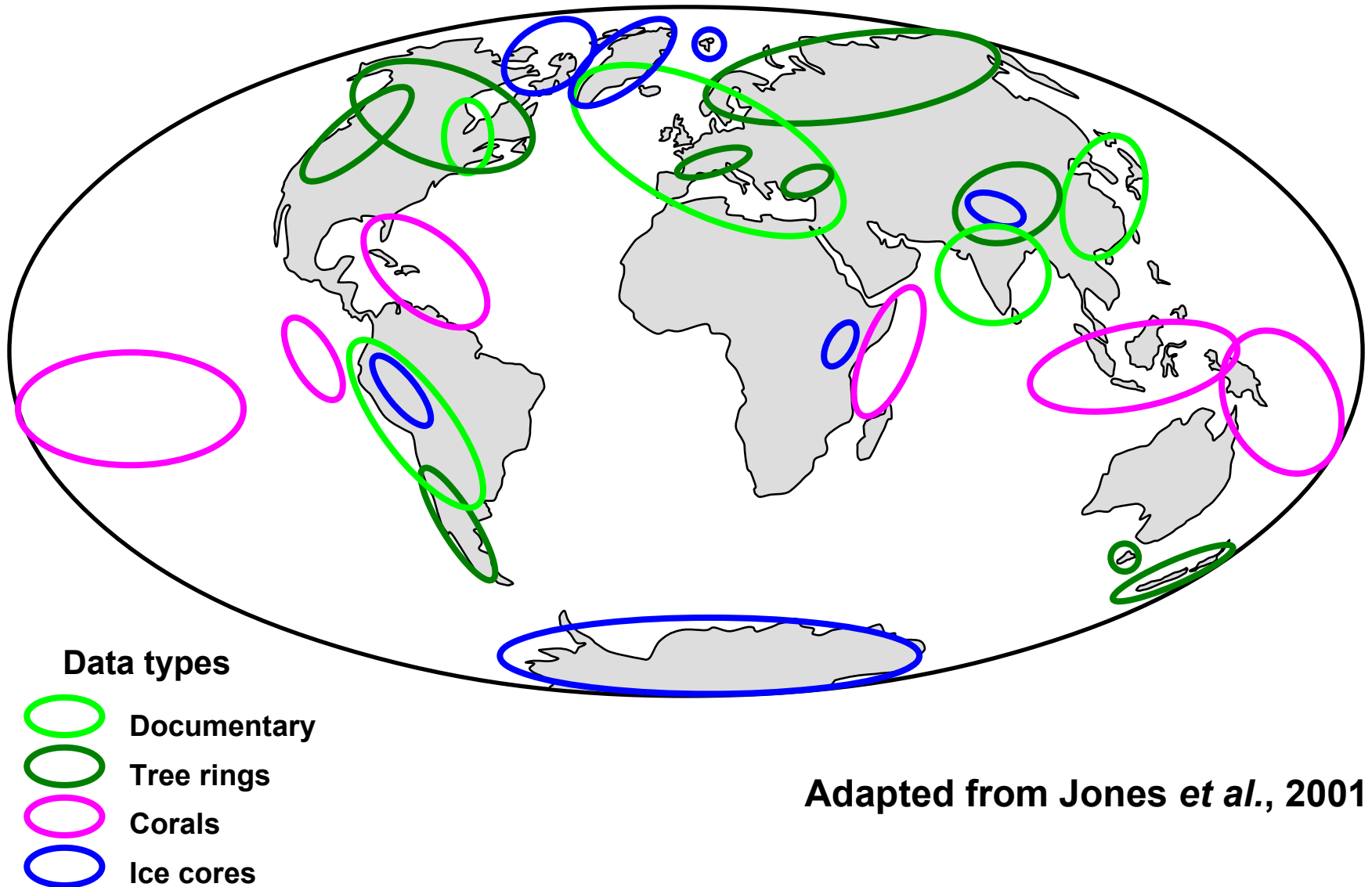
**Historical documents**



**Tree rings**

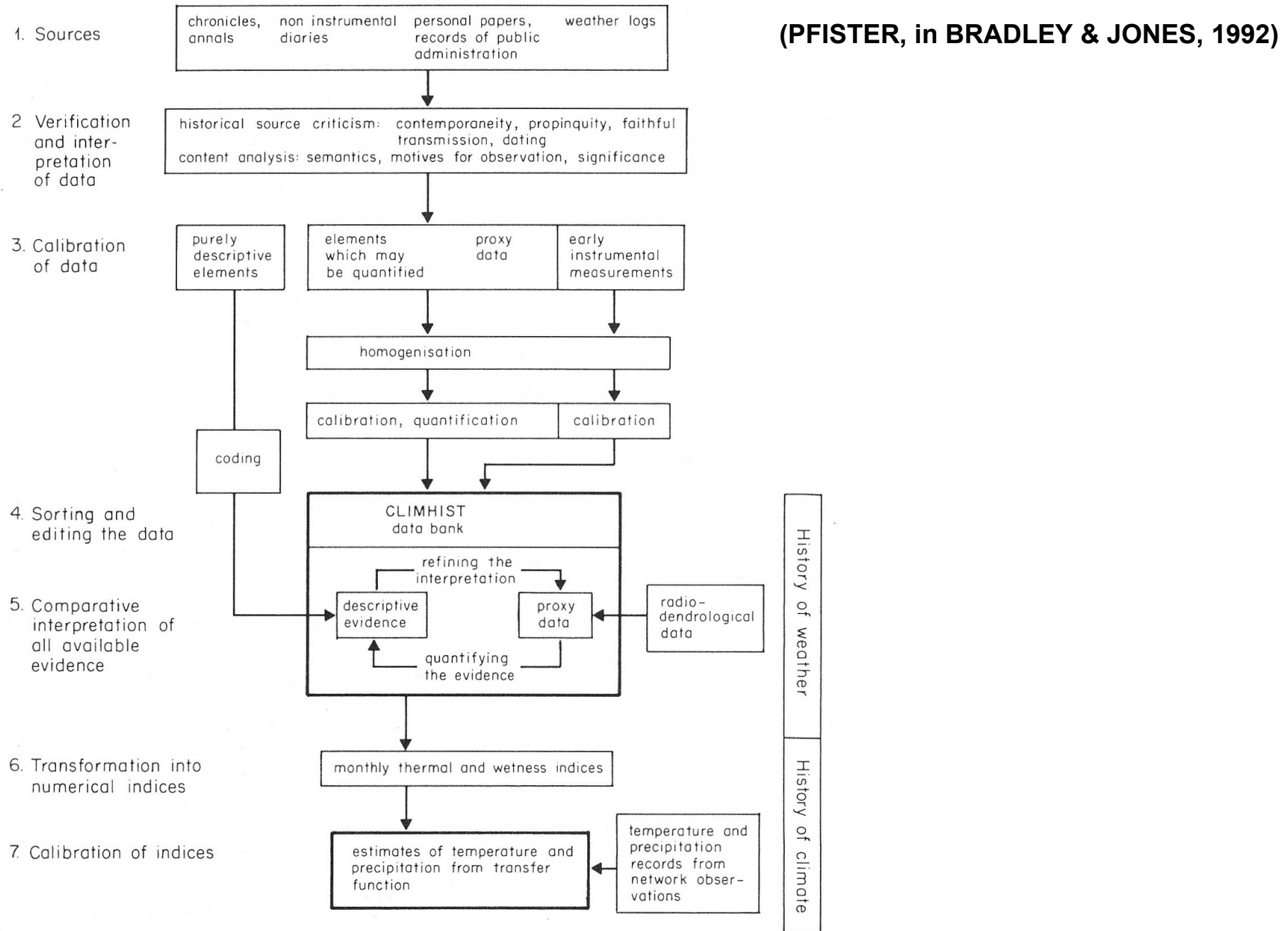
<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleo.html>

# Schematic map indicating the principal regions from which proxy data are extracted





# Quantification de sources documentaires en climatologie historique



# DONNÉES INSTRUMENTALES (direct) + PROXY (indirect)

ORIGIN INFORMATION	NATURAL		MAN - MADE		
<u>Direct</u> : weather patterns and meteorological parameters			Documentary Sources	<u>Descriptive Reports</u>  - extreme events - rough sequence of weather situations - daily weather	<u>Instrumental Observations</u>  - barometric pressure - temperature - precipitation - water - gauge
