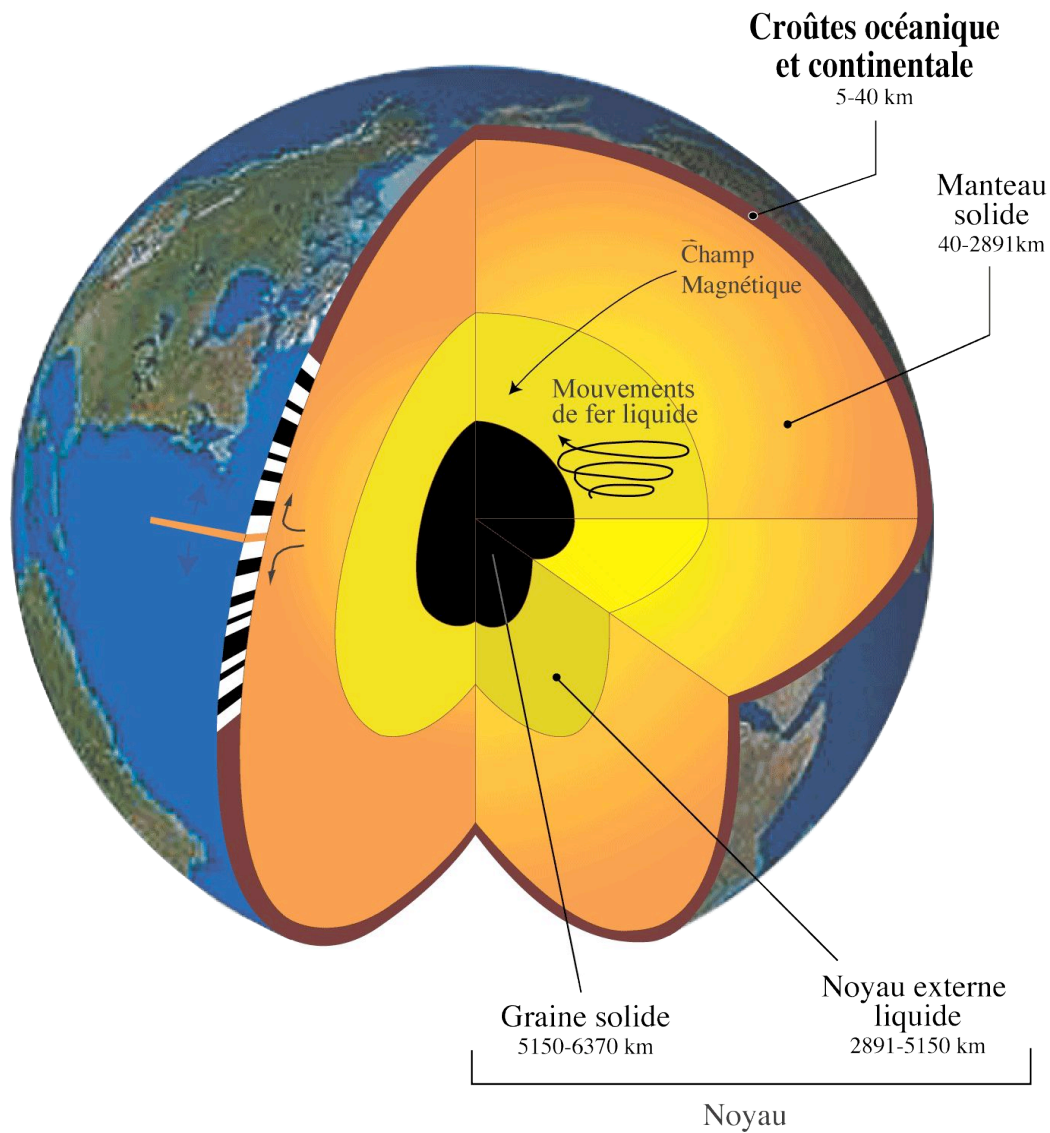


METHODES FONDÉES SUR LE MAGNÉTISME TERRESTRE

1. Présentation du champ magnétique terrestre (CMT)



