

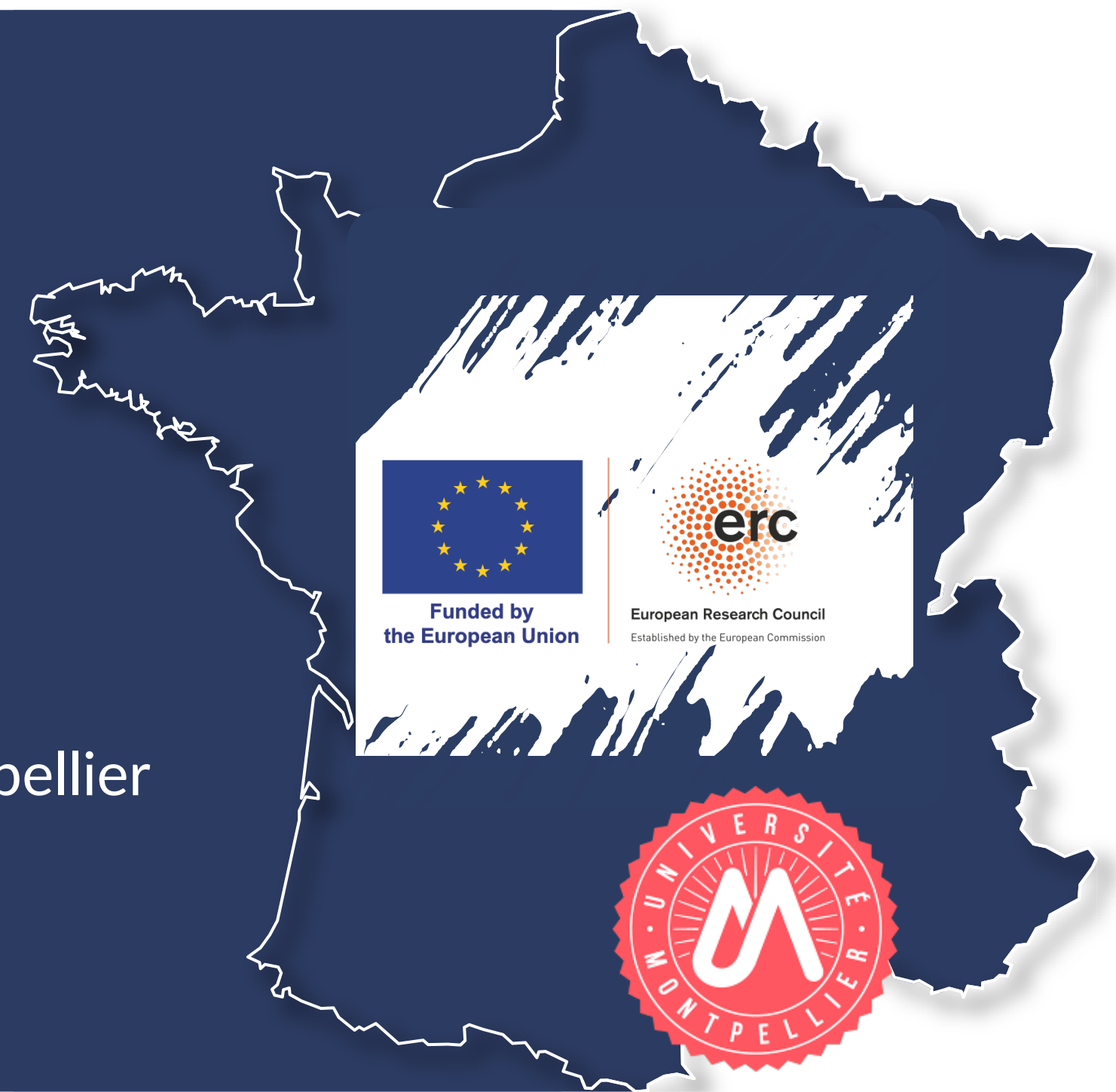
Unravelling the first Babbles of the Earth Inner Core History

Déchiffrer les premiers gazouillis de la «graine»