<u>Indirect</u> (proxy data): phenomena governed or affected through meteorological parameters	<u>Geophysical</u>  - isotopes - sediments - moraines etc	<u>Biological</u>  - marine plankton - pollen - tree rings etc		<u>Geophysical / para - meteorological</u>  - water levels - snow falls - duration of snowcover - freezing - over of water bodies	<u>Biological</u>  - time of blossoming and ripening of plants - yield and sugar content of vine - time of grain harvest and vintage
			Material Sources	paintings, prints and photographs; maps and charts buildings, settlements, roads, waterways abandoned farms and fields archeological remains	

**Figure 6.1** A survey of evidence for reconstructing past weather and climate.

(PFISTER, in BRADLEY & JONES, 1992)

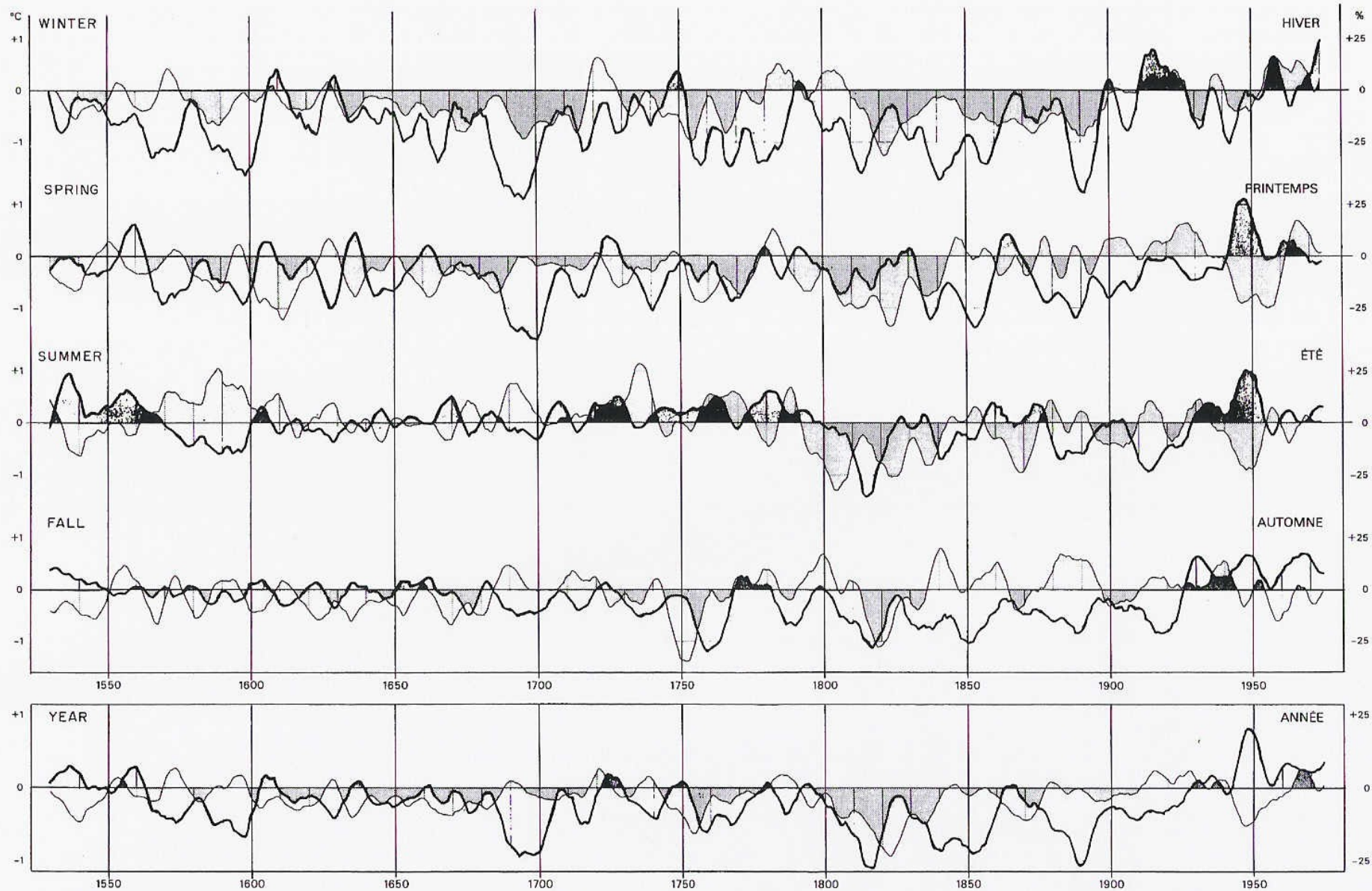
**Table 6.1** Survey of indicators used for the determination of the thermal charater of individual months.

