

Unravelling the first Bubbles of the Earth Inner Core History

Déchiffrer les premiers gazouillis de la «graine»

Paul Yves Jean ANTONIO
Contractuel



Géosciences Montpellier. Université de Montpellier



Challenge

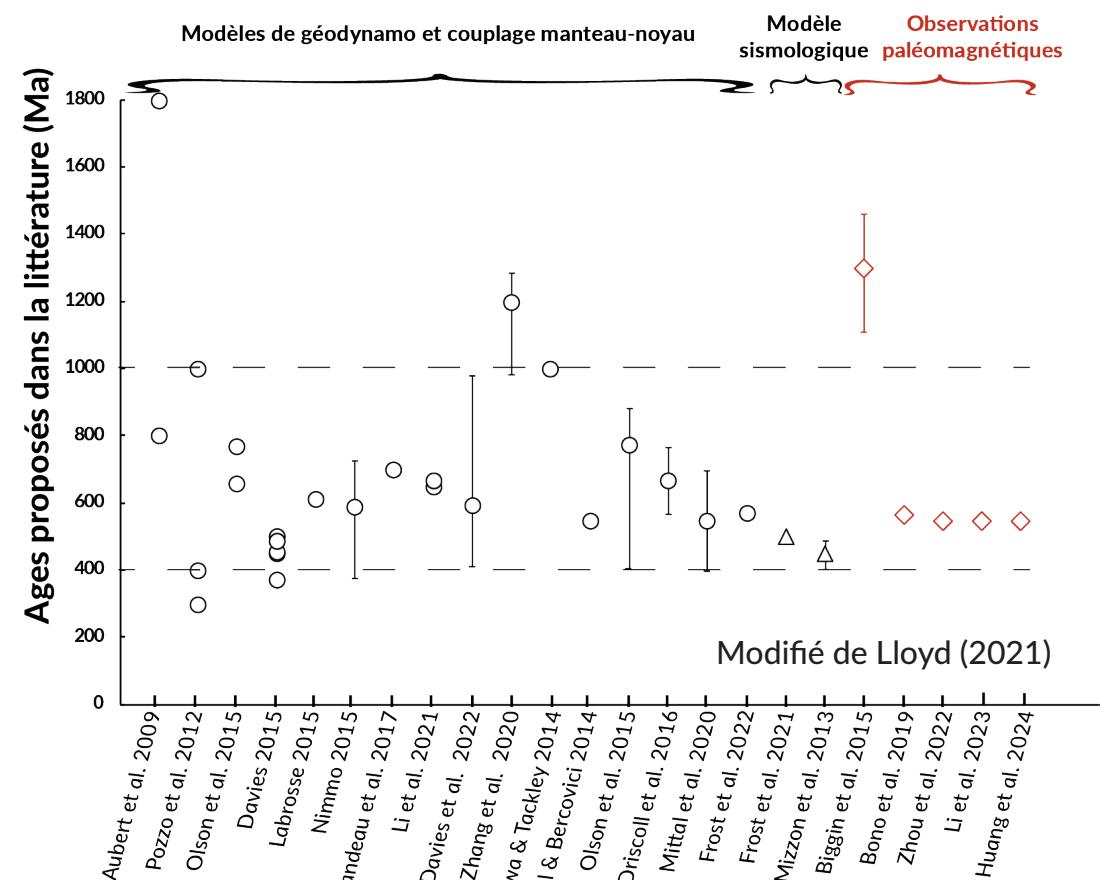
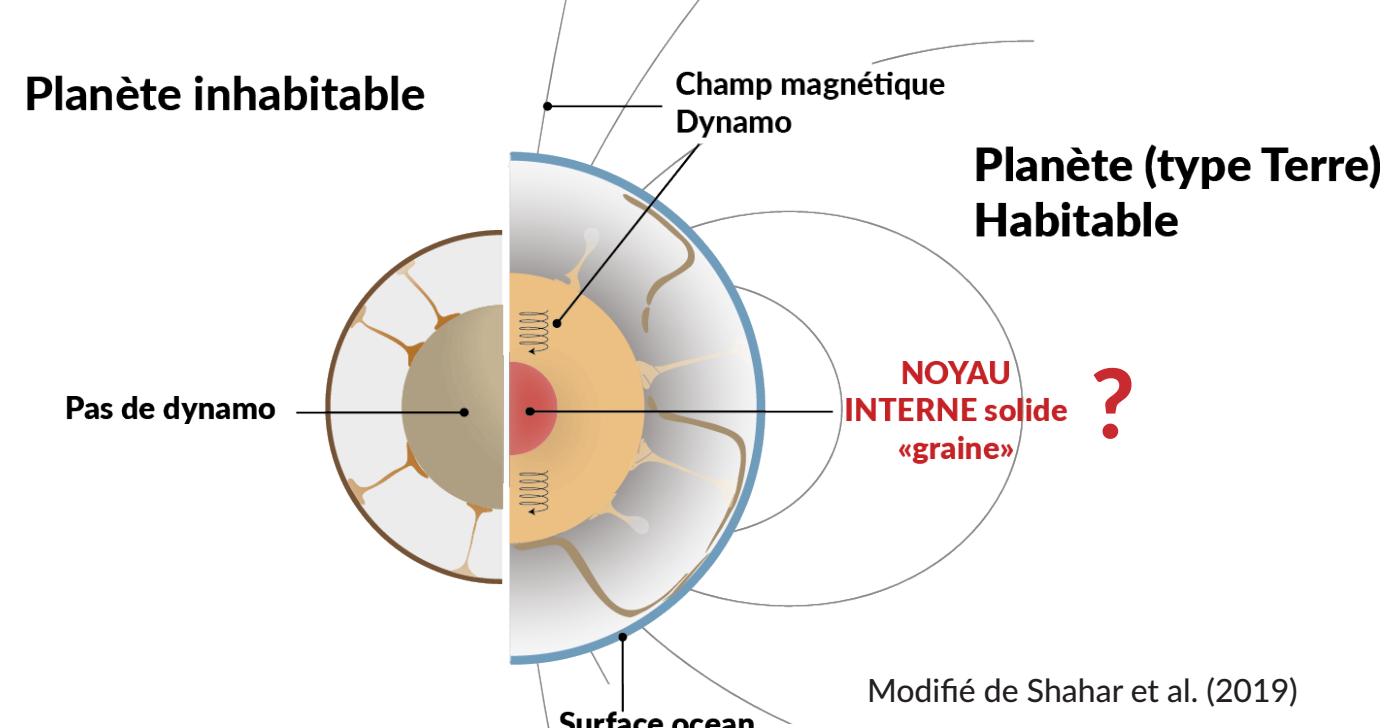
Quel est l'âge de la « graine » ?