Paul Yves Jean ANTONIO
Contractuel

UB E I C H

Géosciences Montpellier. Université de Montpellier



Challenge

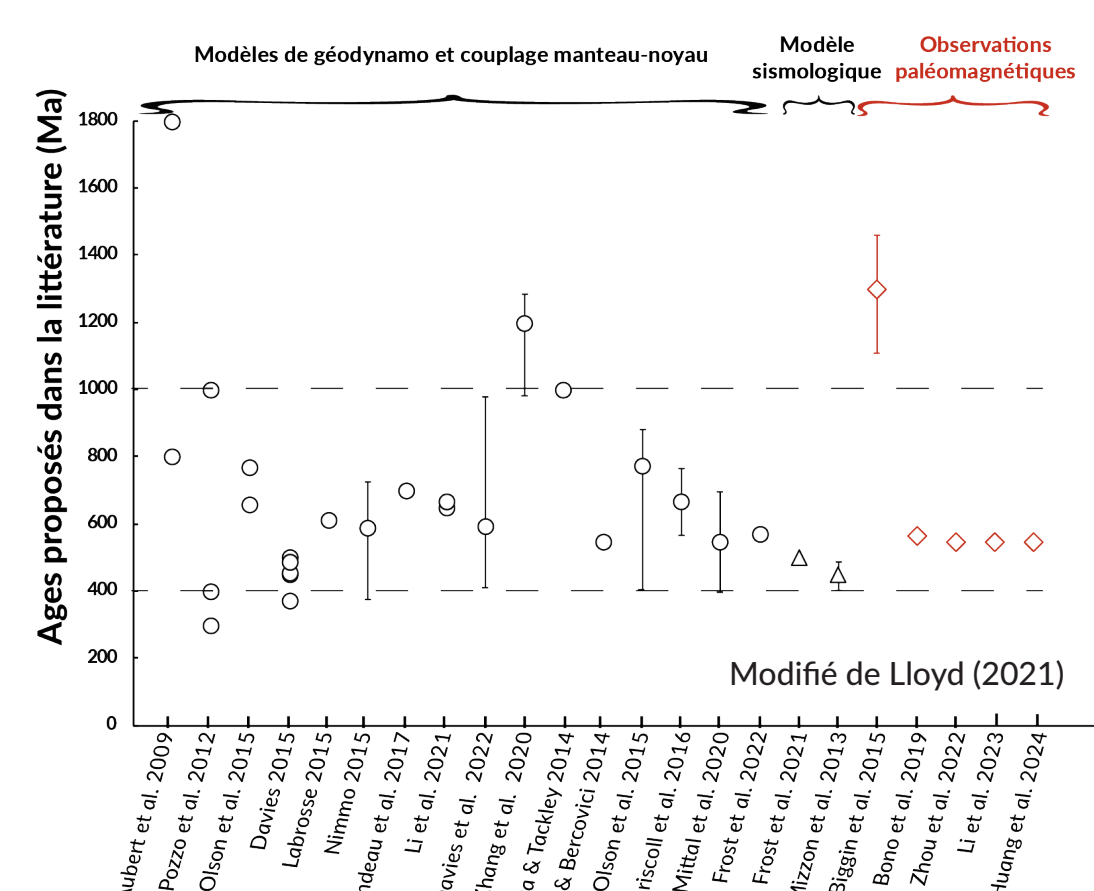
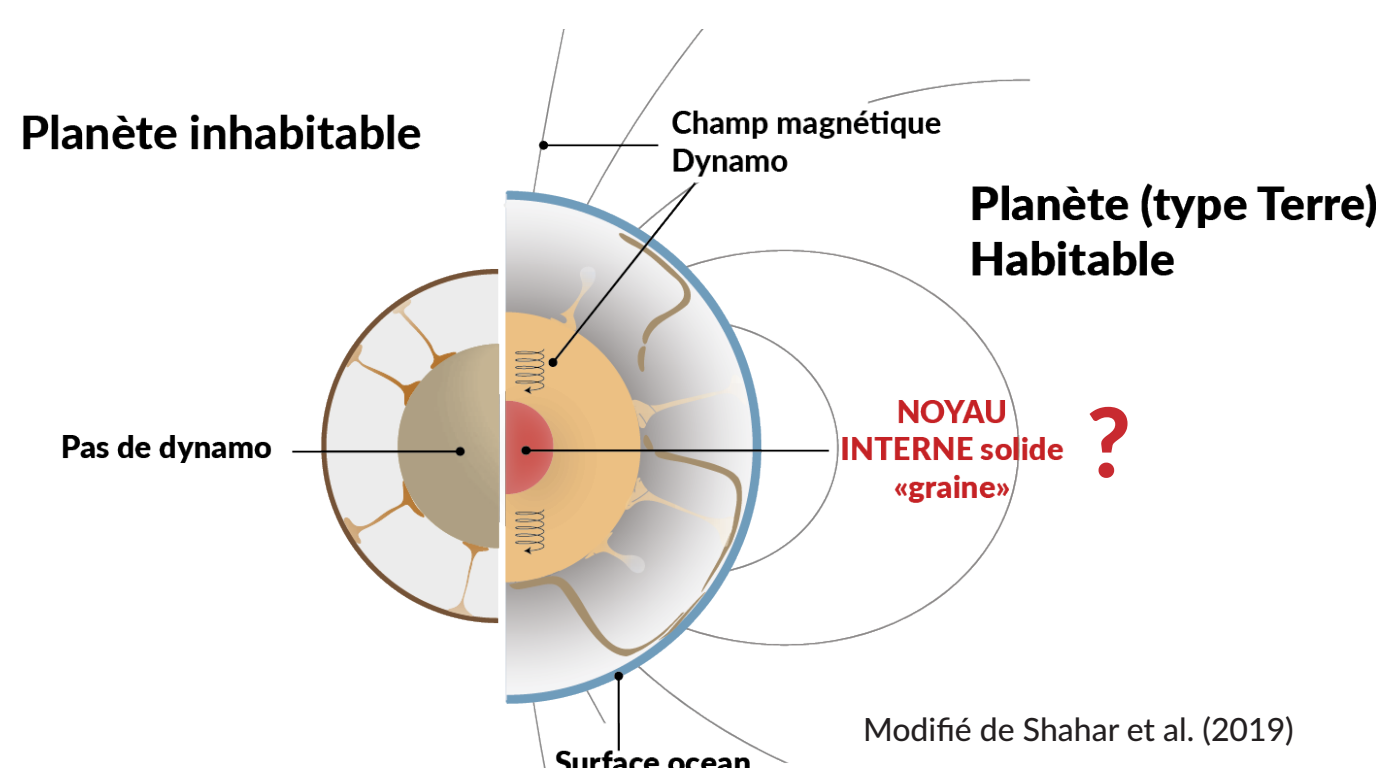
Quel est l'âge de la « graine » ?

• Le noyau interne ou graine, découvert en 1936 par la géophysicienne danoise Inge Lehmann, est la partie solide du noyau (1220 km de rayon). Il grandit de 1 mm par an.

• Nous savons que l'âge de la Terre est de ~4.5 Ga, mais nous ne connaissons toujours pas l'âge de son enveloppe la plus profonde : à partir de quand le cœur de notre planète s'est solidifié?