Month	Cold	Warm
Dec., Jan.	Uninterrupted snow cover freezing of lakes	Scarcity of snow cover signs of vegetation
March	Long snow cover, high snow frequency	Sweet cherry first flower ( $\pm 1.3^\circ$ )
April	Snow cover and snow frequency, beech tree leaf emergence, sweet	beech tree leaf emergence (tithe auction date)
May		Tithe auction dates ( $\pm 0.6^\circ$ ) Vine first flower ( $\pm 1.2^\circ$ ) Barley harvest beginning
June		Tithe auction dates ( $\pm 0.6^\circ$ ) Vine full flower ( $\pm 1.2^\circ$ ) Vine last flower Coloration of first grapes
July		Vine yields ( $\pm 0.6^\circ$ ) Coloration/maturity of first grapes
April-July		Wine harvest dates ( $\pm 0.6^\circ$ )
August		Wine yields ( $\pm 0.6^\circ$ ) Tree ring density ( $\pm 0.8^\circ$ )
September		Vine quality Tree-ring density ( $\pm 0.8^\circ$ )
October	Snow cover, snow frequency	Reappearance of spring vegetation (cherry flowering etc.)
November	Long snow cover, high snow frequency freezing of lakes	No snowfall, cattle in pastures

The figures give the standard error of estimate in  $^\circ\text{C}$ .

**(PFISTER, in BRADLEY & JONES, 1992)**





**Figure 6.4** Temperature and precipitation estimates for Switzerland (11 year moving averages) expressed as departures from the mean for 1901-60.

# CHINE :

## LES PLUS ANCIENS RELEVÉS MÉTÉOROLOGIQUES DU MONDE

### *Dynastie Shang*

- Vers 1300 av. J.C. : **os divinatoires gravés** avec relevés d'observations météorologiques : neige, verglas, pluie et vent (avec direction d'où venaient pluie et vent).

### *Dynastie Zhou*

- Des fonctionnaires impériaux observent les nuages et le vent pour en tirer des présages sur le temps.
- Description du climat dans l'*Ode de Pin* (début de la période).
- 654 av. J.C. : le *Tso Chuan* mentionne des événements atmosphériques et la forme des nuages.

(ARAKAWA, 1969 ; DETTWILLER, 1982 ; DOMRÖS & GONGBING, 1988)

# **PHÉNOLOGIE**

## **et reconstructions paléoclimatiques**

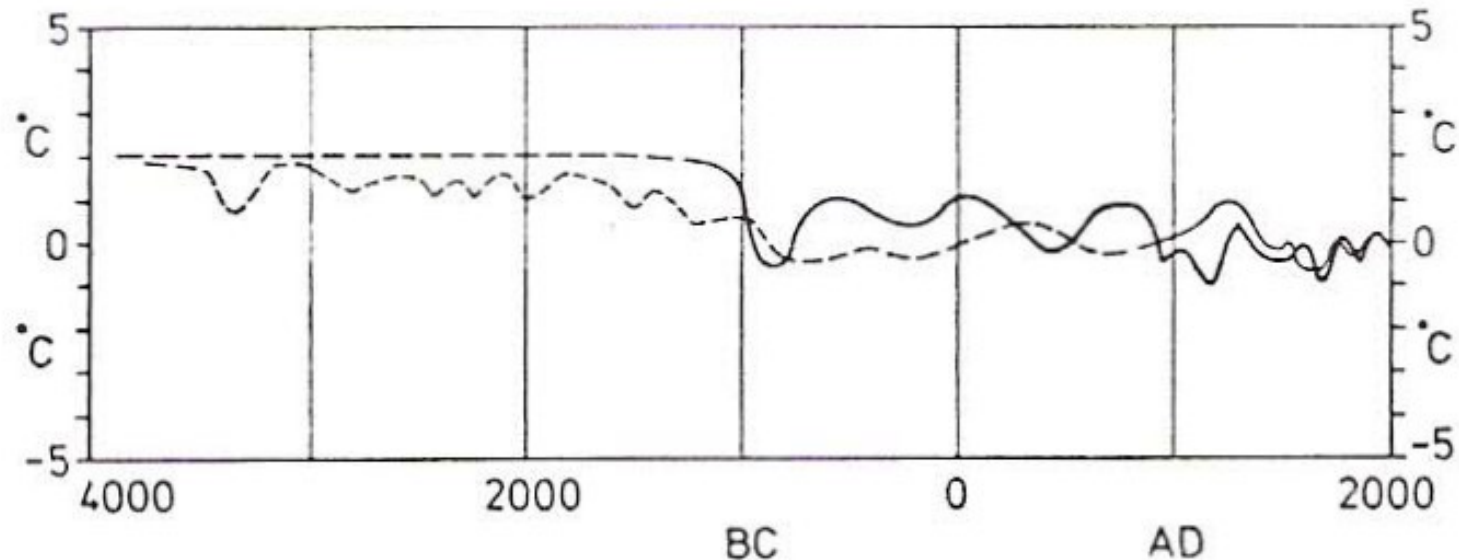
**En Chine, des observations phénologiques sont attestées dès le 11<sup>e</sup> s. av. J.C. Sur cette époque, le plus ancien calendrier phénologique le *Xia Xiao Zheng*, contient des informations sur des événements phénologiques, météorologiques, astronomiques et les activités agricoles dans la région située entre la rivière Huai et le Fleuve Jaune.**

