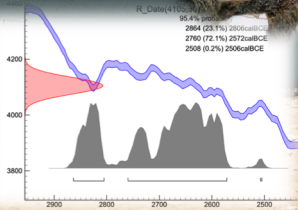


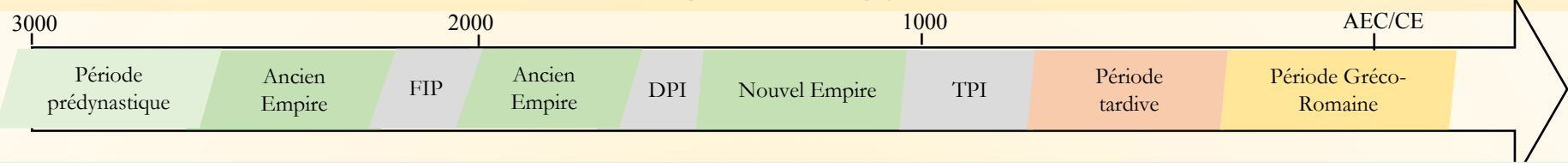
# Modélisation chronologique de l'Ancien Empire égyptien (MERYT)



Anita Quiles, Éric Aubourg, Pierre Salatí



# Chronologi(es) égyptiennes



▣ Pour renvoyer à un événement passé, les anciens égyptiens se référaient à l'année de règne du roi  
=> fixer des chronologies relatives



Papyrus de Turin, Musée de Turin

An X, saison Y, mois Z...

A chaque règne, le comput recommence à l'an 1

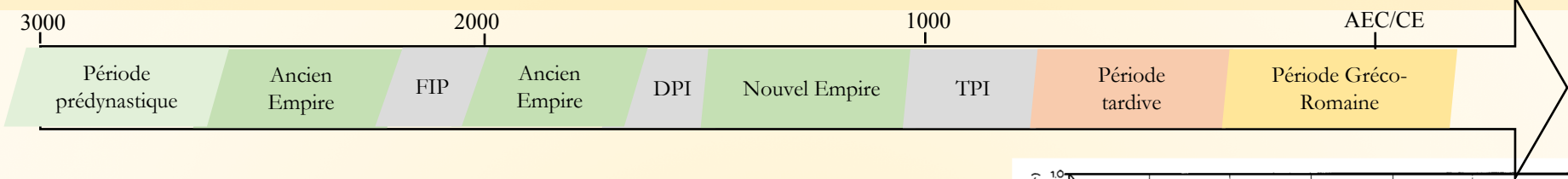
Listes de succession des rois





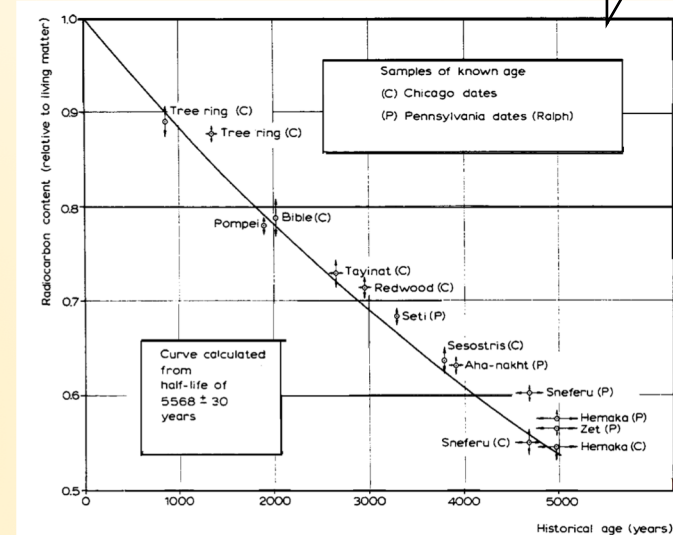


# Chronologi(es) égyptiennes



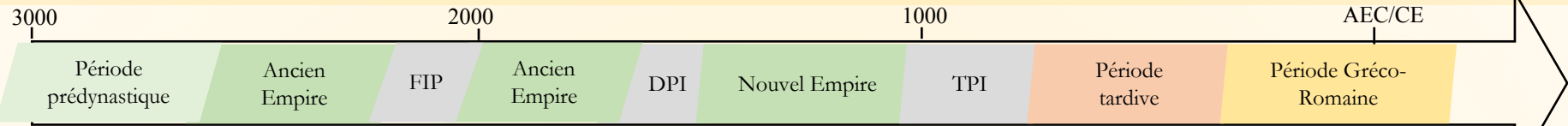
## Datation Radiocarbone :

- applicable à tout organisme vivant
- Fixe le temps qui nous sépare de la mort de l'organisme analysé





# Chronologi(es) égyptiennes



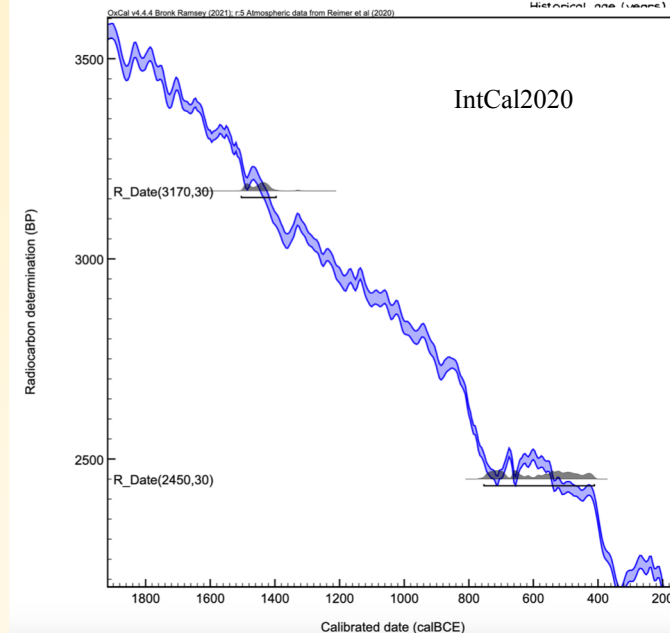
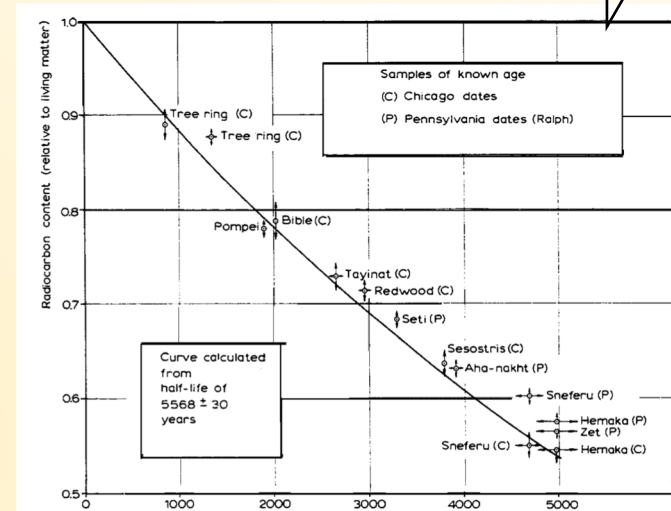
## Datation Radiocarbone :

- applicable à tout organisme vivant
- Fixe le temps qui nous sépare de la mort de l'organisme analysé

- Premières “incompréhensions” entre égyptologues et physiciens

=> Besoin d'une **courbe de calibration**

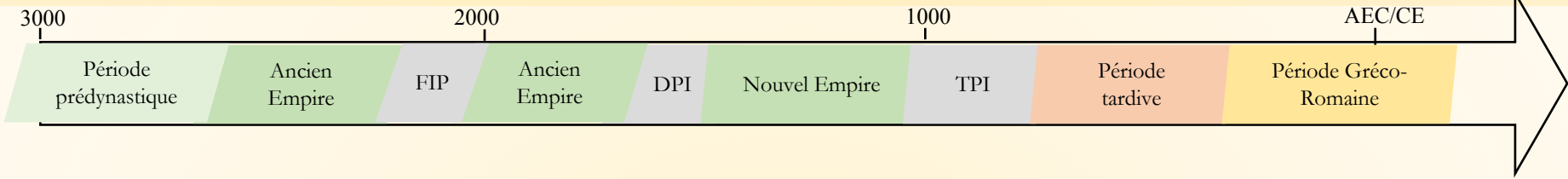
- Désormais, méthode éprouvée en archéologie



■ **Chronologie radiocarbone, intervalles de temps en années calendaires et probabilités associées**