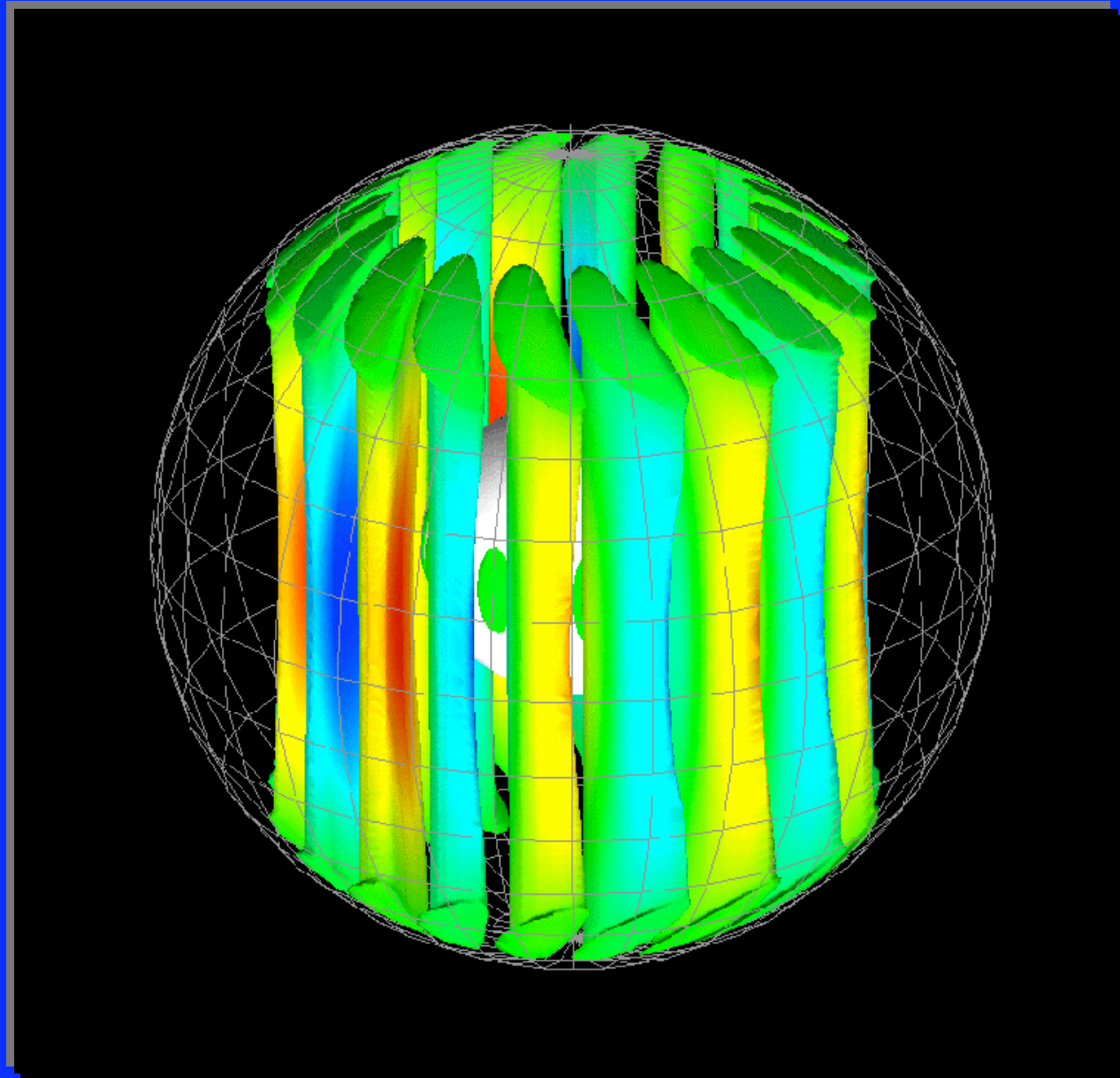
Le champ magnétique observé à la surface de la terre trouve principalement son origine dans le noyau terrestre