• L'histoire de la nucléation du noyau reste donc controversée avec des âges allant de 1.8 milliards à 300 millions d'années.

• Préciser l'âge de nucléation du noyau a des implications sur la géodynamique interne, l'histoire thermique et l'habitabilité de notre planète.



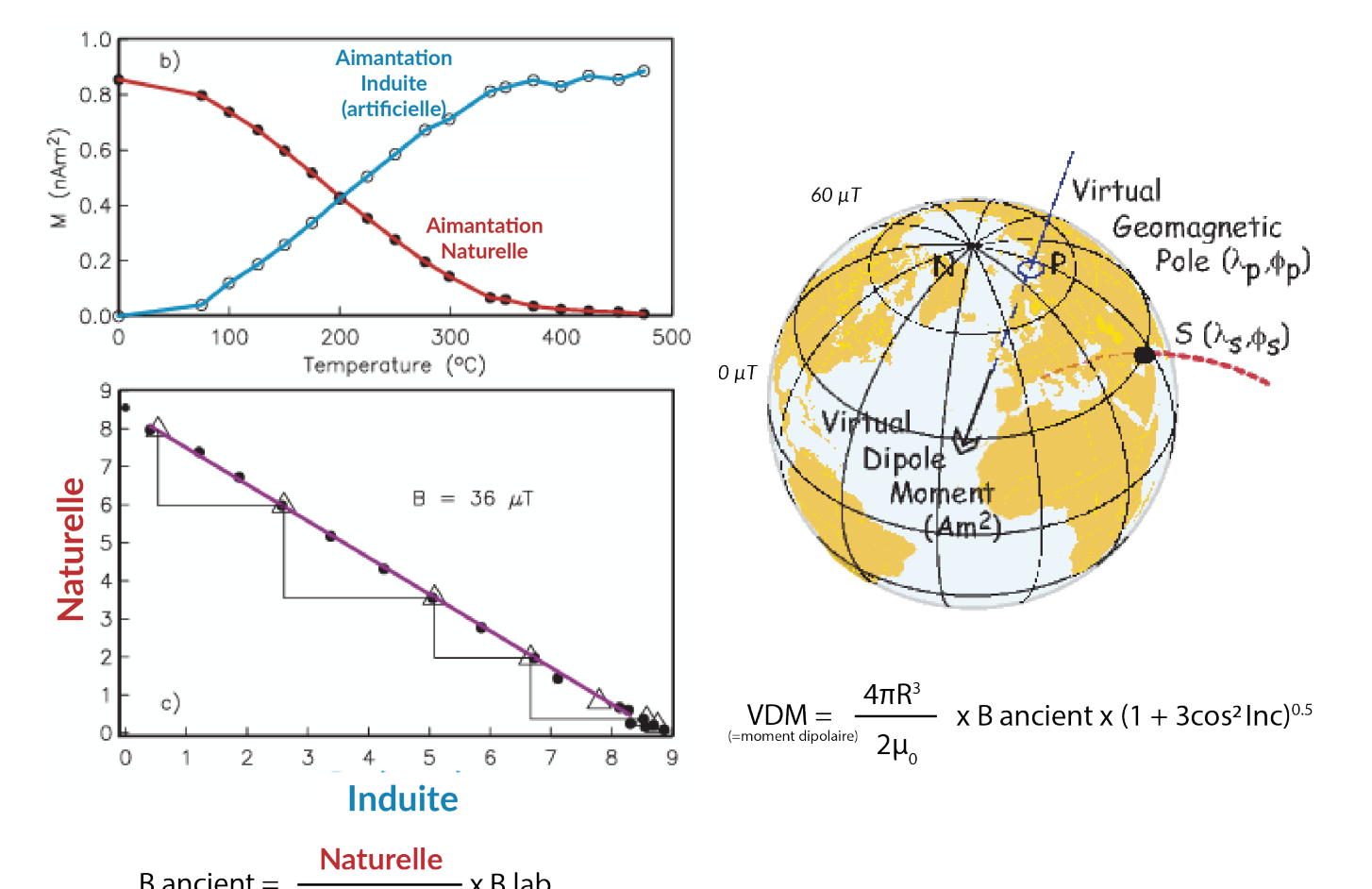
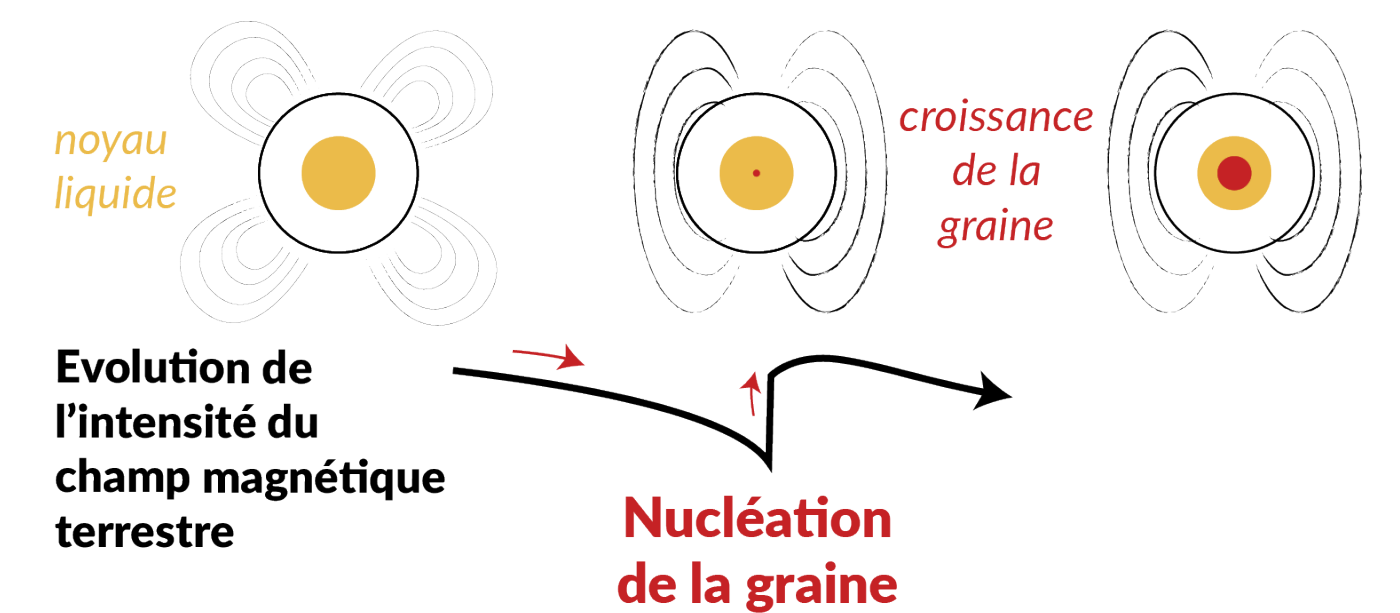
La Paléointensité - proxy de la dynamique du noyau terrestre