**En 1931, Kezhen ZHOU a rassemblé toutes les informations phénologiques connues en Chine depuis 3000 ans. En les comparant à d'autres données (instrumentales et proxy), il a pu reconstituer des séries de température depuis 5000 ans, et en mettre en évidence les fluctuations.**

**Schwartz, M.D. (2003). *Phenology: An integrative environmental Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 564 p.**



# Le *Petit Âge Glaciaire* antique en CHINE et en ANGLETERRE

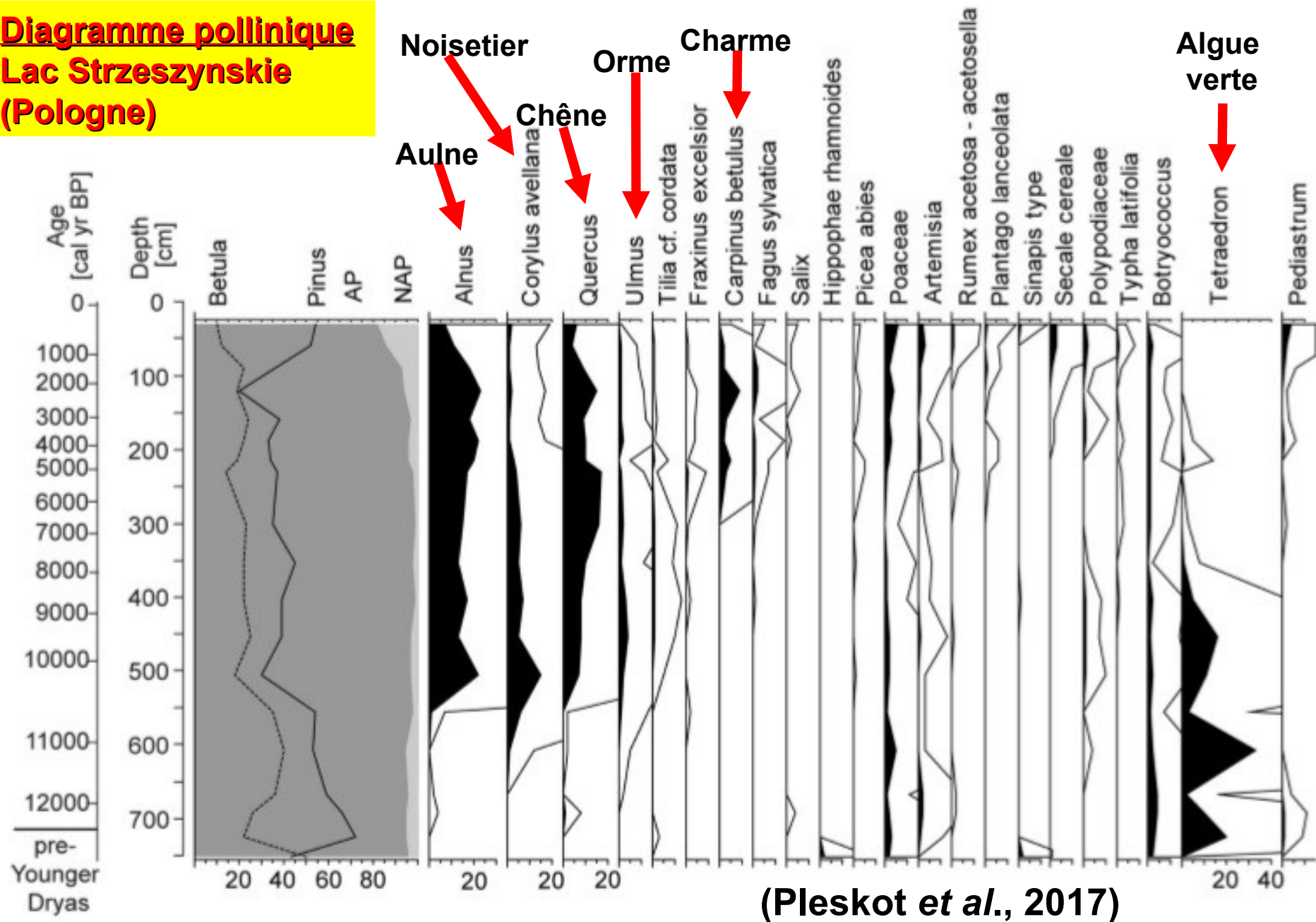


*Fig. 16.23* The course of prevailing temperatures in China (bold line) and western Europe (thin line) over the last 5000 years.