- 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.

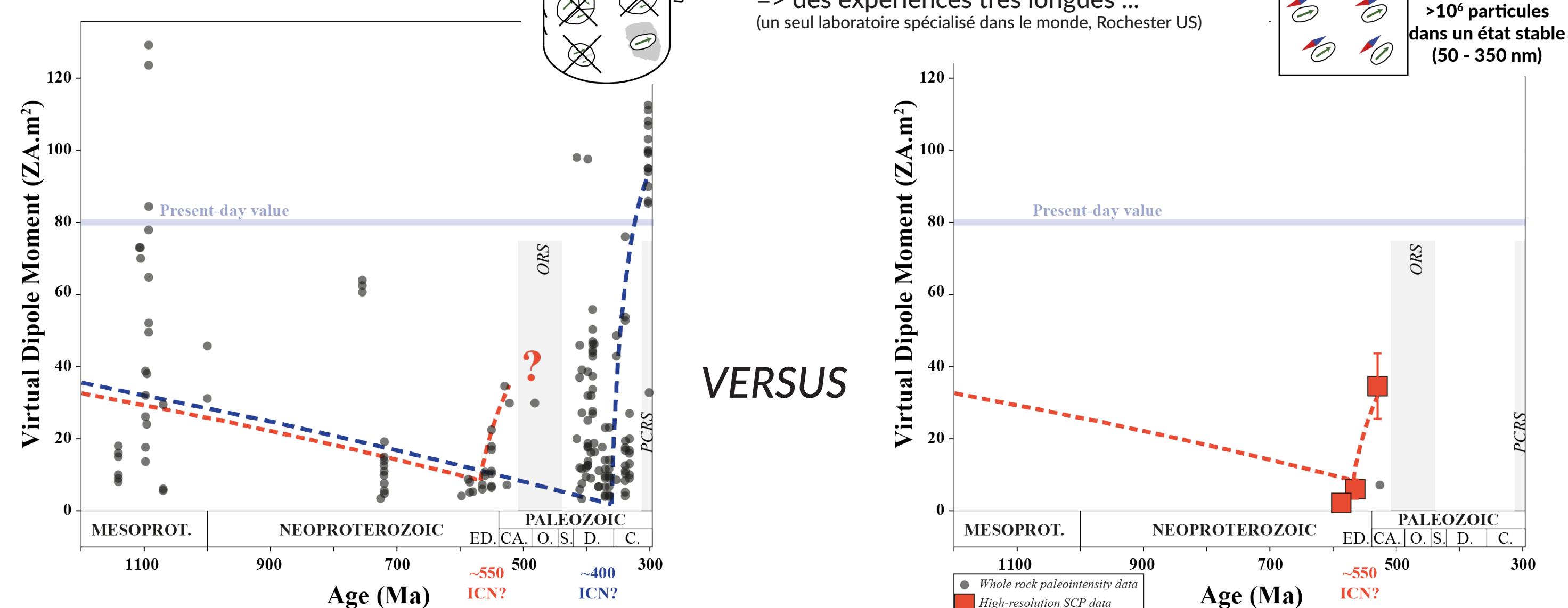


L'approche «monocristalline» vs «roche totale» : un vif débat !