• Les mouvements de convection au sein du noyau externe (liquide) contrôlent l'intensité et la morphologie du champ magnétique terrestre.

• La nucléation du noyau interne a été une transition majeure dans l'histoire de la dynamo marquée par le démarrage de la convection compositionnelle (principal moteur de la géodynamo actuelle). En théorie, il est attendu de voir un saut majeur en intensité à la nucléation.

• Les données de paléointensité mesurées sur des roches anciennes en surface sont les seules données disponibles pour retracer l'histoire passée du noyau terrestre et la géodynamo.

• La méthode la plus utilisée pour mesurer la paléointensité est la méthode Thellier-Thellier (1959) qui consiste à comparer l'aimantation naturelle d'un échantillon avec une aimantation artificielle induite sous un champ connu en laboratoire.



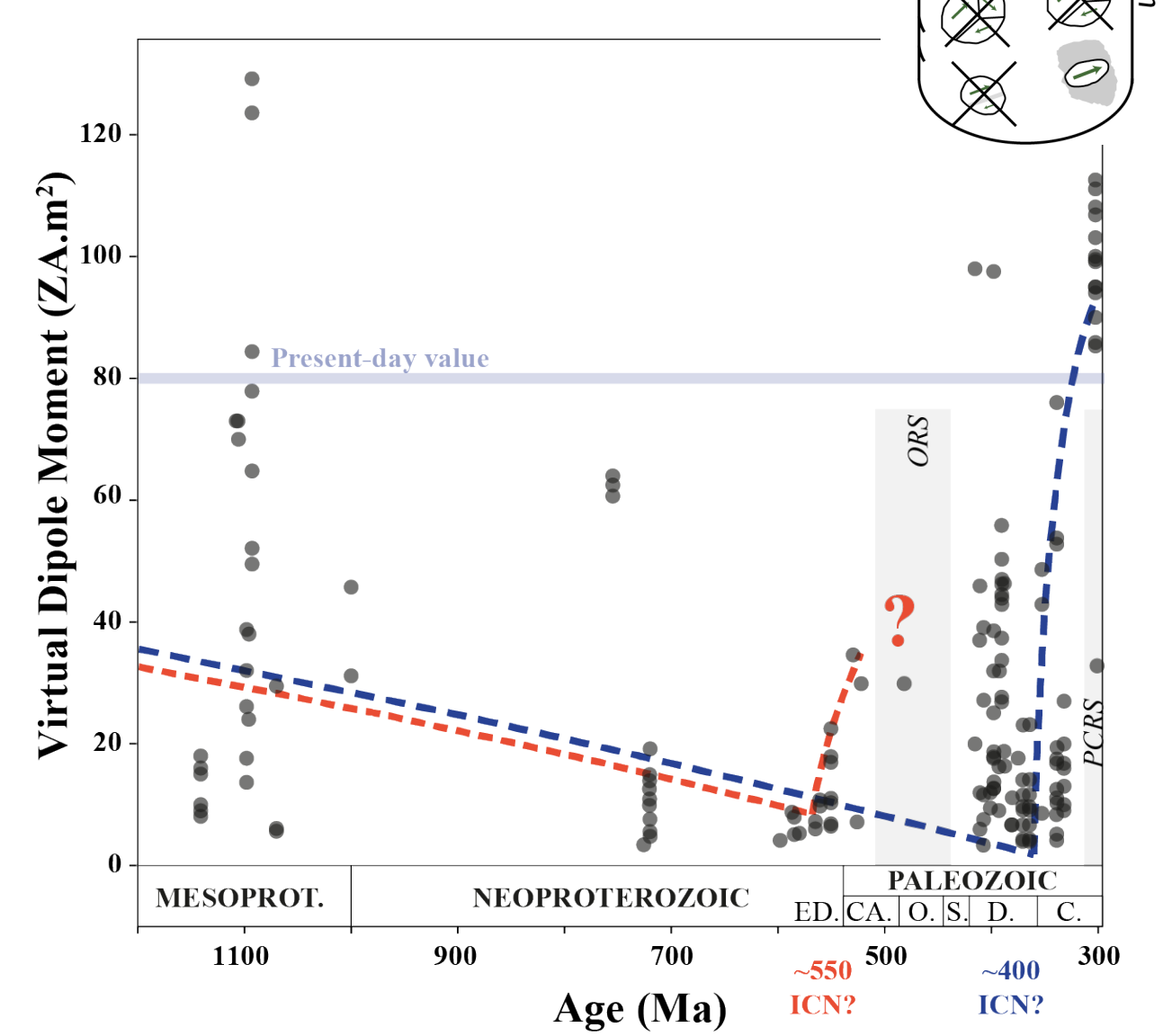
L'approche «monocristalline» vs «roche totale» : un vif débat !