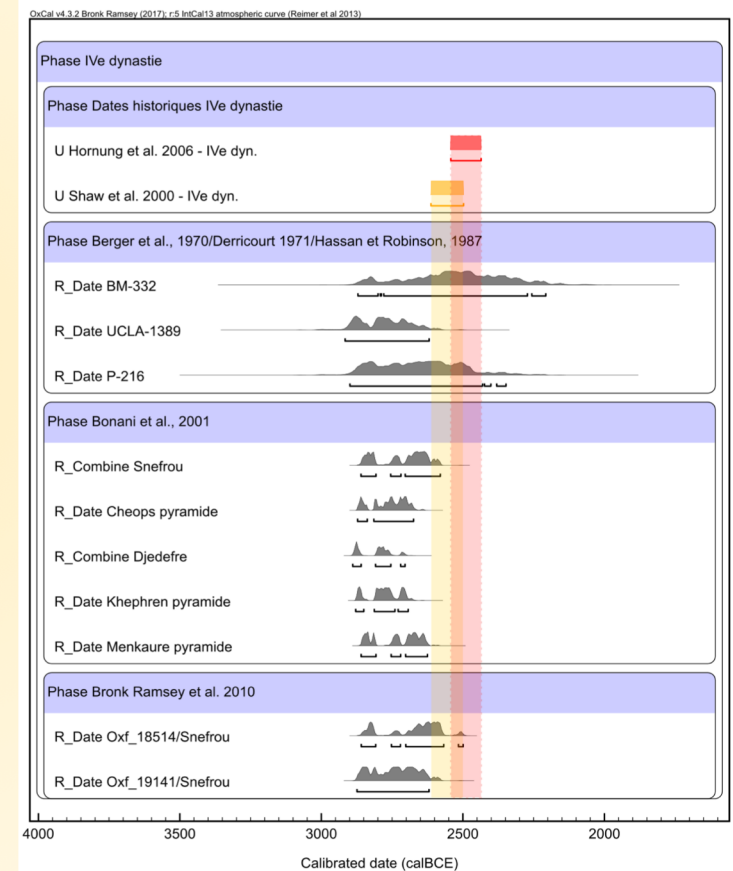
# Chronologi(es) égyptiennes



**Chronologies historiques:  
des temps relatifs aux temps absolus**

**Désaccords entre les chronologies historiques et  
radiocarbone**

**Chronologies radiocarbone  
Intervalles de temps en années calendaires**



Confronter l'ensemble des données chronométriques dans un même système de pensée  
➤ **Modèle chronologique par inférence bayésienne**



# Chronologi(es) égyptiennes

☞ **Construire une chronologie précise et holistique de l'histoire de l'Égypte ancienne**

*Histoire et archéologie*

**Chronologie relative**

**Sources  
textuelles**

**Astrochronologie**



# Chronologi(es) égyptiennes

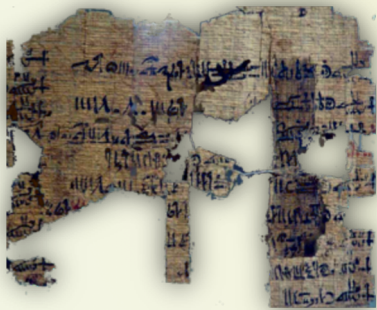
☛ Construire une chronologie précise et holistique de l'histoire de l'Égypte ancienne

*Histoire et archéologie*

**Chronologie relative**

**Sources  
textuelles**

**Astrochronologie**

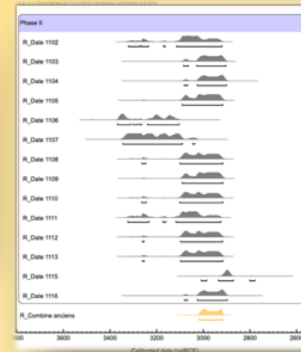


*Archéométrie*

**Jeux de données <sup>14</sup>C**

**Archaeomateriaux**

**Analyses <sup>14</sup>C**





# Chronologi(es) égyptiennes

☛ Construire une chronologie précise et holistique de l'histoire de l'Égypte ancienne

## Histoire et archéologie

### Chronologie relative

Sources  
textuelles

Astrochronologie

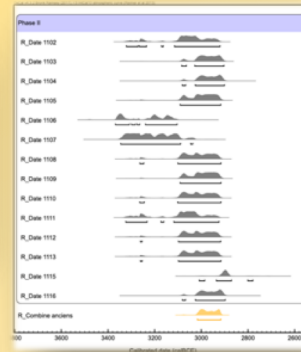


## Archéométrie

### Jeux de données $^{14}\text{C}$

Archaeomateriaux

Analyses  $^{14}\text{C}$

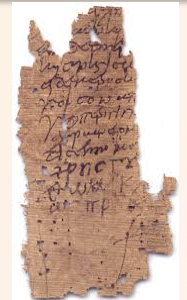


## Méthodologie $^{14}\text{C}$

### Calibration $^{14}\text{C}$

Herbiers

Papyrus gréco-romains et arabes



# Chronologi(es) égyptiennes

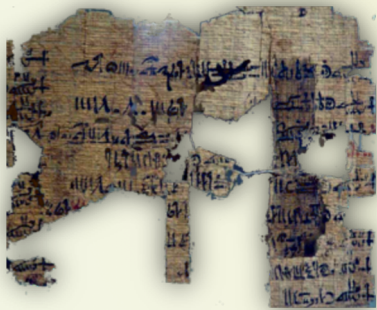
☞ Construire une chronologie précise et holistique de l'histoire de l'Égypte ancienne

*Histoire et archéologie*

Chronologie relative

Sources  
textuelles

Astrochronologie

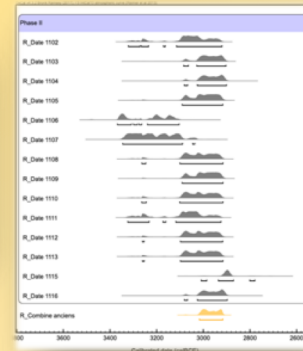


*Archéométrie*

Jeux de données  $^{14}\text{C}$

Archaeomateriaux

Analyses  $^{14}\text{C}$

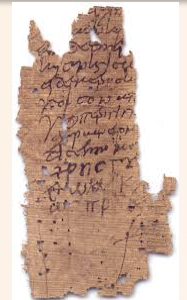


*Méthodologie  $^{14}\text{C}$*

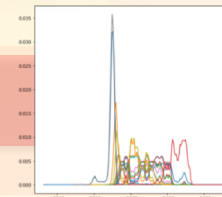
Calibration  $^{14}\text{C}$

Herbiers

Papyrus gréco-romains et arabes



Statistiques et modélisation





A fragment of an ancient Egyptian papyrus scroll, showing several columns of hieroglyphs and some cursive text. The fragment is irregularly shaped with torn edges. The hieroglyphs are arranged in vertical columns, and there are some lines of cursive text interspersed. The background is a light beige color.

# Chronologie relative de l'Ancien Empire égyptien



# Un *squelette* chronologique

## ▶ Réinvestir les sources textuelles

Exemple : le règne de Snéfrou (4<sup>e</sup> dynastie)

HORNUNG, KRAUSS, WARBURTON 2006, p. 490	2543-2510 <sup>±</sup> → 33 ans retenus pour le règne
VON BECKERATH 1997, p. XX	2614-2579 → 35 ans retenus pour le règne
TALLET et al. 2020, p. 418	2675-2636 → 39 ans retenus pour le règne
GUNDAKER 2006, p. 379	2658-2610 → 48 ans retenus pour le règne
SHAW 2000	2613-2589 → 24 ans retenus pour le règne
KITCHEN 2000	2617-2593 → 24 ans retenus pour le règne

de 24 à 48 ans!

Liste des rois et durées de leurs règnes = squelette du modèle

### Problèmes associés

- Ordre de succession des rois
- Recension de toutes les attestations de règne
  - Rois “inconnus”
  - Corégences
- Durée de chaque recensement (1 ou 2 ans ?)

▶ (re)construire un état dynamique de nos connaissances sur la chronologie de l’Ancien Empire égyptien



Fig. 28. Papyrus de Neferirou (photo Pierre Tallet).