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 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)



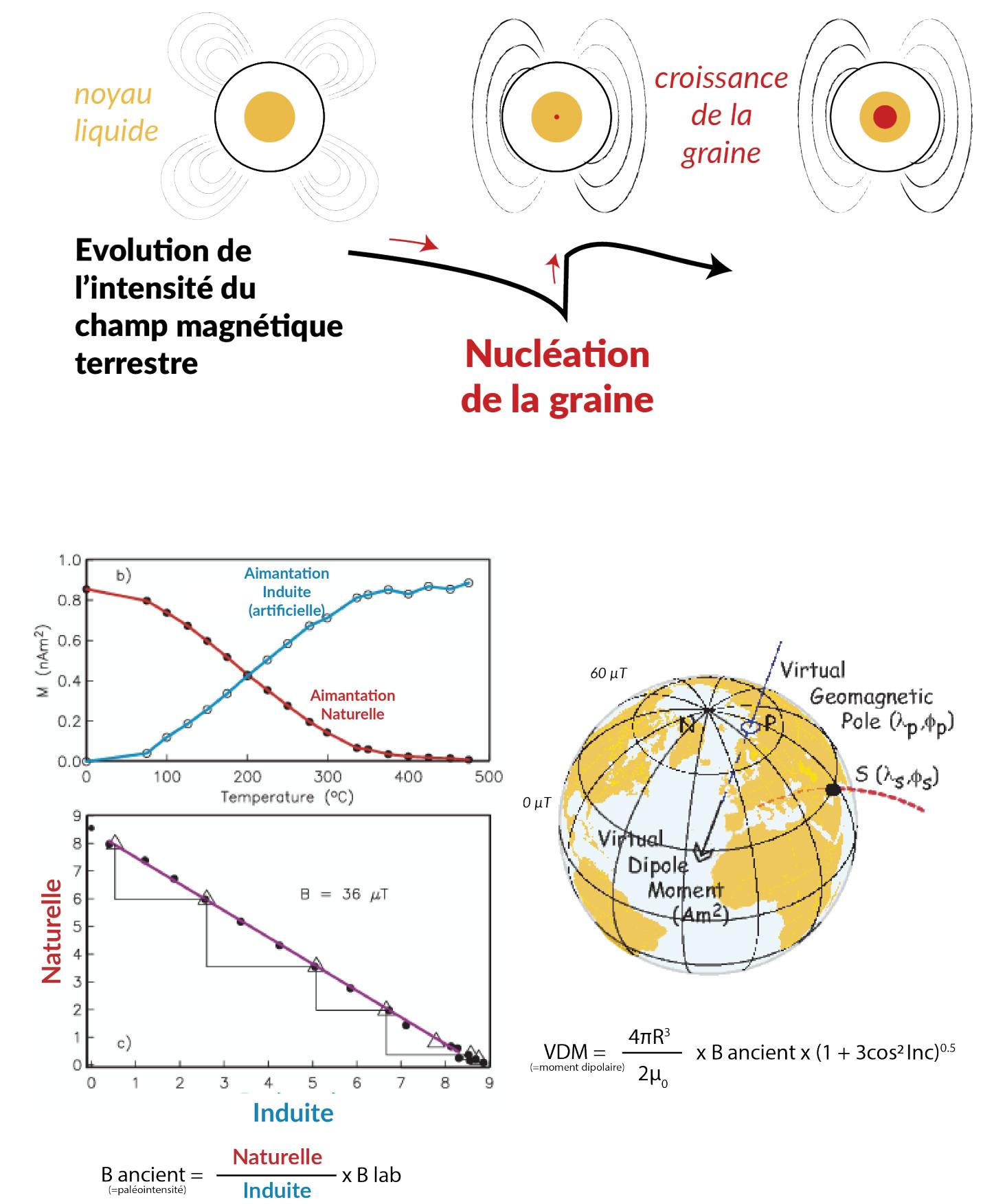
La Paléointensité - proxy de la dynamique du noyau terrestre