Peut-on observer ce saut en intensité dans la base de donnée ?

- 99.4 % des données sont issues d'échantillons «roche totale»
- 2 périodes avec un champ faible - à ~550 Ma et ~400 Ma

=> Un potentiel biais lié à la paléointensité sur roches totales due à la présence de particules magnétiques non stables (Smirnov et al., 2017).

Approche conventionnelle sur «roche totale» ~11 cm³

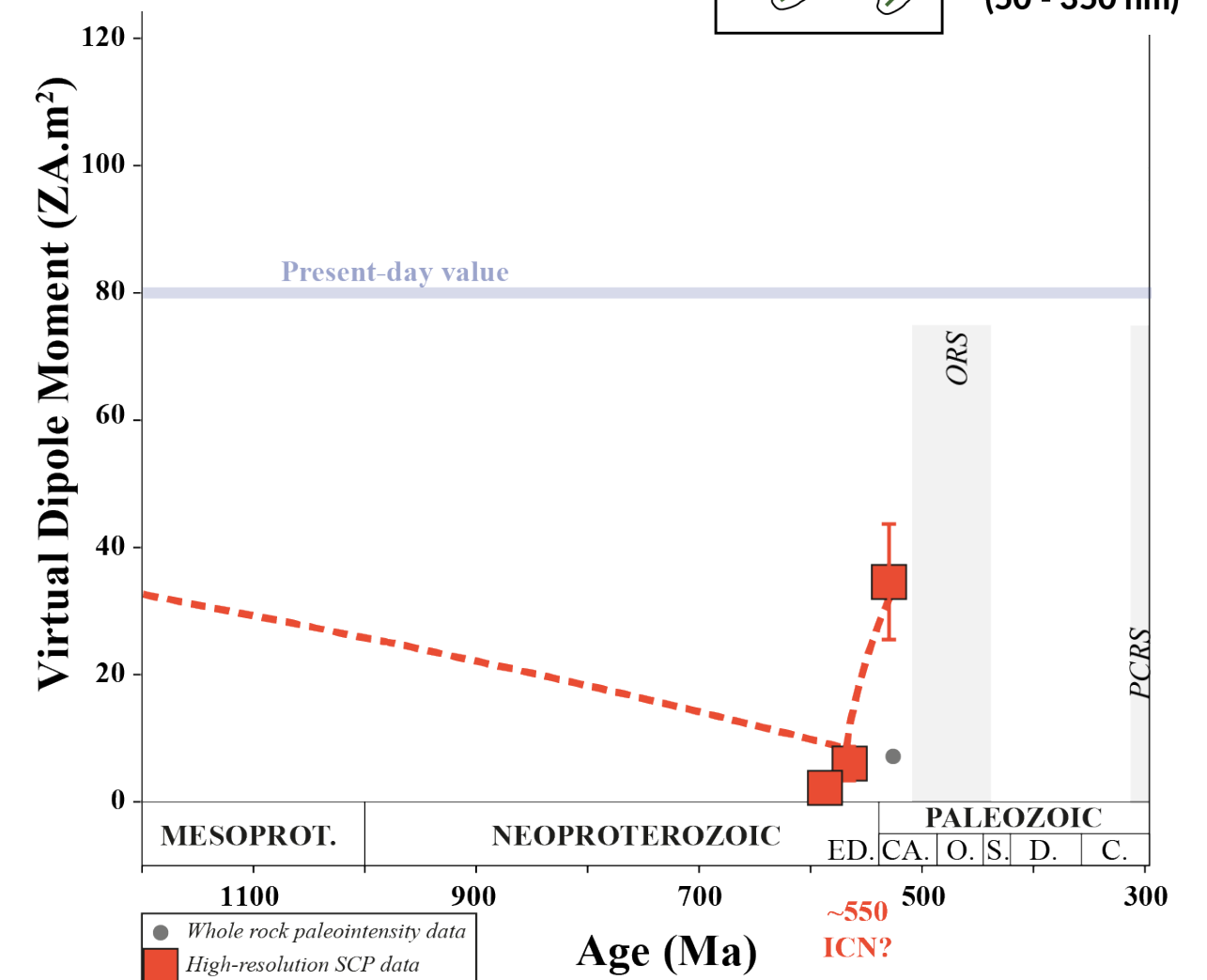


- Approche monocristalline (Kato et al., 2024 ; Tarduno et al., 2006) :
 - magnétites stables (monodomaine)
 - inclusions de magnétites protégées par le minéral hôte «non magnétique»

=> Un saut à ~550 Ma
L'ICN d'après Zhou et al. (2024) ?
=> trop peu de données ...
=> des expériences très longues ...
(un seul laboratoire spécialisé dans le monde, Rochester US)