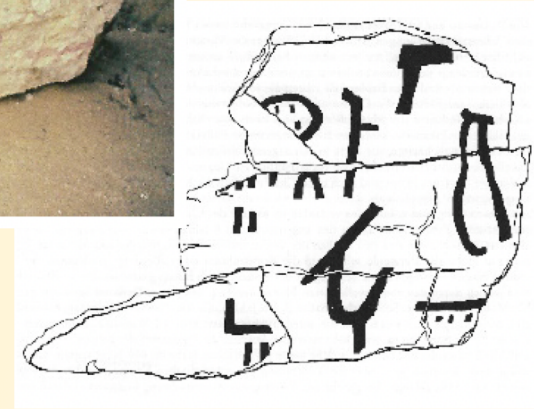




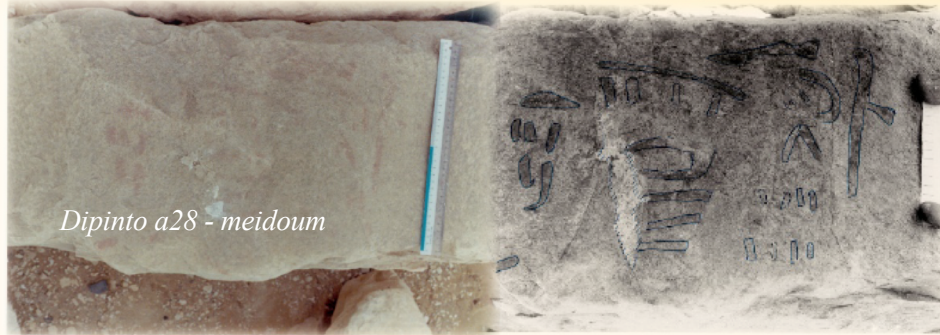
# Sources textuelles et données archéologiques

Corpus inhomogène suivant les dynasties et règnes :

- Sources documentaires ·
- Annales chronographiques ·
- Sources textuelles biographiques ·
- Sources monumentales ·
- Graffiti ·



## Archives photographiques



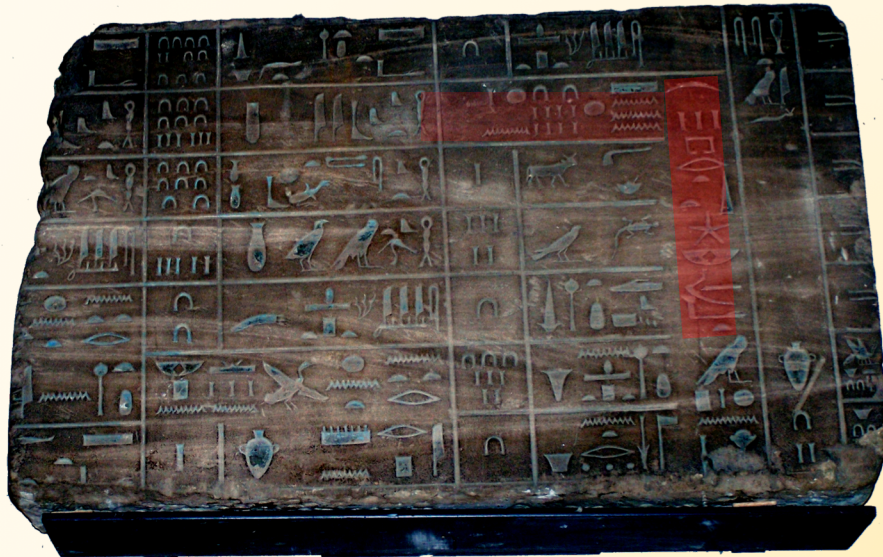
Dipinto a28 - meidoum



*rnpt (m-)ht sp 17 (?) 3bd 2/3 (?) šmw sw 5*

Année après le 17<sup>e</sup>(?) recensement, mois 2/3 (?) de la saison Sémou , jour 5

# Astrochronologie

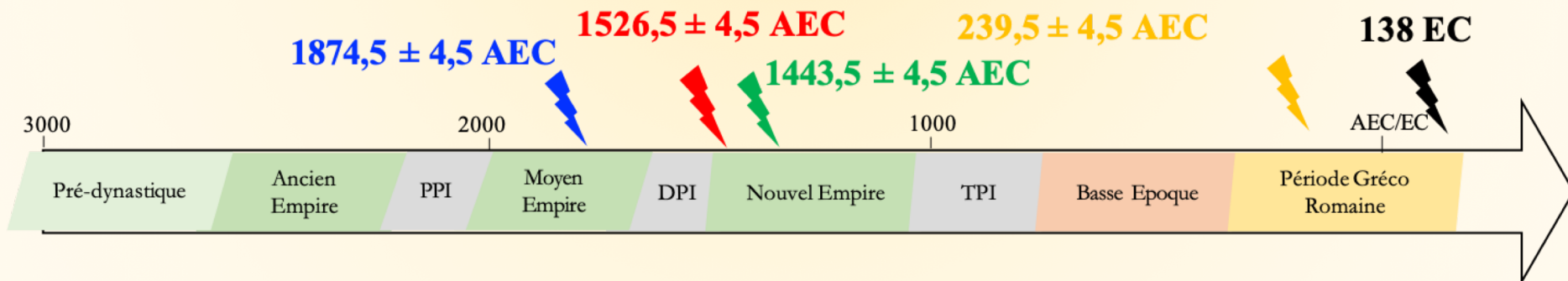


Calendrier d'Elephantine, Musée du Louvre

[...] 3bd-3 šmw sw 28 n(y) prt spdt m3t


[*yan X, sour le roi Thoutmoses III*] 3<sup>rd</sup> jour de la saison Shemou, jour 28, **fête de réapparition de l'étoile Sothis**

5 équations sothiaques disponibles entre le Moyen Empire et la période romaine



▶ fixer un jeu de points chronologiques dans la chronologie relative





Bâtir des jeux de données  $^{14}\text{C}$   
associées à des contextes  
archéologiques précis



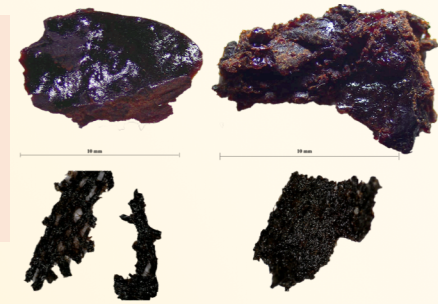
# Construire un jeu cohérent de données $^{14}\text{C}$



Interdiction d'exporter des échantillons archéologiques  
d'Égypte

=

Analyses doivent être faites en Égypte



- Collecter de **bons** marqueurs chronologiques
- Parfaitement associés à des **règnes particuliers** (inférences archéologiques)



© M. Gamil, Ifao

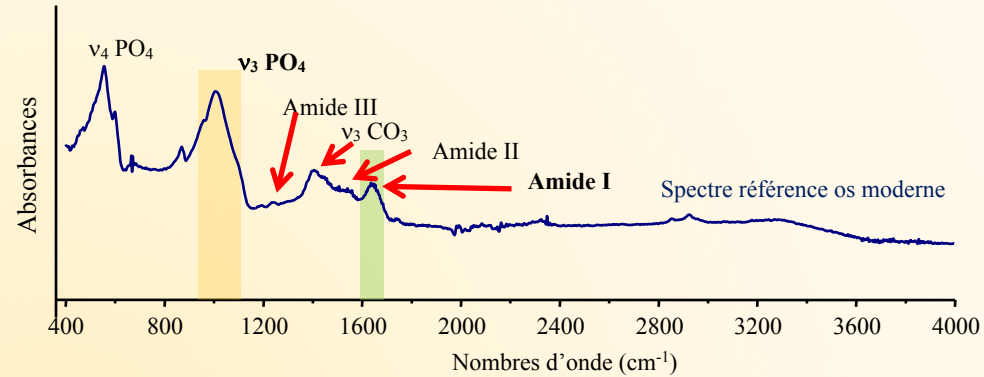
© G. Pollin, Ifao

*Ifao, Pôle archéométrie*



# Restes humains : développements in-situ

Louqsor, vallée des rois (KV 40)



☞ Protocole opérant pour la caractérisation du collagène

☞ Extraction du collagène pour datation



*Basel Kings Valley Project,  
dir. S. Bickel*

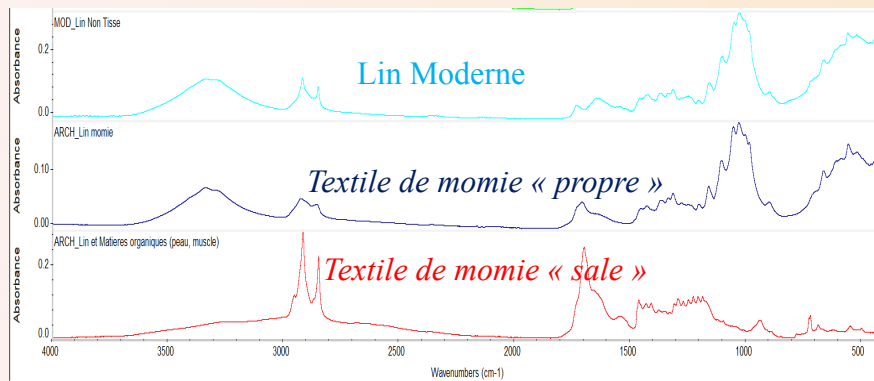




# Textiles anciens : comment les dater précisément ?



Développer un protocole de nettoyage et d'extraction plus fort pour assurer leur datation



- Analyses spectroscopiques (Infrarouge, Raman),
- Analyses organiques (GC-MS)
- Datation  $^{14}\text{C}$

➔ Thèse Marie Ferrant, « Le textile, un marqueur chronologique pour l'Égypte ancienne »

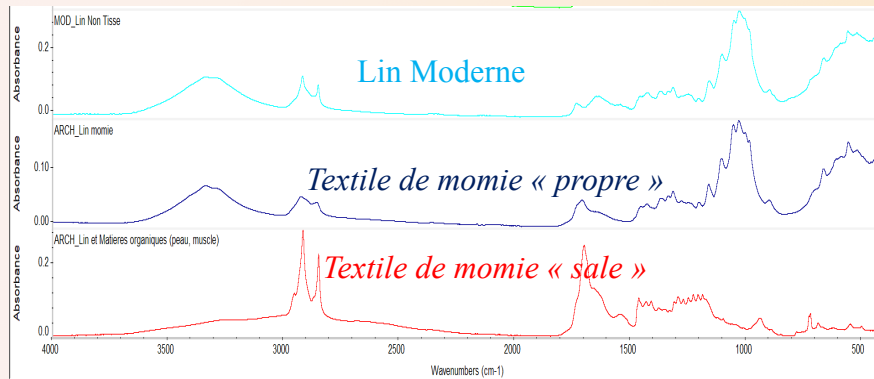
Soutenance le 17 Décembre 2021, Paris



# Textiles anciens : comment les dater précisément ?



Développer un protocole de nettoyage et d'extraction plus fort pour assurer leur datation



- Analyses spectroscopiques (Infrarouge, Raman),
- Analyses organiques (GC-MS)
- Datation  $^{14}\text{C}$

➔ Thèse Marie Ferrant, « Le textile, un marqueur chronologique pour l'Égypte ancienne »  
Soutenance le 17 Décembre 2021, Paris

Comment la fabrication d'un textile peut-elle être associée à son usage ?