- 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.

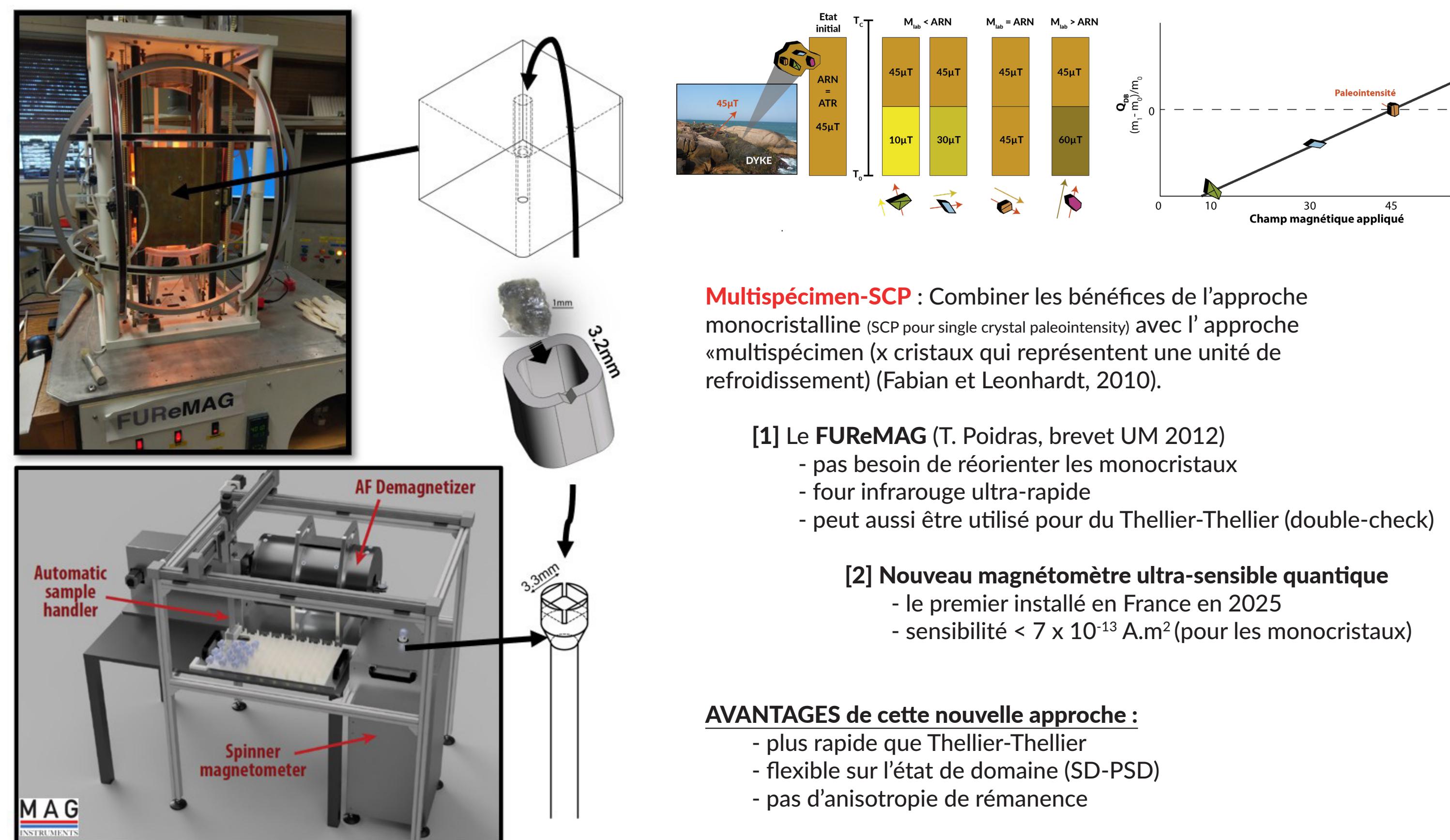
- Les données de paléointensité mesurées sur des roches anciennes en surface sont les seules données disponibles pour retracer l'histoire passée du noyau terrestre et la géodynamo.