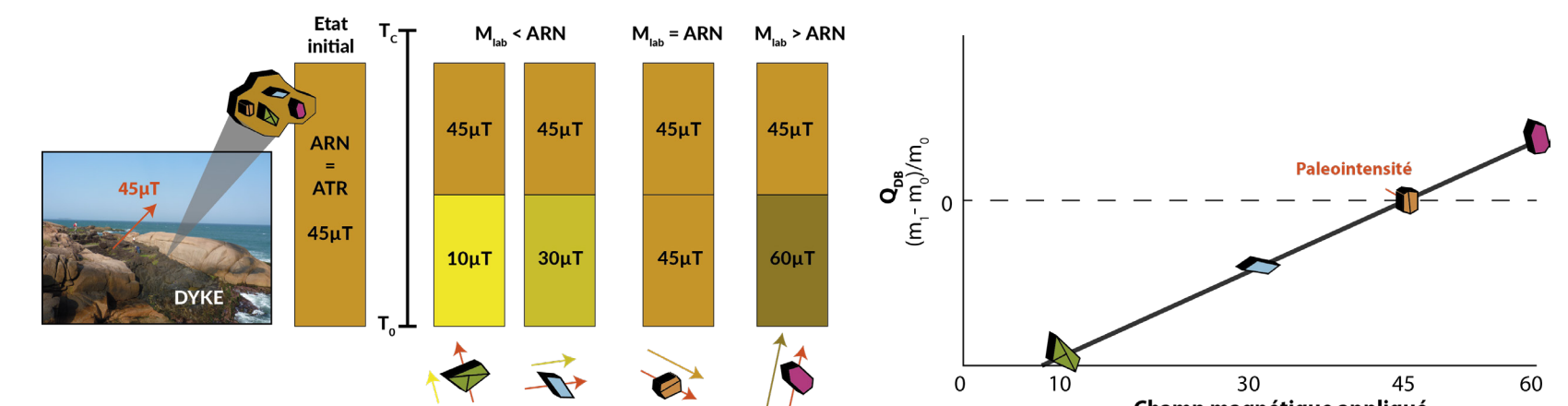
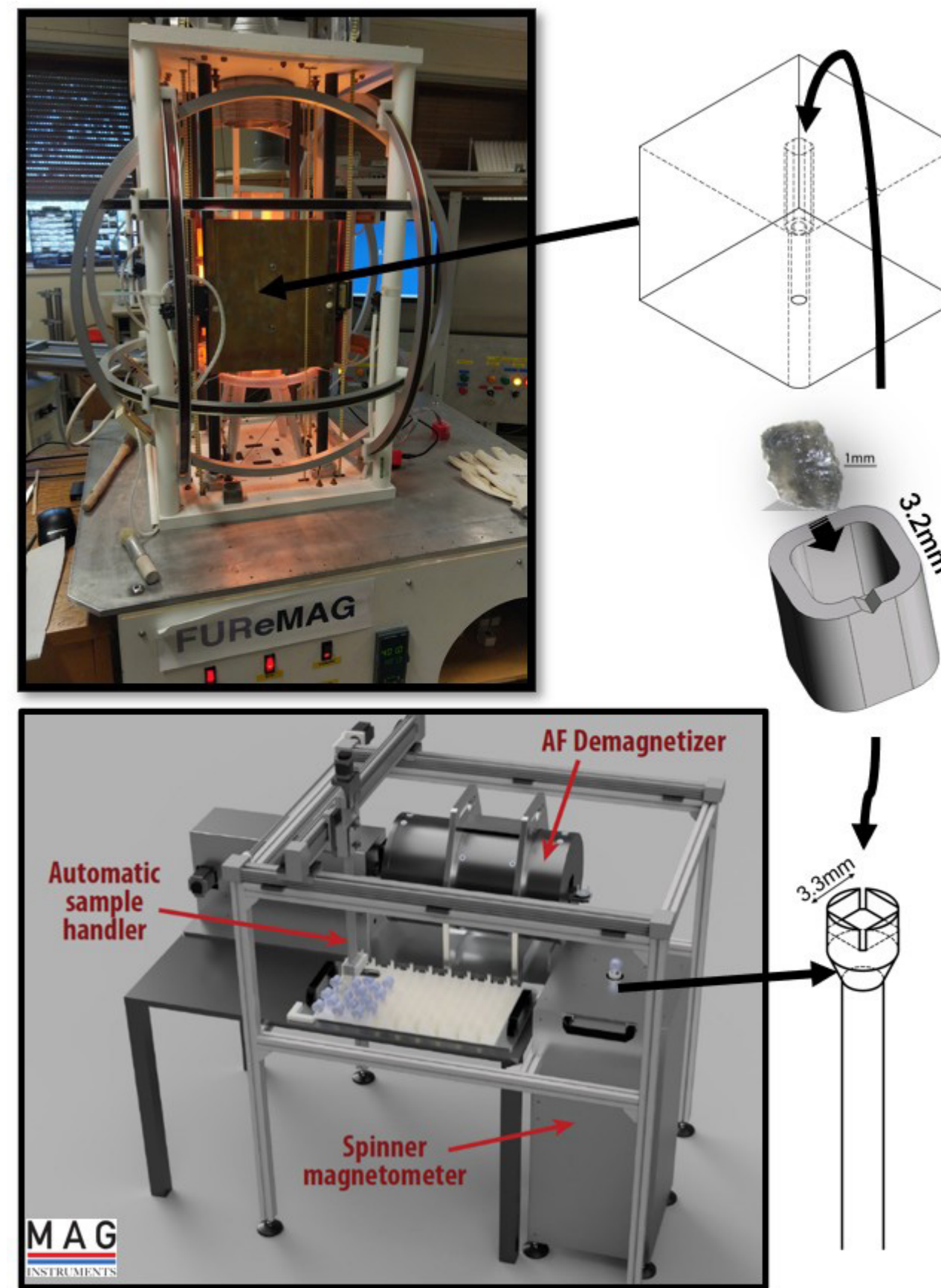
Approche monocristalline ~1-2 mm
~10⁶ particules dans un état stable (50 - 350 nm)

VERSUS



WP1. Une approche «groundbreaking» : Multispécimen-SCP

Un défi réalisable grâce à de nouvelles avancées technologiques...