# Textiles anciens : comment les dater précisément ?

Zefta, Delta, Egypte



Pôle Archéométrie Ifao

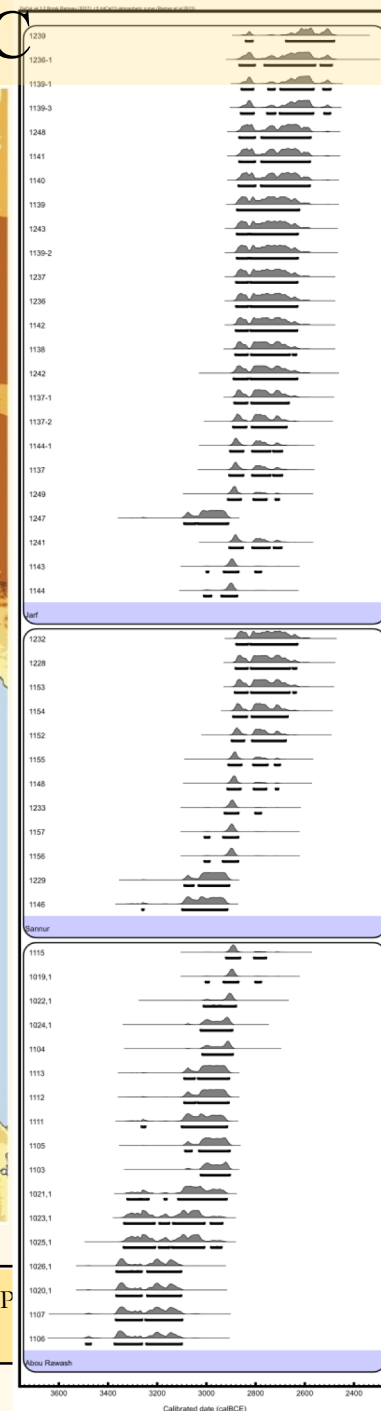
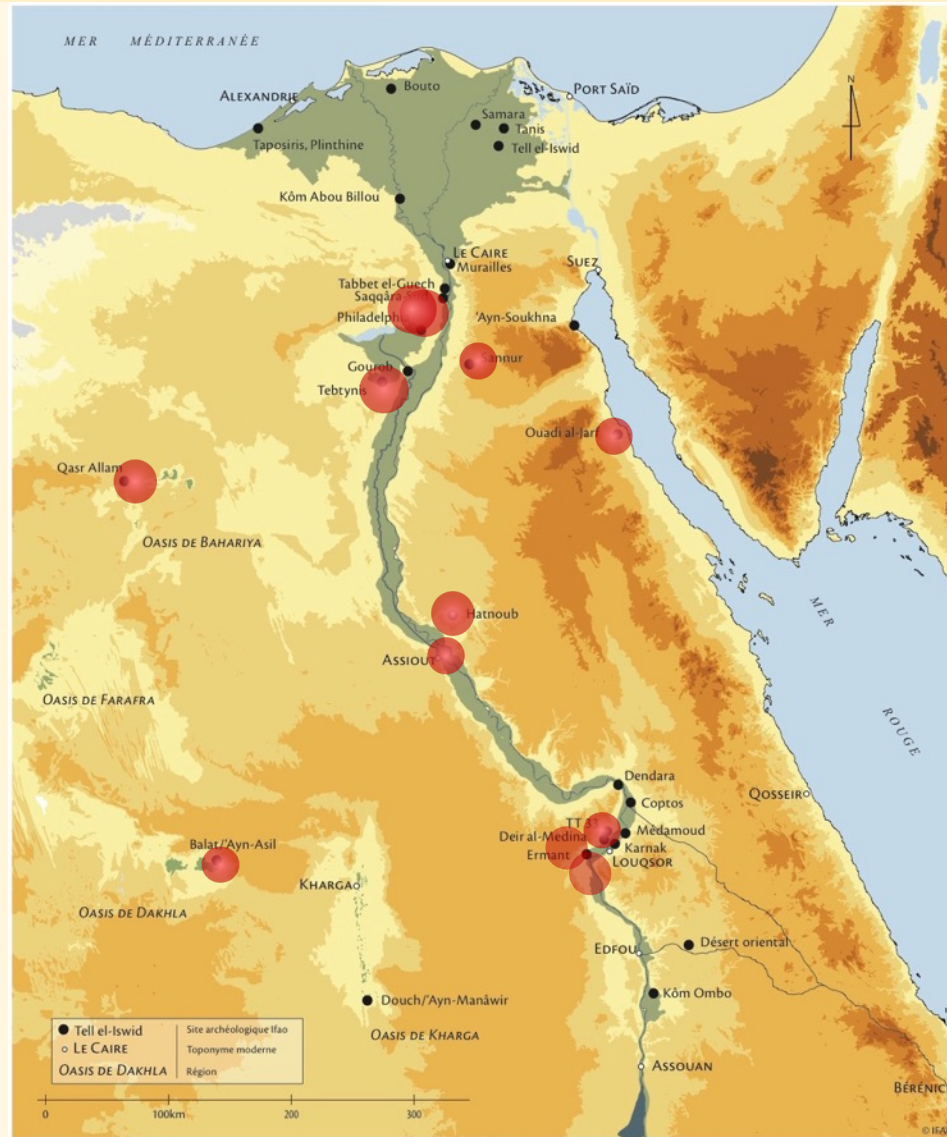




# Construire un jeu cohérent de données <sup>14</sup>C

## Sites archéologiques couvrant tout le territoire égyptien

- Abou Rawash, dir. Y. Tristan
- Ouadi Sannur, dir. F. Briois
- Ouadi el Jarf, dir. P. Tallet
- Hatnoub, dir. Y. Gourdon
- Balat, dir. G. Soukiassian
- Saqqarah-Mafs, dir. P. Collombert
- Deir el Gebrawy, dir. K. Sowada
- Assassif, dir. F. Colin
- Vallée des rois KV40, dir. S. Bickel
- Nécropole thébaine, dir. L. Bavay
- Baharya, dir. F. Colin



3000

2000

1000

Période  
Prédynastique  
et Thinite

Ancien  
Empire

PPI

Moyen  
Empire

DPI

Nouvel Empire

TPI

Période  
tardive

P

Calibrated date (calBCE)

# Le site du Ouadi el-Jarf

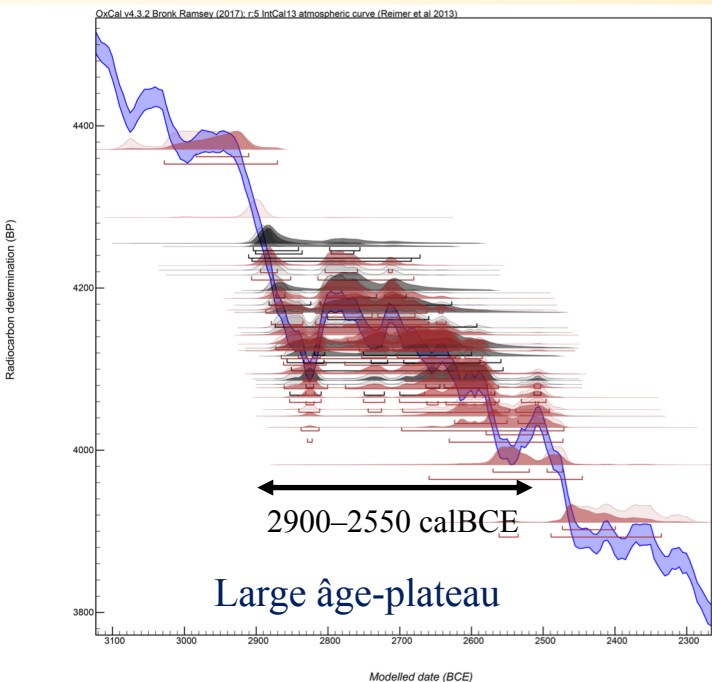
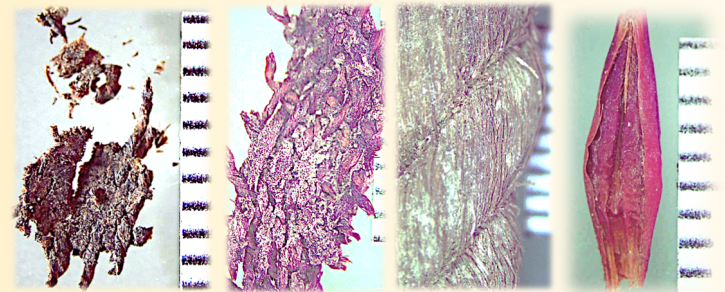
- ✧ Installations portuaires (Mer rouge) – *dir. Pierre Tallet*
- ✧ Un contexte historique clos : début de la 4<sup>e</sup> dynastie (Snéfrou and Khéops)