*(Chinese data from CHU KO-CHEN (1973). Temperatures in central England from a curve by G. MANLEY.)*

**(Lamb, 1982)**

# Diagramme pollinique Lac Strzeszynskie (Pologne)



**Fig. 5** Pollen percentage diagram. The outline curves represent a 10× exaggeration. AP arboreal pollen, NAP non-arboreal pollen

# HOLOCENE

Weichsel / Würm

Pleniglacial

Late Glacial

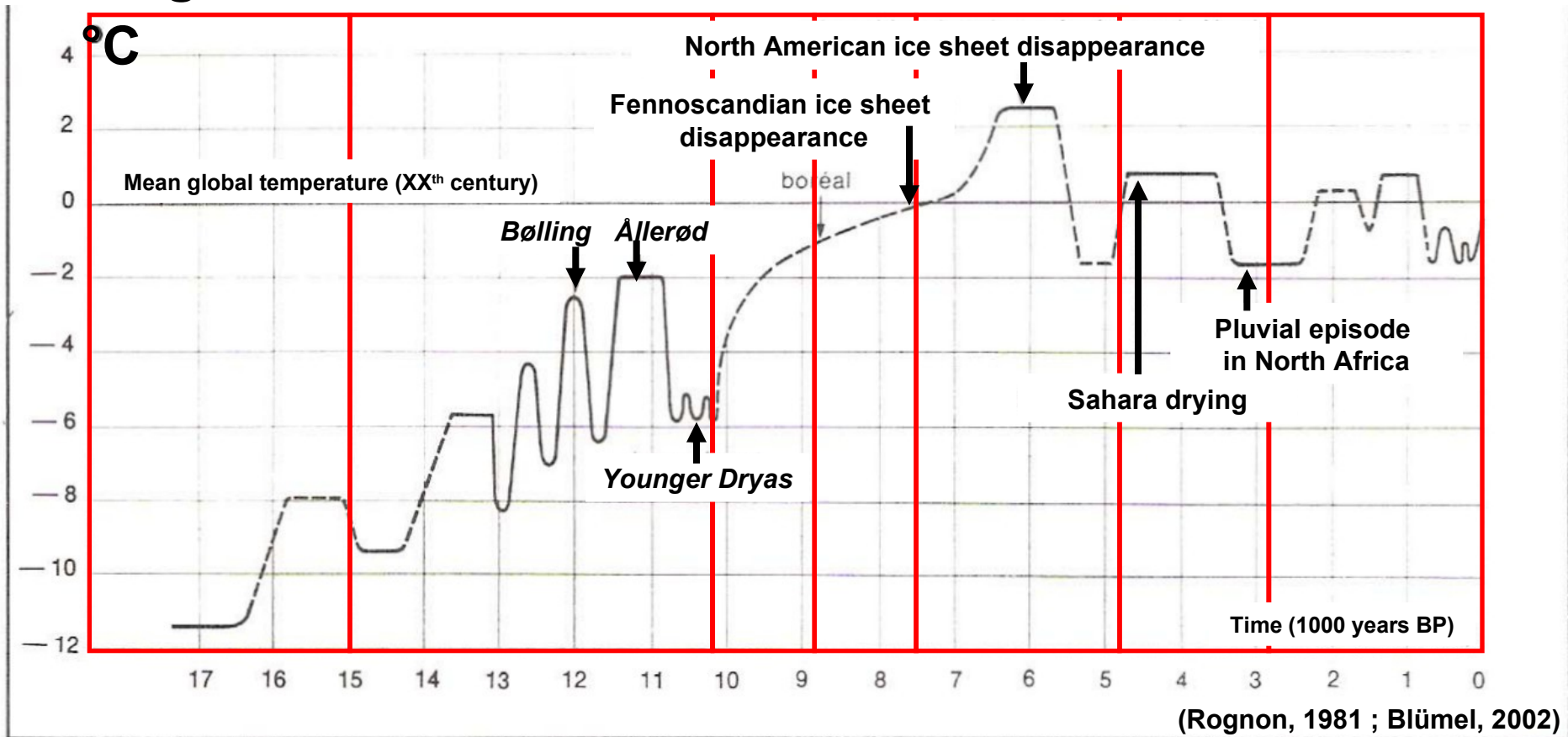
Pre-

Boreal Boreal

Atlantic

Subboreal

Subatlantic



This scheme was defined for Northern Europe (palynology),  
but the climate changes occurred more widely.