Multispécimen-SCP : Combiner les bénéfices de l'approche monocristalline (SCP pour single crystal paleointensity) avec l'approche «multispécimen (x cristaux qui représentent une unité de refroidissement) (Fabian et Leonhardt, 2010).

- [1] Le FURMAG (T. Poidras, brevet UM 2012)
 - pas besoin de réorienter les monocristaux
 - four infrarouge ultra-rapide
 - peut aussi être utilisé pour du Thellier-Thellier (double-check)
- [2] Nouveau magnétomètre ultra-sensible quantique
 - le premier installé en France en 2025
 - sensibilité < 7 x 10⁻¹³ A.m² (pour les monocristaux)

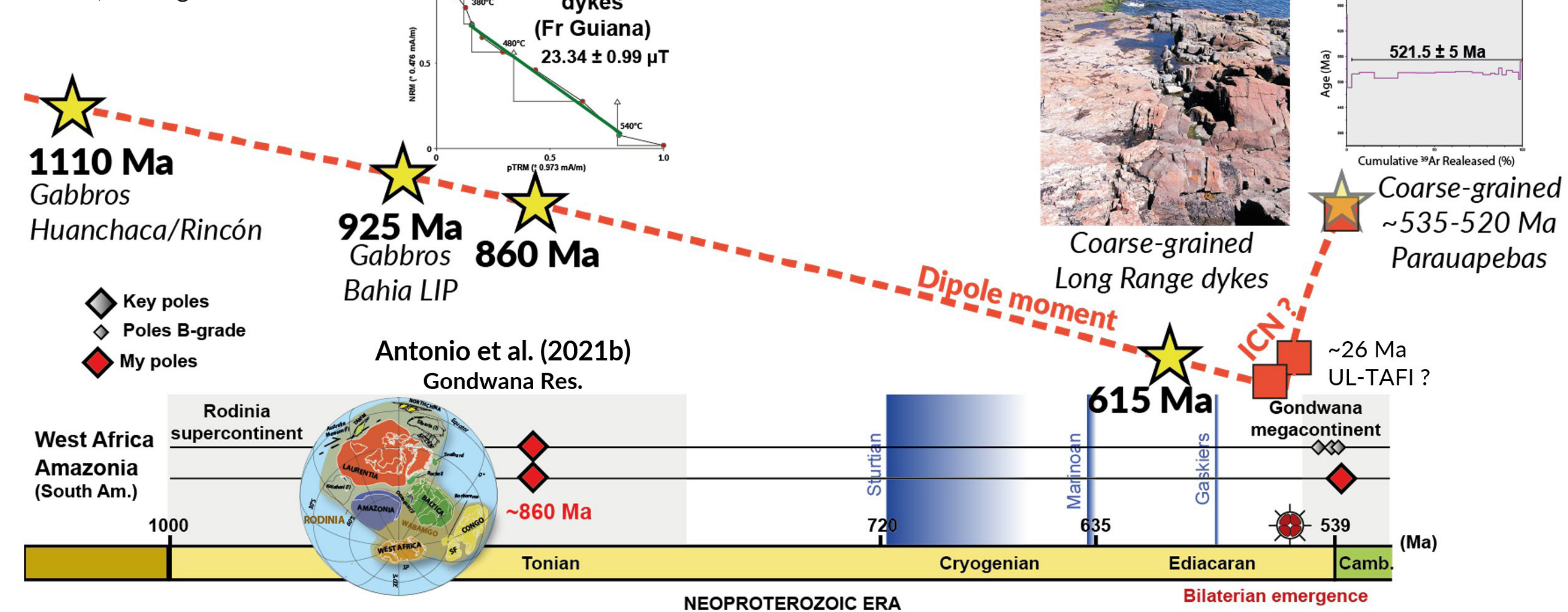
AVANTAGES de cette nouvelle approche :

- plus rapide que Thellier-Thellier
- flexible sur l'état de domaine (SD-PSD)
- pas d'anisotropie de rémanence

WP2. Tester l'hypothèse d'une nucléation à l'Ediacarien

QUID du champ magnétique au cours du Néoprotérozoïque ?