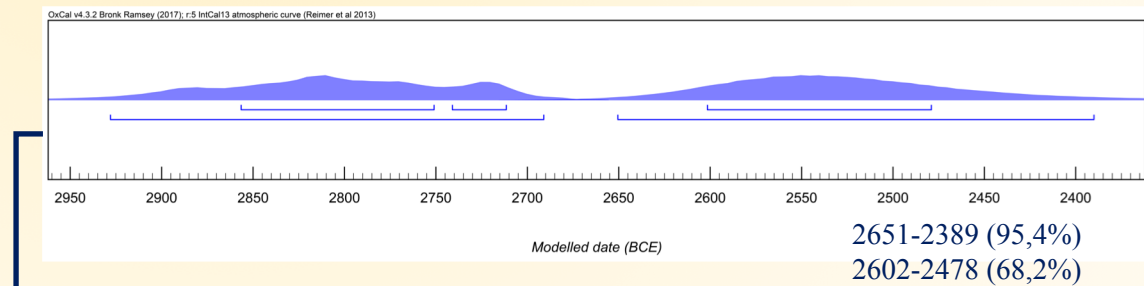
Tallet, 2021



© G. Pollin, Ifao



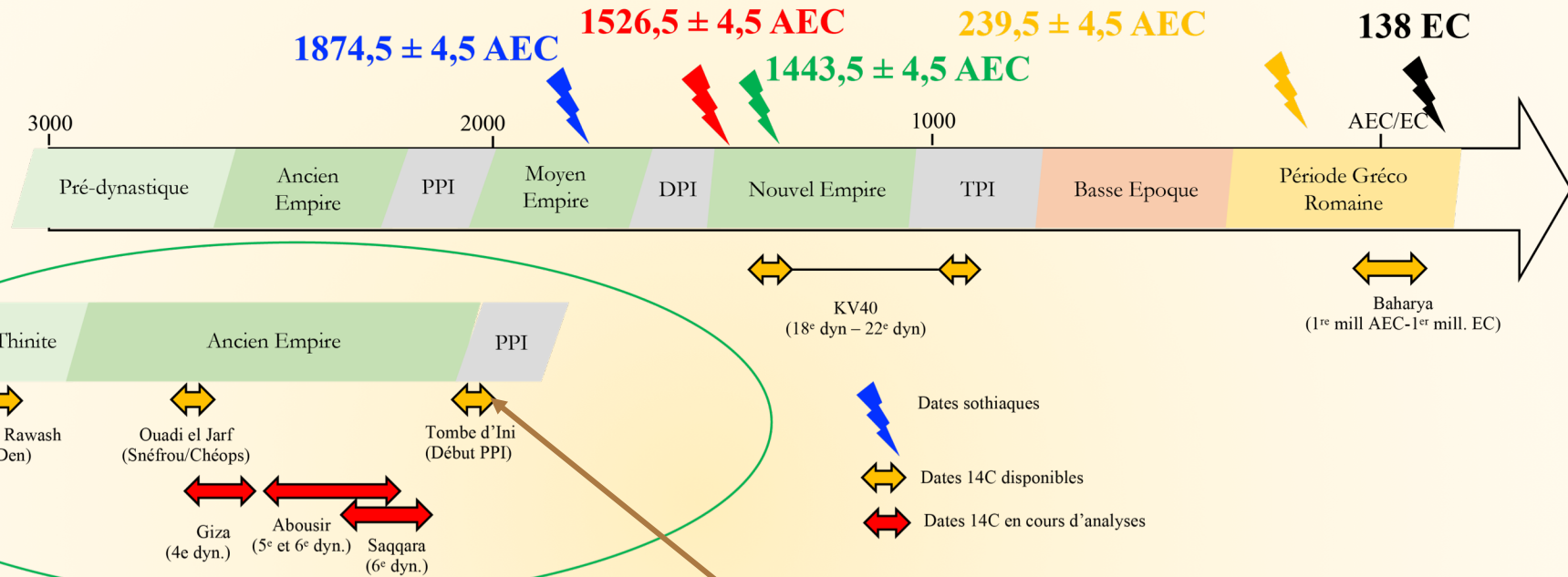
Modéliser les débuts et fins de la période d'occupation du site



Impossible de fixer le début de l'occupation précisément (2900-2700 AEC)



# Vers un modèle chronologique



Assurer les *début et fin* du modèle

Pas de bons échantillons disponibles pour la 3<sup>e</sup> dynastie

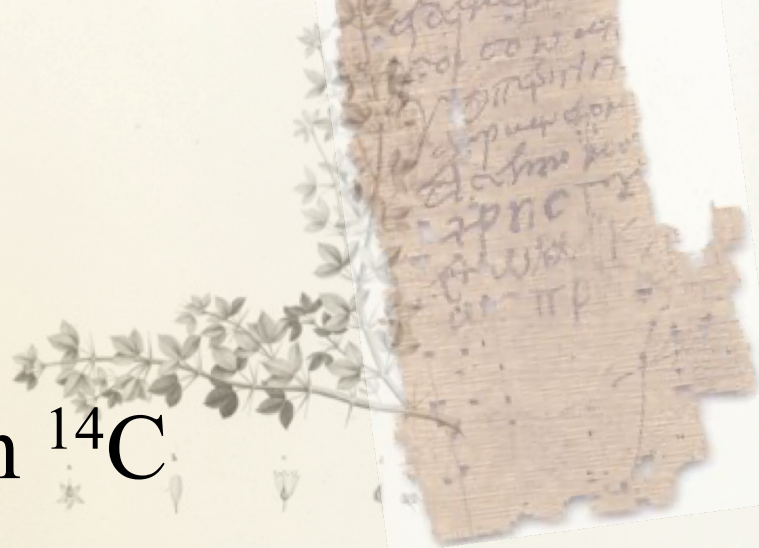
► début de la période d'étude déplacée aux dynasties antérieures

Confusion historique sur la fin de l'Ancien Empire

► Intégrer aussi des dates de la PPI



1. CASSIA ACUTIPOLIA .



# Calibration $^{14}\text{C}$



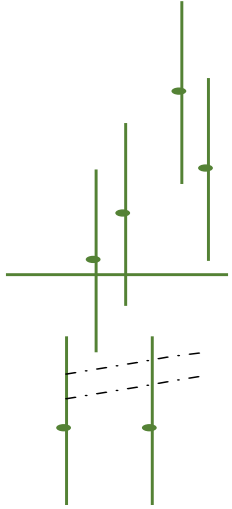
2. FAGONIA MOLLIS . 3. ZYGOPHYLLUM DECUMBENS .



# Calibration $^{14}\text{C}$ : le défi de l'herbier

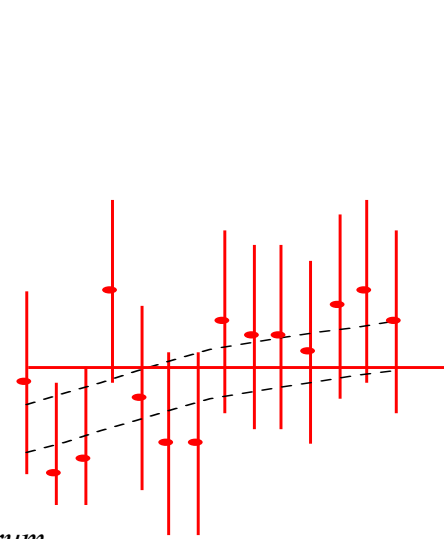
Égypte

1835-1839



Hors Égypte

1831-1839

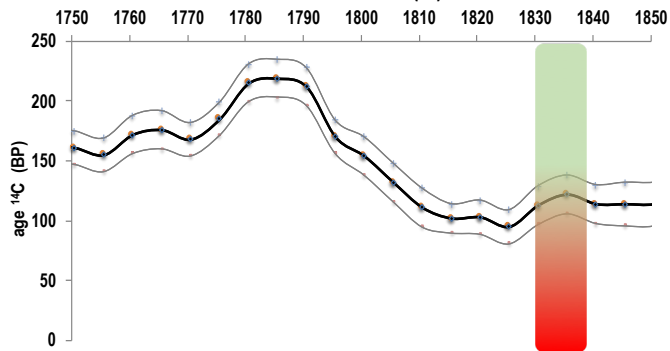


Les teneurs en  $^{14}\text{C}$   
d'échantillons collectés en  
Égypte sont elles cohérentes  
avec les valeurs attendues sur  
IntCal?