# HOLOCENE

Weichsel / Würm

Pleniglacial

Late Glacial

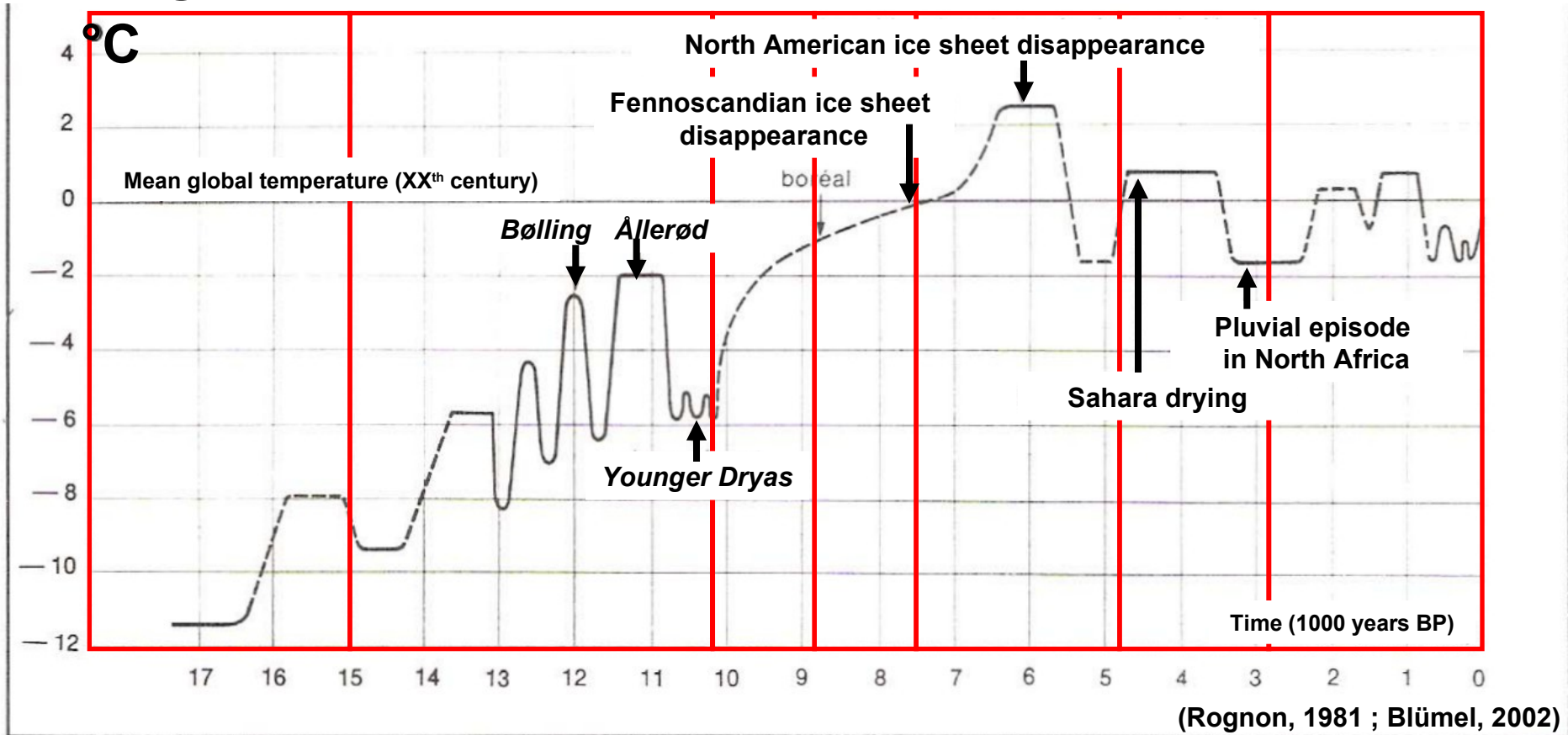
Pre-

Boreal Boreal

Atlantic

Subboreal

Subatlantic



British Isles climate

(According to G. Manley, 1952):

Cooling

Cold (& cloudy  
in the South)