Collaborations : Brésil, US, Canada, Norvège



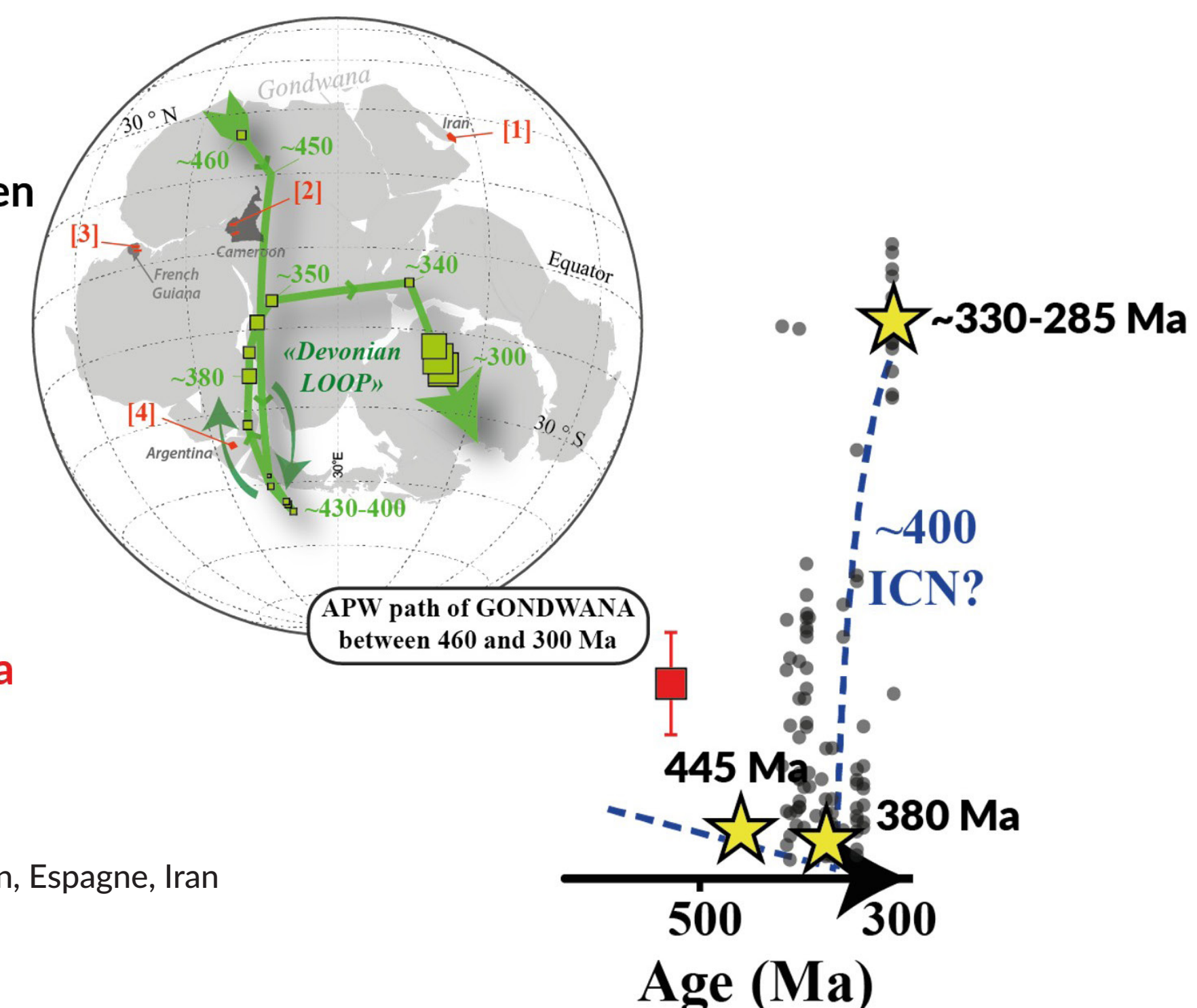
WP3. Une nouvelle base de donnée pmag au Paléozoïque

Et après la nucléation de la graine ?

- De Nouvelles données en directions et en paléointensités pour le mégacontinent Gondwana entre 500 et 285 Ma.

- Evaluer la morphologie du champ magnétique au Paléozoïque
- Tester une transition majeure à ~320 Ma (lien avec l'ICN ?)

Collaborations : Guyane française, Argentine, Cameroun, Espagne, Iran



Un laboratoire de pointe en « magnétisme des roches » grâce à l'ERC et l'UM



- >500 k€ d'investissement : instruments + infrastructures
- Une équipe dédiée à la Recherche et la Formation (chercheurs, doctorants, étudiants, ingénieur)

=> Un laboratoire expérimental dynamique et attractif !
(Programme de soutien à la Recherche, EXPLORE, MAKIT...)

Références

Fabian, K., Leonhardt, R., 2010. Multiple-specimen absolute paleointensity determination: an optimal protocol including pTRM normalization, domain-state correction, and alteration test. Earth and Planetary Science Letters 297, 84-94.
Kato, C., Usui, Y., Sato, M., 2024. A brief review of single silicate crystal paleointensity: rock-magnetic characteristics, mineralogical backgrounds, methods and applications. Earth, Planets and Space 76, 49.
Lloyd, S.J., 2021. Palaeomagnetic field behaviour in the Neoproterozoic: providing constraints on Inner Core Nucleation. The University of Liverpool (United Kingdom).
Poidras, T., Nicol, P., Camps, P., 2012. #1256194. Device for conditioning sample of e.g. rock to be analyzed e.g. to determine magnetic field at level of geological times, has application assembly generating magnetic field desired in volume, and control unit adjusting intensity of field. French National Centre for Scientific Research, University of Montpellier. <https://app.dimensions.ai/details/patent/FR-2992731-A1>, France.
Shahar, A., Driscoll, P., Weinberger, A., Cody, G., 2019. What makes a planet habitable? Science 364, 434-435.
Smirnov, A.V., Kulakov, E.V., Foucher, M.S., Bristol, K.E., 2017. Intrinsic paleointensity bias and the long-term history of the geodynamo. Science Advances 3, e1602306.
Tarduno, J.A., Cottrell, R.D., Smirnov, A.V., 2006. The paleomagnetism of single silicate crystals: Recording geomagnetic field strength during mixed polarity intervals, superchrons, and inner core growth. Reviews of Geophysics 44.
Thellier, E., Thellier, O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. Annales Geophysicae 15, 285-376.
Zhou, T., Ibañez-Mejía, M., Bono, R.K., Cottrell, R.D., Bleeker, W., Kodama, K.P., Huang, W., Blackman, E.G., Nimmo, F., Smirnov, A.V., Tarduno, J.A., 2024. Magnetization and age of ca. 544 Ma syenite, eastern Canada: Evidence for renewal of the geodynamo. Earth and Planetary Science Letters 639, 118758.