*solanaceae, solanum, nigrum*

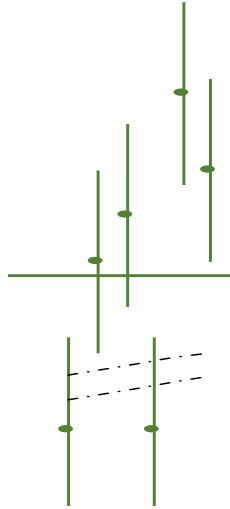
Année calendaire (EC)



# Calibration $^{14}\text{C}$ : le défi de l'herbier

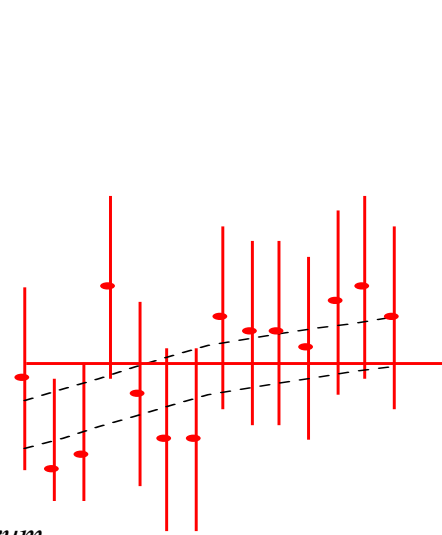
## Égypte

1835-1839



## Hors Égypte

1831-1839

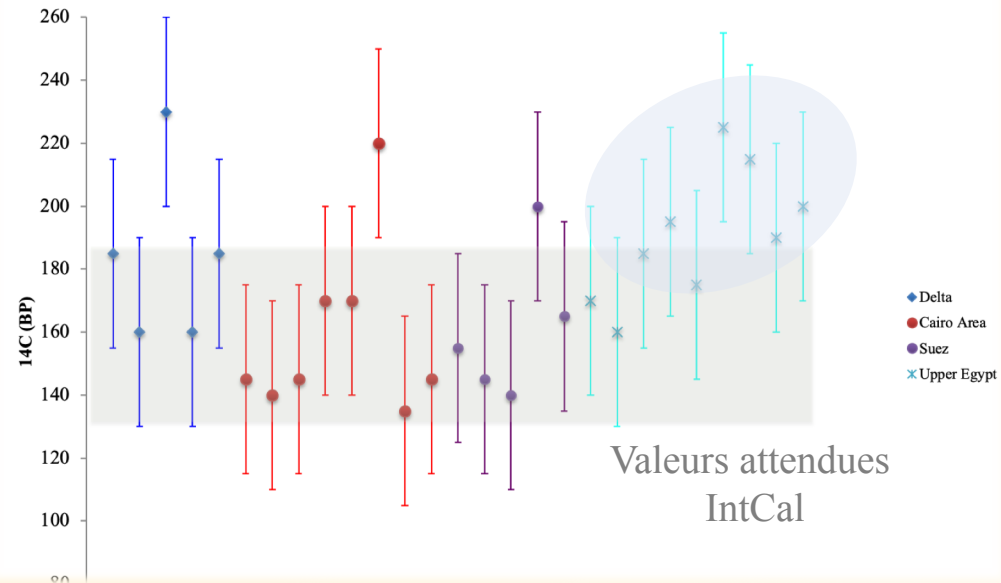


Les teneurs en  $^{14}\text{C}$  d'échantillons collectés en Égypte sont elles cohérentes avec les valeurs attendues sur IntCal?

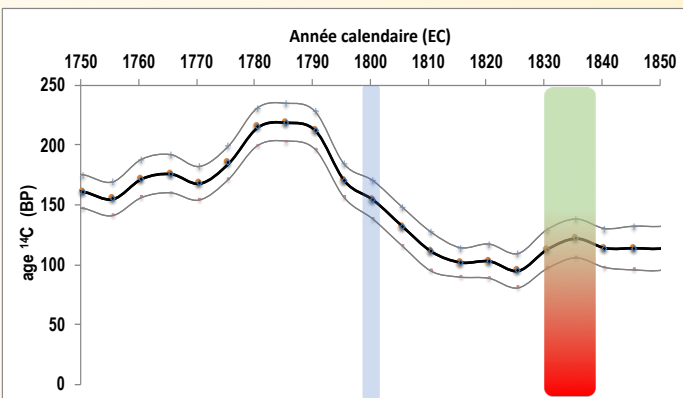


*solanaceae, solanum, nigrum*

Teneur  $^{14}\text{C}$  - spécimens par origine géographique (1798-1801) -



Valeurs attendues IntCal





# Calibration $^{14}\text{C}$ : le défi de l'herbier

La saison de croissance des plantes est-elle liée à la période de crue du Nil?



**Particularité du Nil**

=



Décalages dans les teneurs en  $^{14}\text{C}$  suivant les origines géographiques ?



*Planche d'illustration de trois espèces nouvelles pour la science, décrites par Raffeneau-Delile dans 'Description de l'Egypte'*

# Calibration $^{14}\text{C}$ : le défi de l'herbier

La saison de croissance des plantes est-elle liée à la période de crue du Nil?



**Particularité du Nil**

=



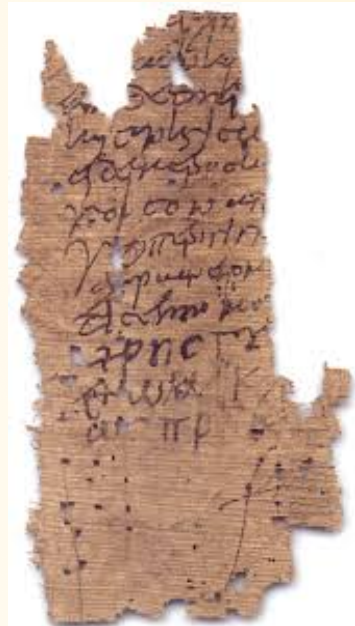
Décalages dans les teneurs en  $^{14}\text{C}$  suivant les origines géographiques ?



*Planche d'illustration de trois espèces nouvelles pour la science, décrites par Raffeneau-Delile dans 'Description de l'Égypte'*

**Est-ce que les écarts observés aux 18<sup>e</sup>-19<sup>e</sup> siècles sont applicables aux périodes anciennes?**

► **étude en cours sur des papyrus d'époque gréco-romaine et arabe datés par les textes**

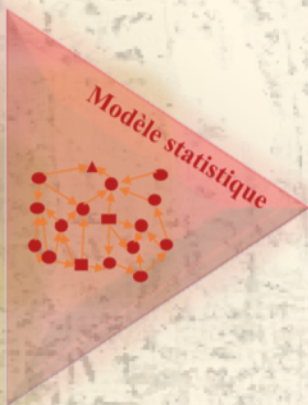
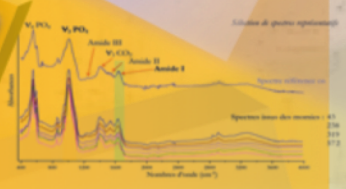
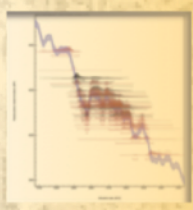




Méthodologie 14C



Archéométrie et Archéologie



Histoire, Archéologie





---

# Comment tout a commencé

---

Astron. Astrophys. 350, L57–L61 (1999)

*Letter to the Editor*

**Kinematics of LMC stellar populations and self-lensing optical depth**

P. Salati<sup>1,2</sup>, R. Taillet<sup>1,2</sup>, É. Aubourg<sup>3</sup>, N. Palanque-Delabrouille<sup>3</sup>, and M. Spiro<sup>3</sup>

ASTRONOMY  
AND  
ASTROPHYSICS

Astron. Astrophys. 347, 850–859 (1999)

**Microlensing optical depth of the Large Magellanic Cloud**

É. Aubourg<sup>1</sup>, N. Palanque-Delabrouille<sup>1</sup>, P. Salati<sup>2,3</sup>, M. Spiro<sup>1</sup>, and R. Taillet<sup>2,3</sup>