Spring & summer  
drying

Warming

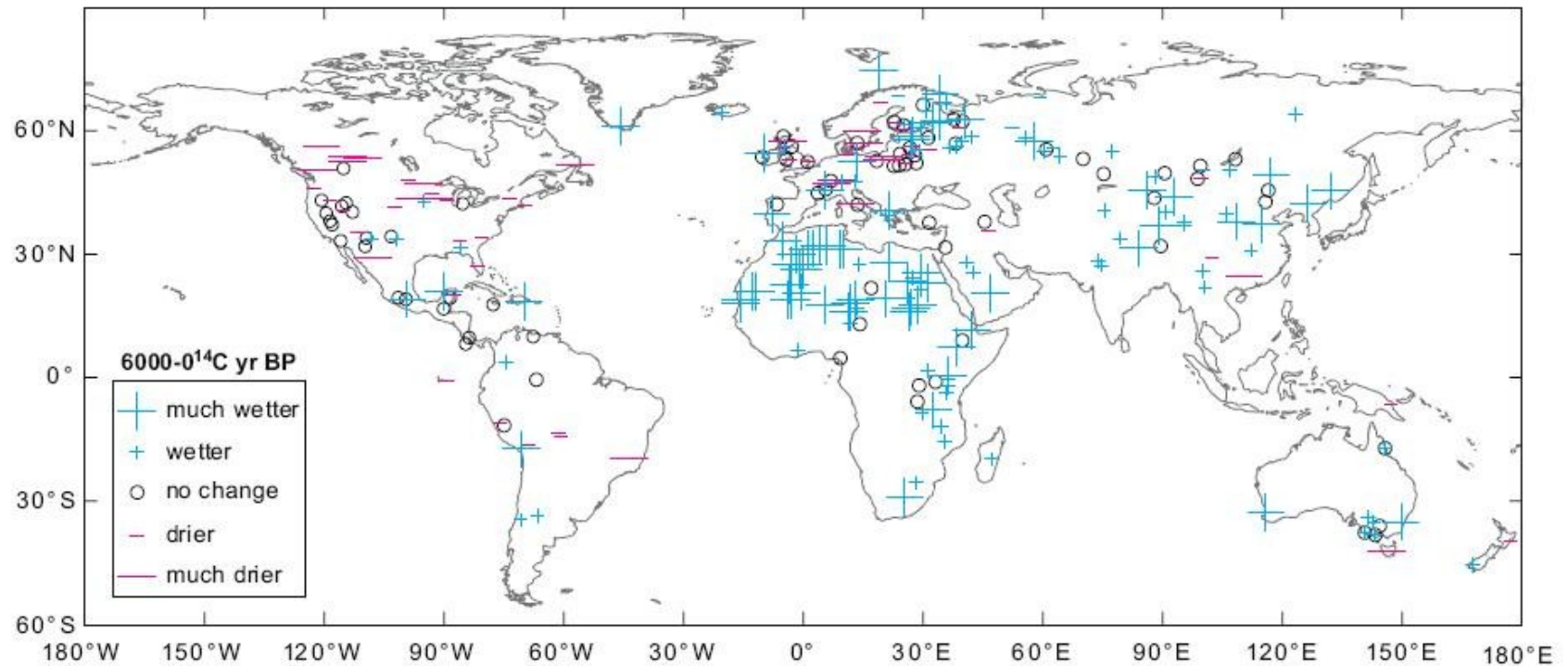
Winter &  
summer  
warming

Mild wet Winter  
& hot dry summer

Winter drying

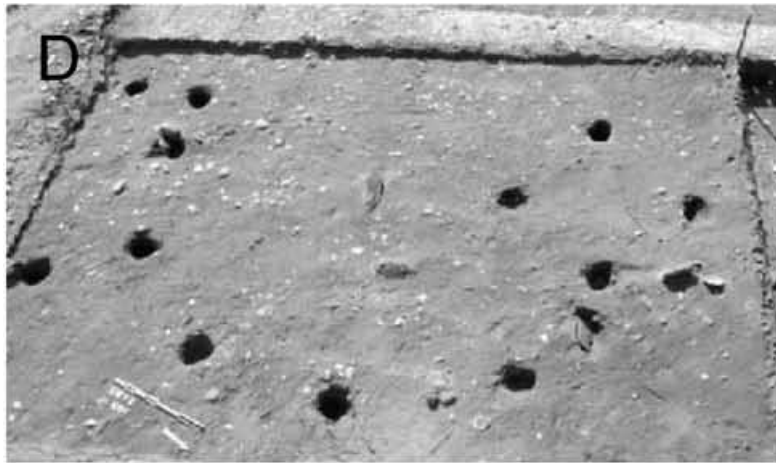
Cooling.  
Wet & cloudy

# LACS ET OPTIMUM CLIMATIQUE HOLOCÈNE



**Fig. 3.** Change in the global difference in lake status at 6000  $^{14}\text{C}$  years BP (6800 cal years BP) compared to present. The data are derived from the Global Lake Status Data Base (modified after Braconnot et al., 2004).

**(Wanner et al., 2008)**



**(Lézine *et al.*, 2010)**

**(A) Lacustrine deposits of al-Hawa (Yemen).**

**(C) Early Bronze Ages houses (temporary?) at Jebel Thanniya, site ATH-8, near the former extension of al-Hawa palaeolake.**

**(D) circular houses of temporary fishing campsite at SWY-2, Oman, ca. 6500 cal yr B.P.**

**(E) Early Bronze Age mud brick tower of permanent agricultural oasis settlement at Hili 8, U.A.E. (5000–4000 cal yr B.P.).**