- 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.



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 FURReMAG (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 < $7 \times 10^{-13} \text{ A.m}^2$ (pour les monocristaux)

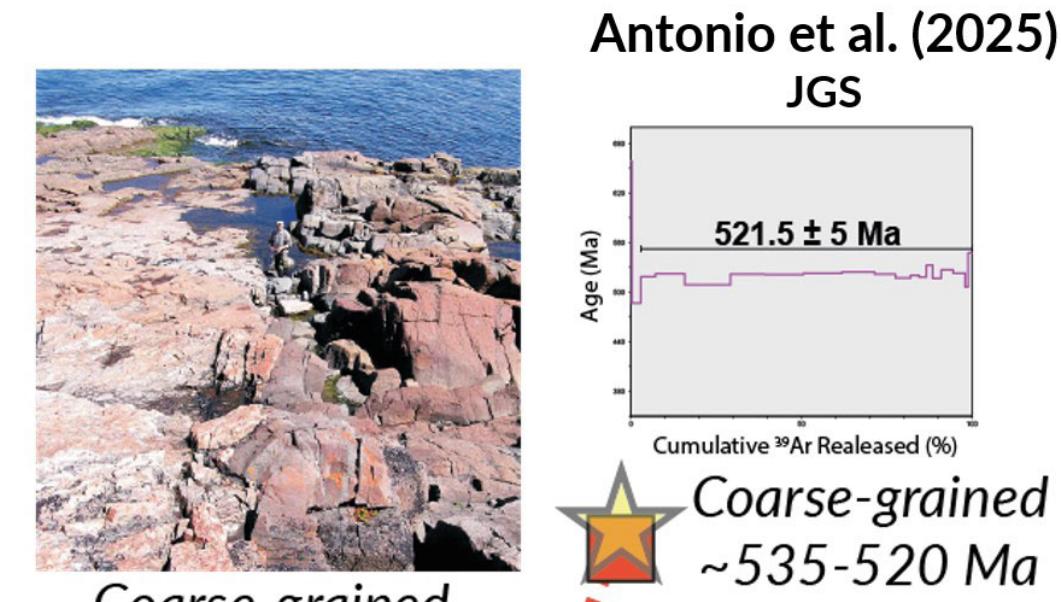
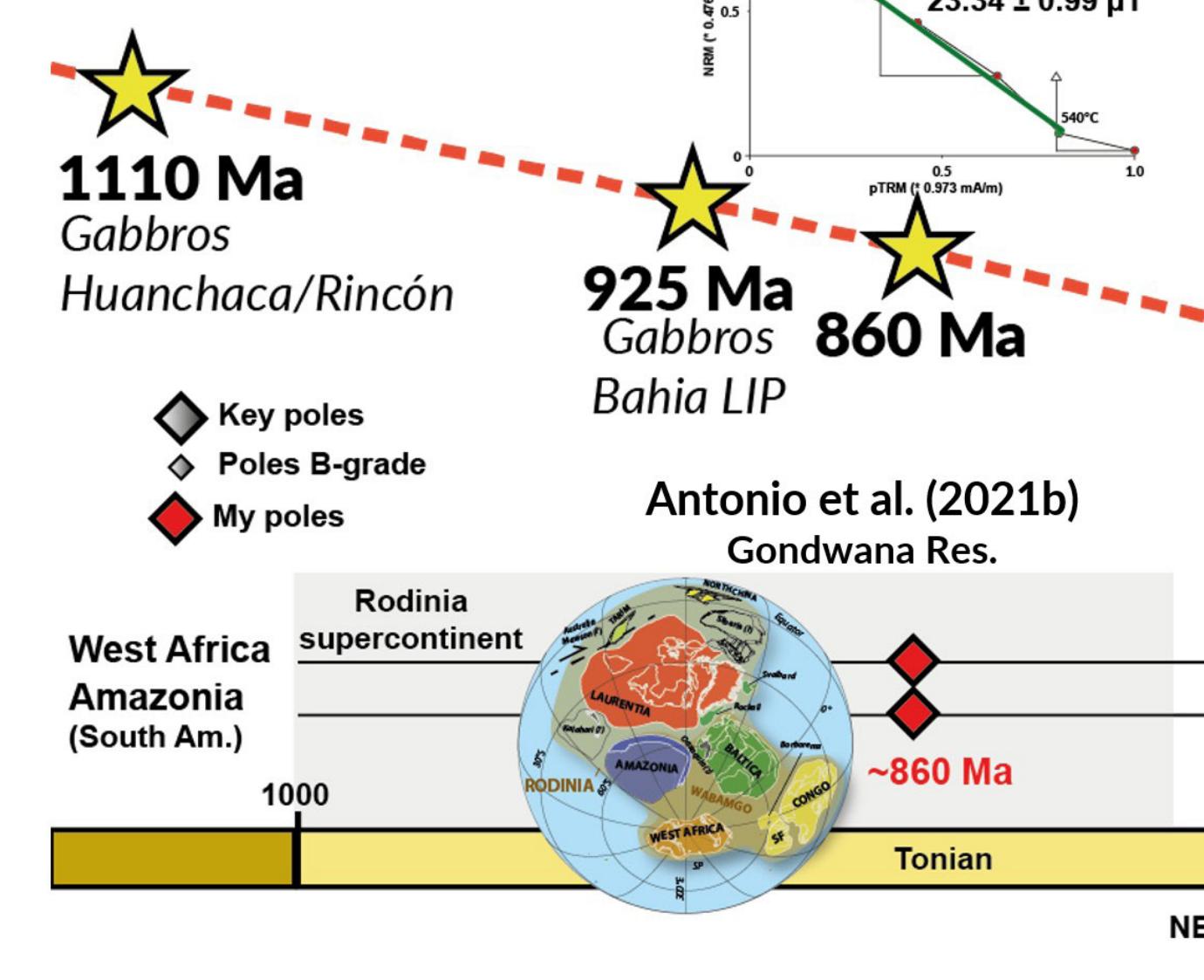
AVANTAGES de cette nouvelle approche :

- 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 Néoproterozoïque ?