ASTRONOMY  
AND  
ASTROPHYSICS



---

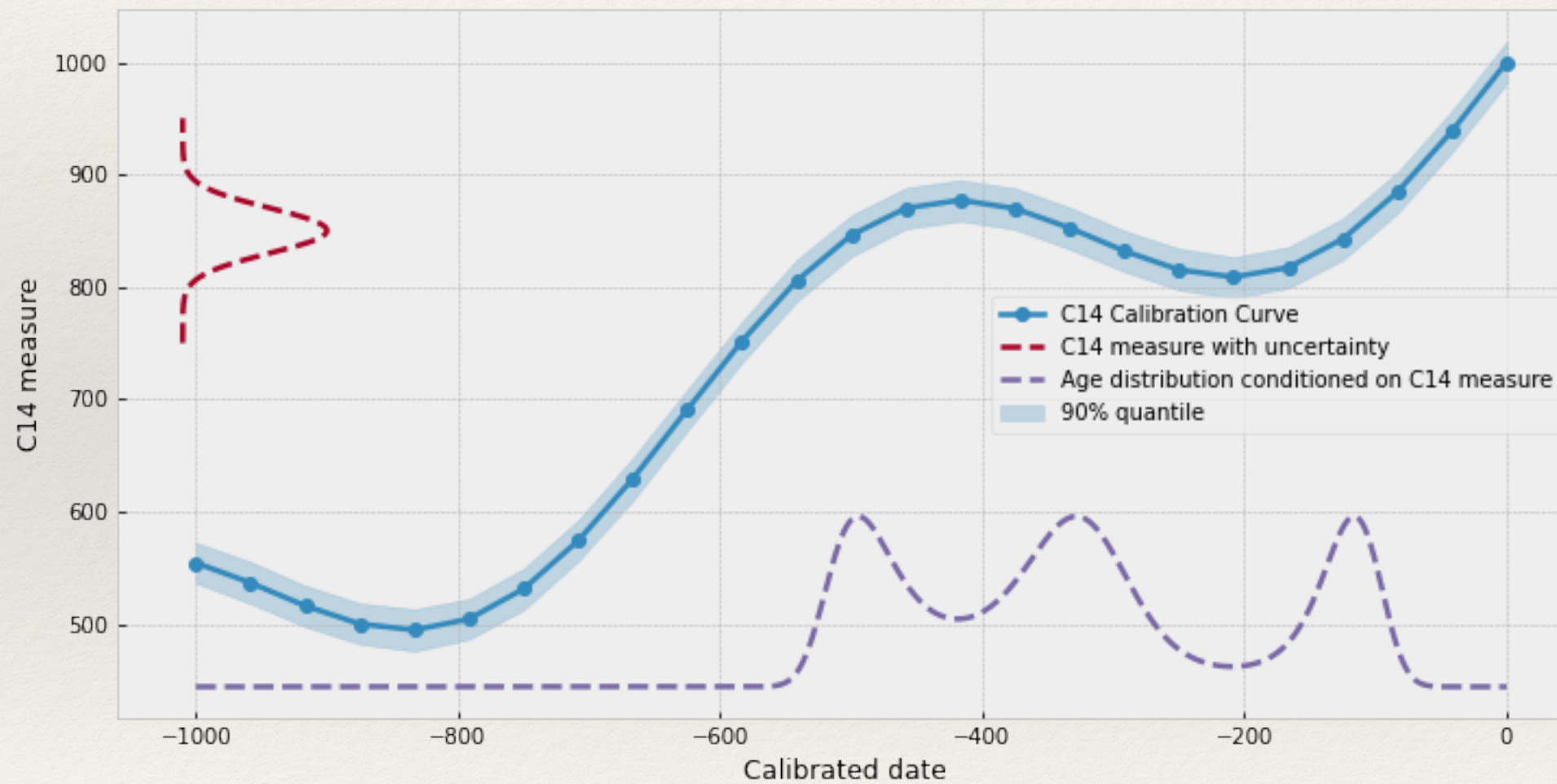
# Comment ça a continué

---

- ❖ Pierre étudiant à l'institut Khéops
- ❖ Pierre président du jury
  - ❖ PhD Anita Quiles
  - ❖ HDR Eric Aubourg
  - ❖ HDR Anita Quiles



# Bayes et l'égyptologie





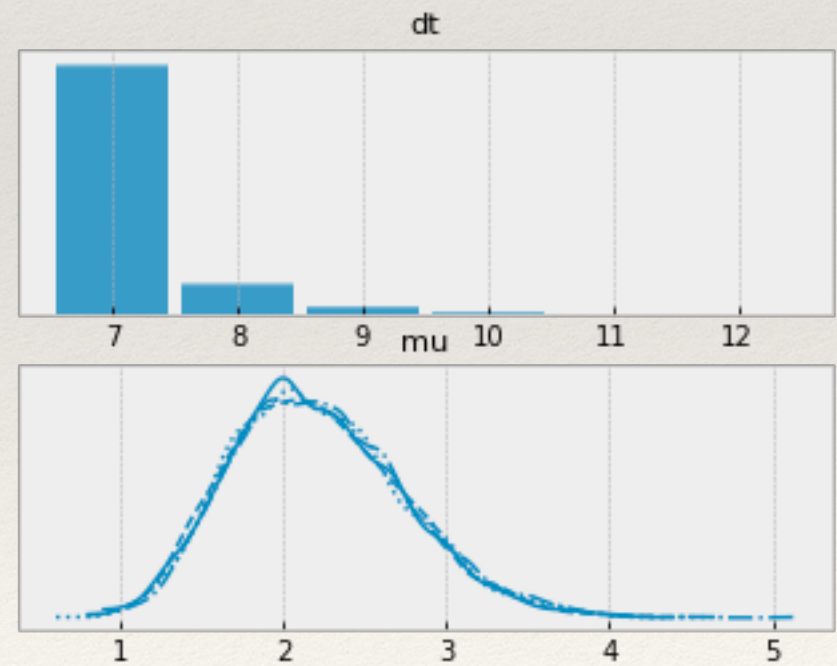
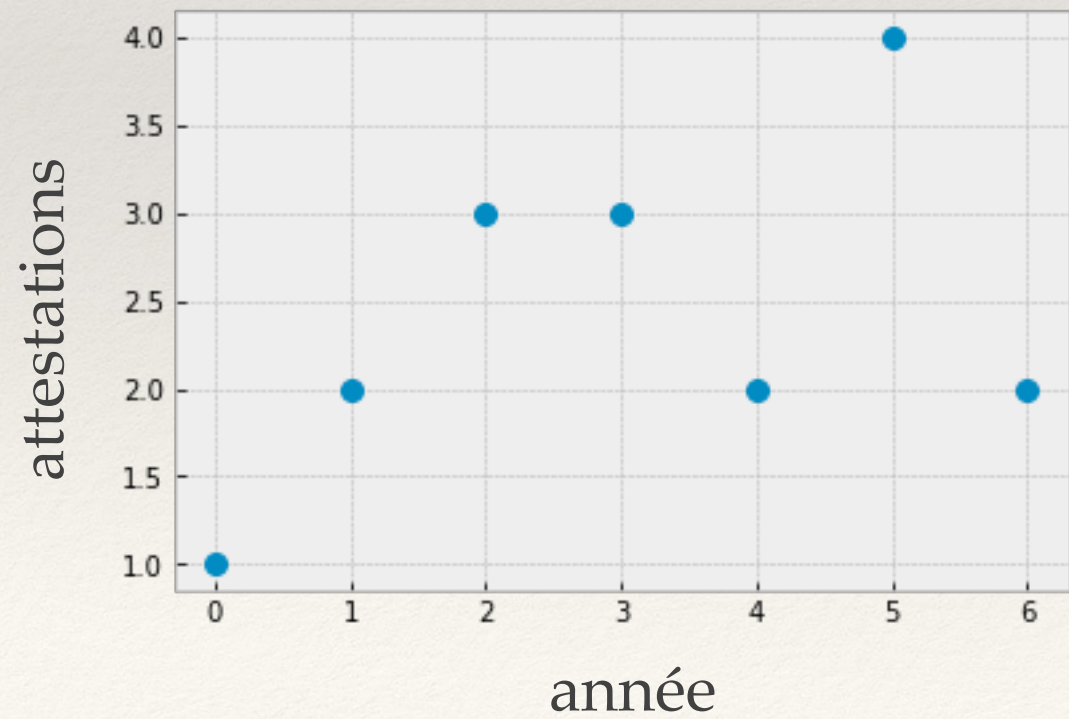
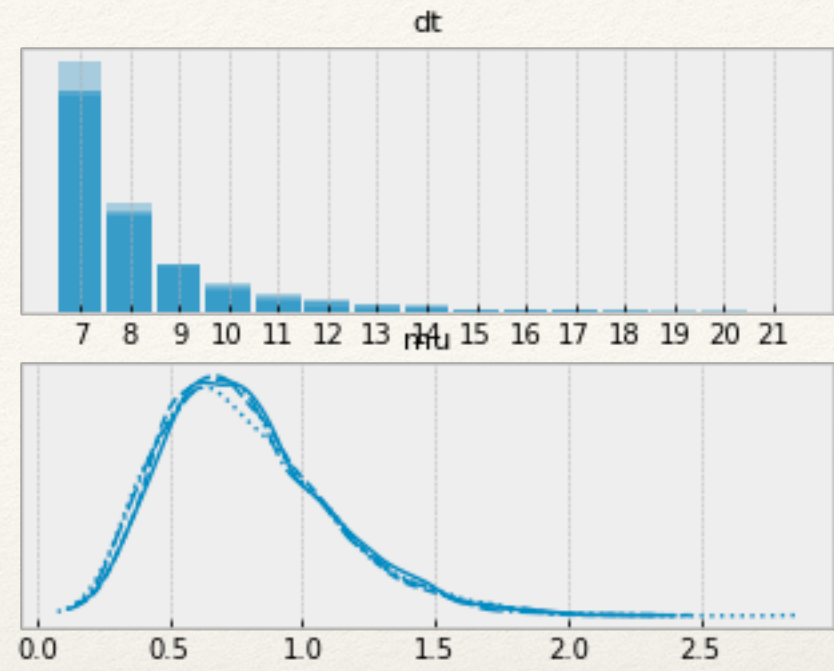
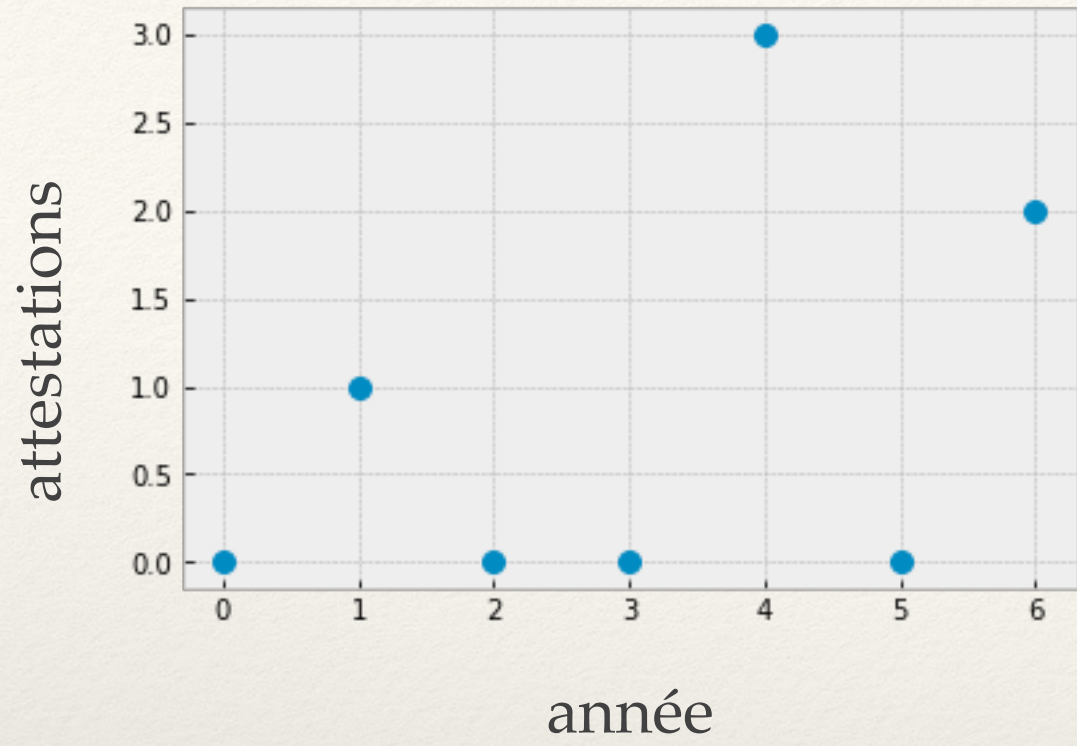
---