## Continental signal

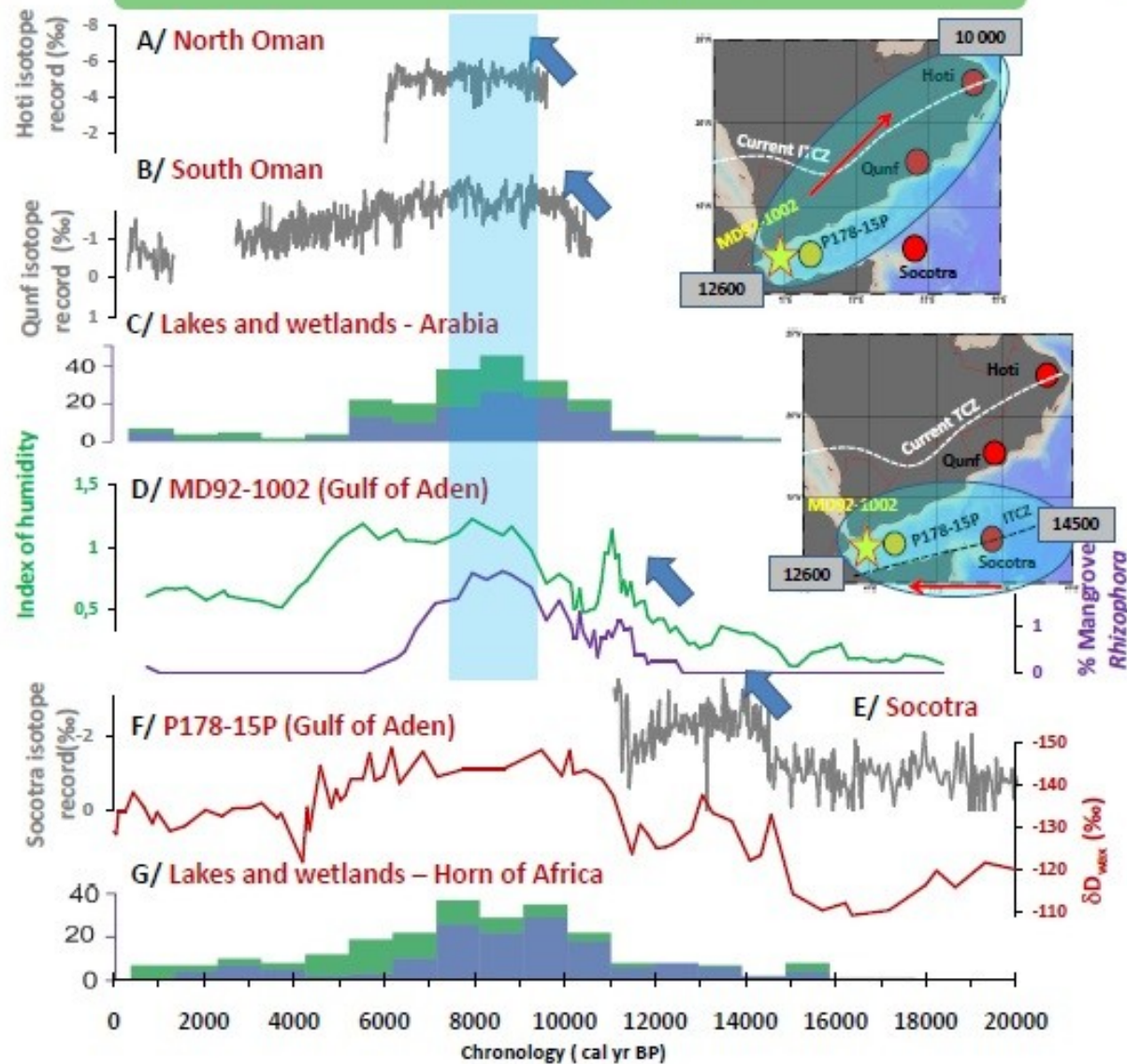


Fig 2. Focus on humidity changes and ITCZ dynamics during the last 20 ka. Location of all records is shown in map as well as the current summer position of ITCZ (dotted line). Blue circle show the precipitation area. Oxygen isotope records from three speleothem records in Oman and Yemen: from North to South: (A) Hoti, Neff et al., 2001, (B) Qunf, Fleitmann et al., 2003 and (E) Socotra, Shakun et al., 2007. Dated records of lakes and wetlands in Arabia (C) and the Horn of Africa (G) (Lézin et al., 2014). (D) Hydrological proxies from core MD92-1002 are presented by the % of the tropical mangrove *Rhizophora* and the index of humidity (Cyperaceae/Amaranthaceae-Chenopodiaceae) (Fersi et al., 2016 a). δD<sub>max</sub> from core P178-15P (G) (Tierney and deMenocal, 2013).

(Fersi et al., 2016)

### 3. Conclusions

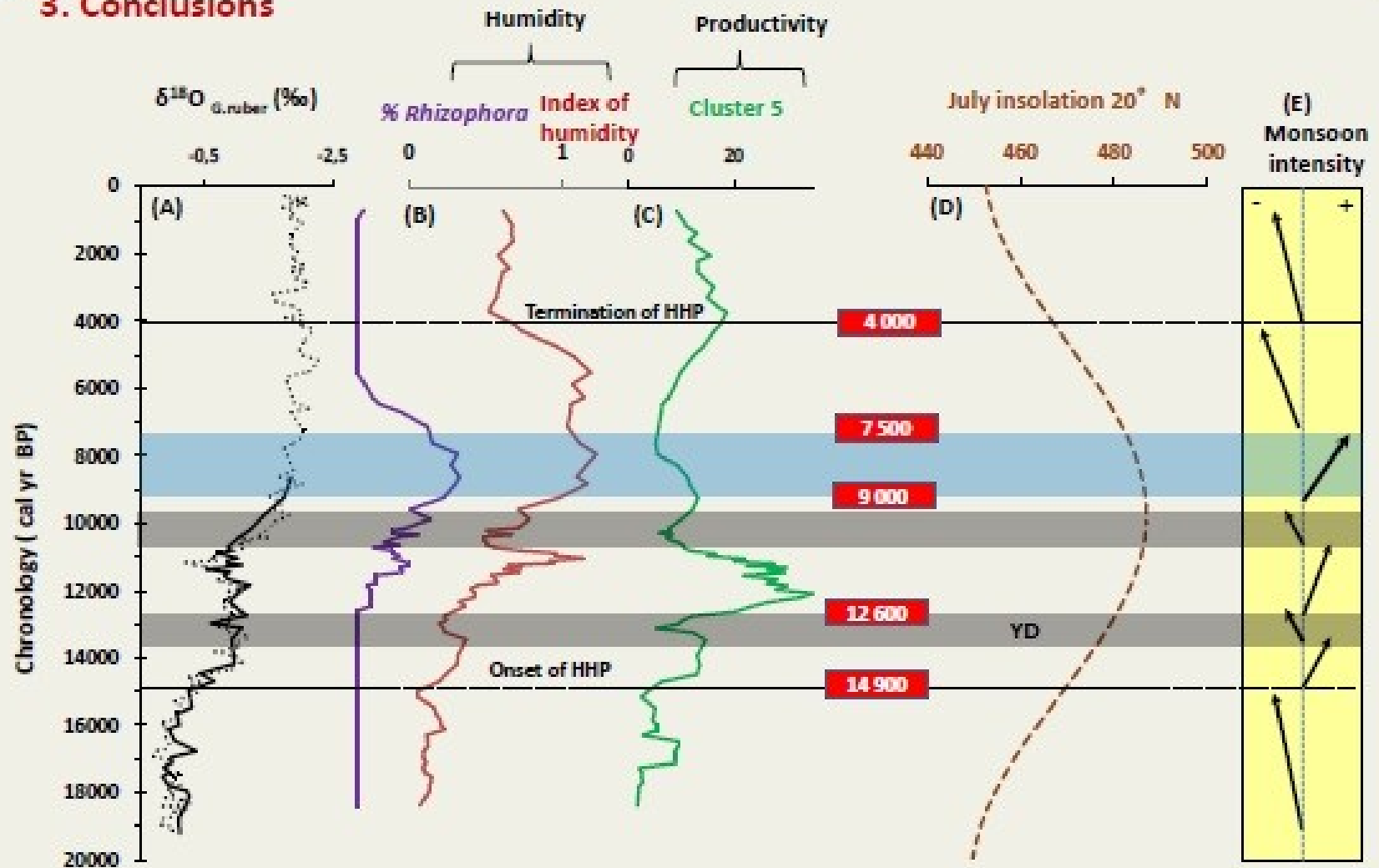


Fig 4. Synthesis diagram relating continental and marine proxies in order to reconstruct the variation of the Indian monsoon intensity in the Gulf of Aden region during the last 20 ka. A/ Isotopic stratigraphy of the core MD92-1002. B/ Humidity proxies (% *Rhizophora* and index of humidity). C/ Proxy of surface productivity (% cluster 5 of dinoflagellate cyst assemblage). D/ Summer insolation at 20°N (Berger and Loutre, 1991). E/ Estimation of the Indian monsoon intensity (Fersi, 2016).

(Fersi et al., 2016)





**MERCI POUR VOTRE ATTENTION !**