Collaborations : Brésil, US, Canada, Norvège



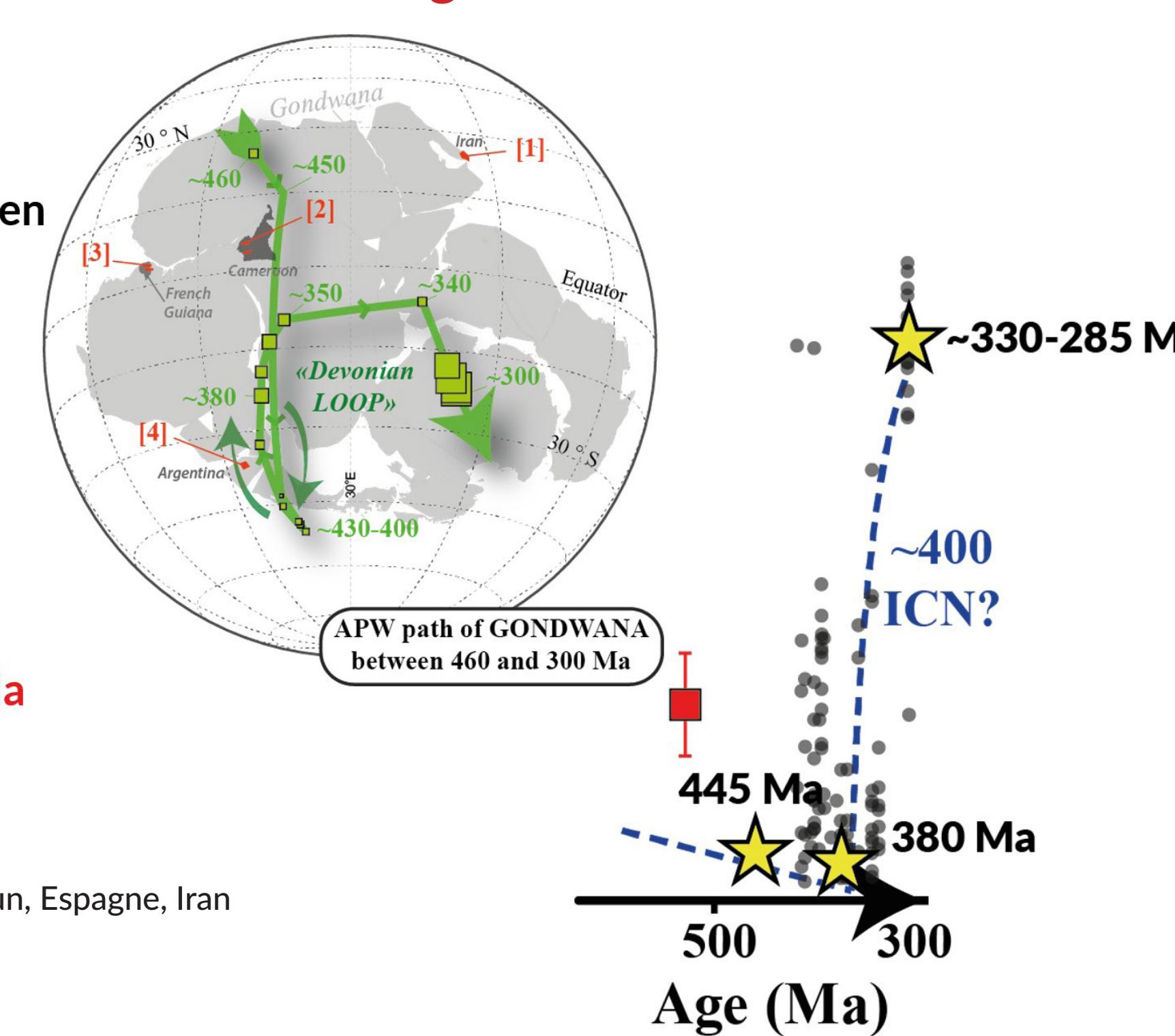
WP3. Une nouvelle base de donnée pmag au Paléozoïque

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 ?)



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

- This project has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's "2021-2027 Horizon Europe" Grant agreement No101117155. Views and opinions expressed are however those of the author only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.
- 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.
- Shahar, A., Driscoll, P., Weinberger, A., Cottrell, R.D., 2019. What makes a planet habitable? *Science* 364, 424–425.
- 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, É., Thellier, O., 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Annales Geophysicae* 15, 285–376.
- Zhou, T., Ibarra-Mejia, M., Bono, R.K., Cottrell, R.D., Bleeker, W., Kodama, K.P., Huang, W., Blackman, E.G., Smirnov, A.V., Tarduno, J.A., 2024. Magnetization and age of ca. 544 Ma synrite, eastern Canada: Evidence for renewal of the geodynamo. *Earth and Planetary Science Letters* 639, 118758.