# Durée des règnes ?

---

- ❖ On a peu de datations C14
- ❖ En général on n'a pas de textes disant que tel roi est mort après 14 ans de règne.
- ❖ On a des textes qui disent que tel roi a fait des choses dans les années 2, 4 (deux occurrences), 6, 7, puis rien : que peut-on en déduire ?
  - ❖ Il a vécu au moins 7 ans...
  - ❖ On peut modéliser ses actions avec une distribution de Poisson, avec une moyenne annuelle d'attestations parvenues à nous
  - ❖ On peut déduire un posterior sur la durée de son règne.







---

# Ce n'est pas si simple

---

- ❖ On n'a pas de mentions d'années, mais de recensements (de bétail)
  - ❖ À certaines périodes, le recensement était annuel. A d'autres, c'était tous les deux ans. Et à d'autres moment, c'était au moins tous les deux ans, parfois un, parfois deux...
- ❖ « X l'année du troisième recensement. » « Y l'année *après* le cinquième recensement. »
  - ❖ Le sixième recensement était deux ans après le cinquième
  - ❖ Pour le troisième, pas d'information...



---

# Markov Chain Monte Carlo à la rescousse

---

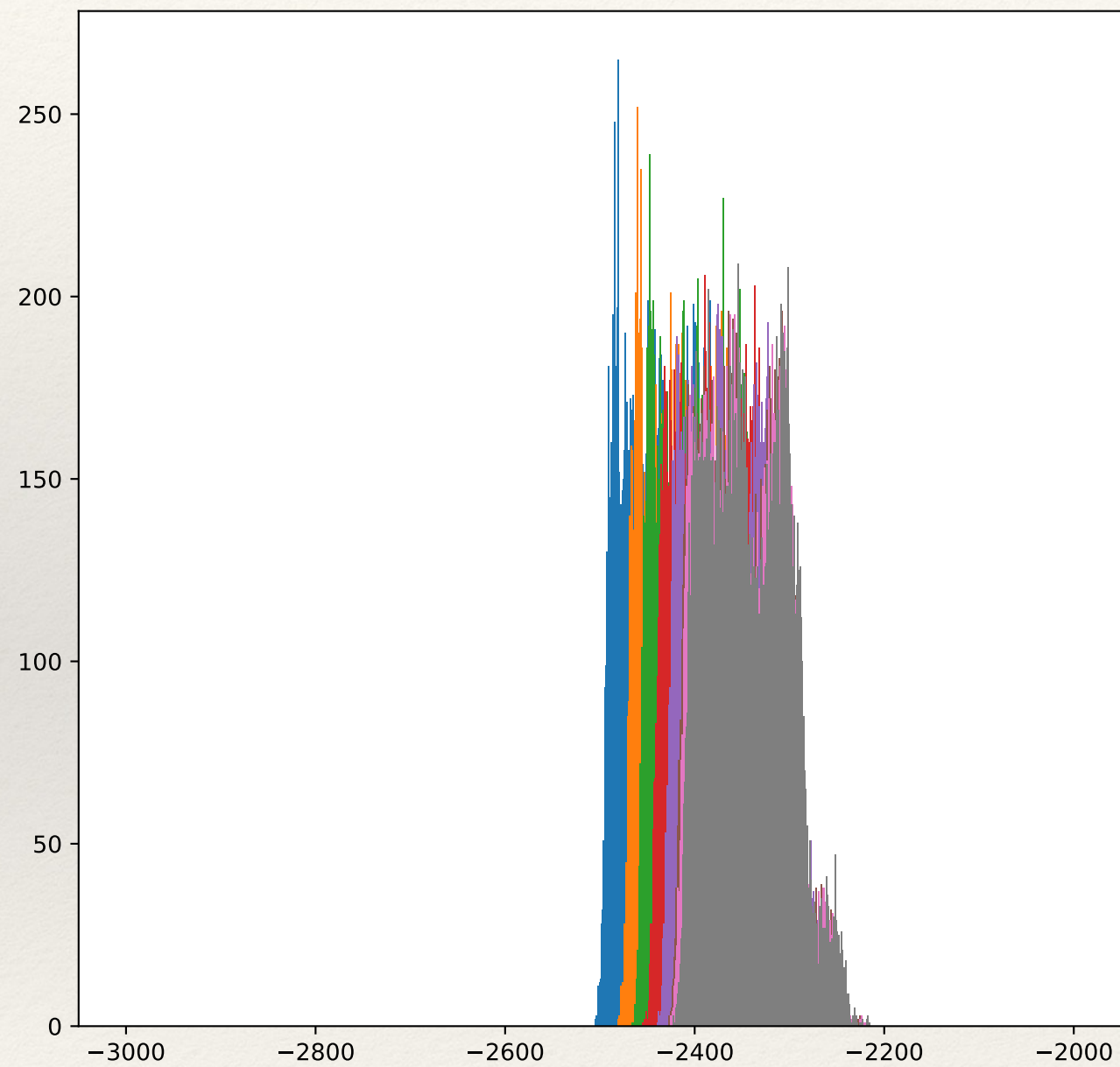
- ❖ Beaucoup de variables!
  - ❖ Rythme des recensement, durées des règnes, datations C14.
  - ❖ Mais ça marche!
  - ❖ Corrélations complexe, on a bien les erreurs, mais avec une matrice de covariance non triviale
    - ❖ Ancrage absolu avec C14 et d'autres techniques
    - ❖ Contraintes relatives avec les textes



---

# Quelques vraies données sur la IVe dynastie

---





---

# Prochains challenges

---

- ❖ Passer d'un échantillon et d'un modèle réduit aux vraies données, sur une dynastie puis sur une plus longue durée.
- ❖ Expliquer aux égyptologues ce qu'est une matrice de covariance