➔ Existence liée aux mouvements de fer liquide conducteur dans le noyau

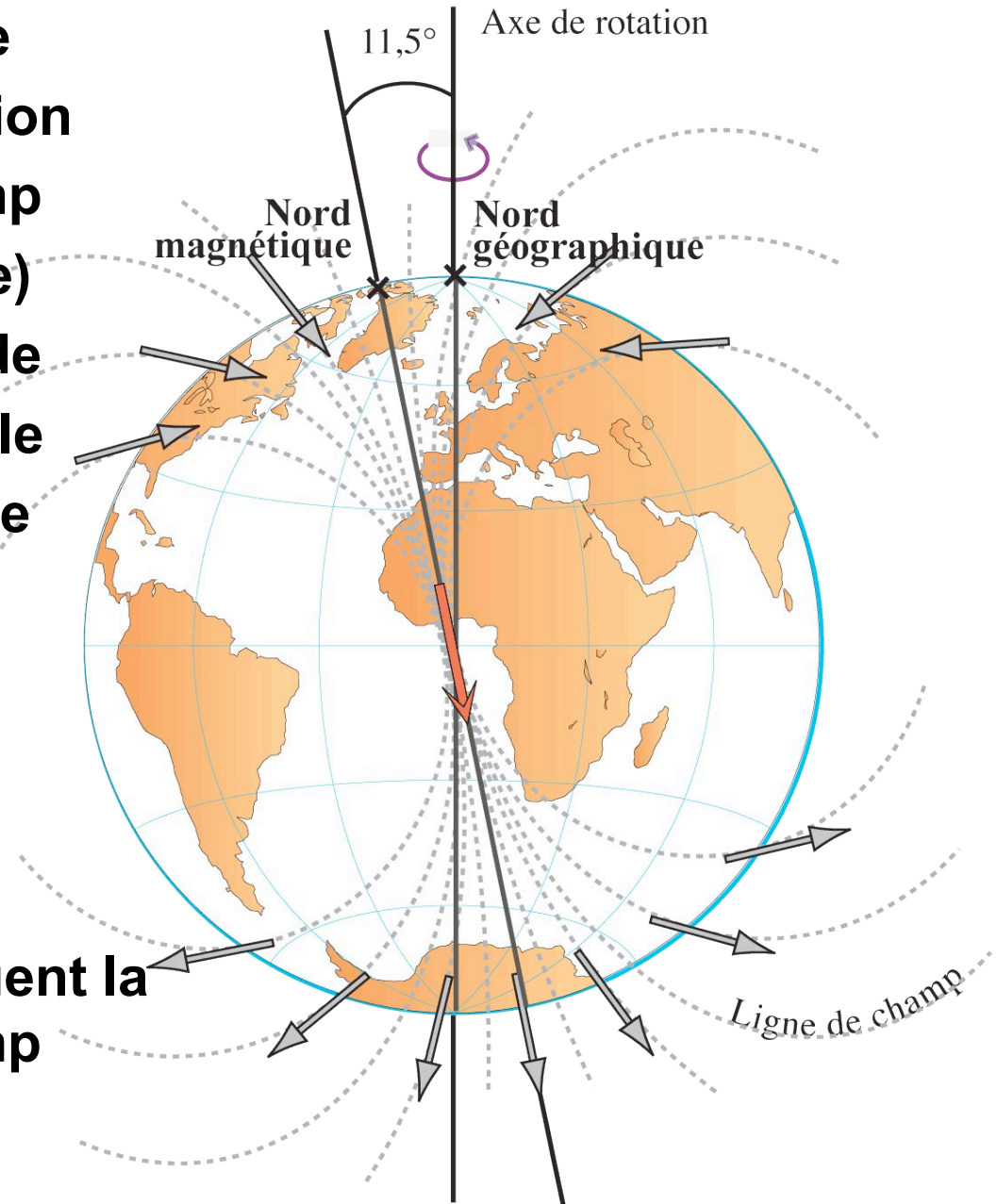
Convection en colonnes dans le noyau

Un calcul de
magnéto-hydro
dynamique

Les cylindres
sont tangents
à la graine
solide



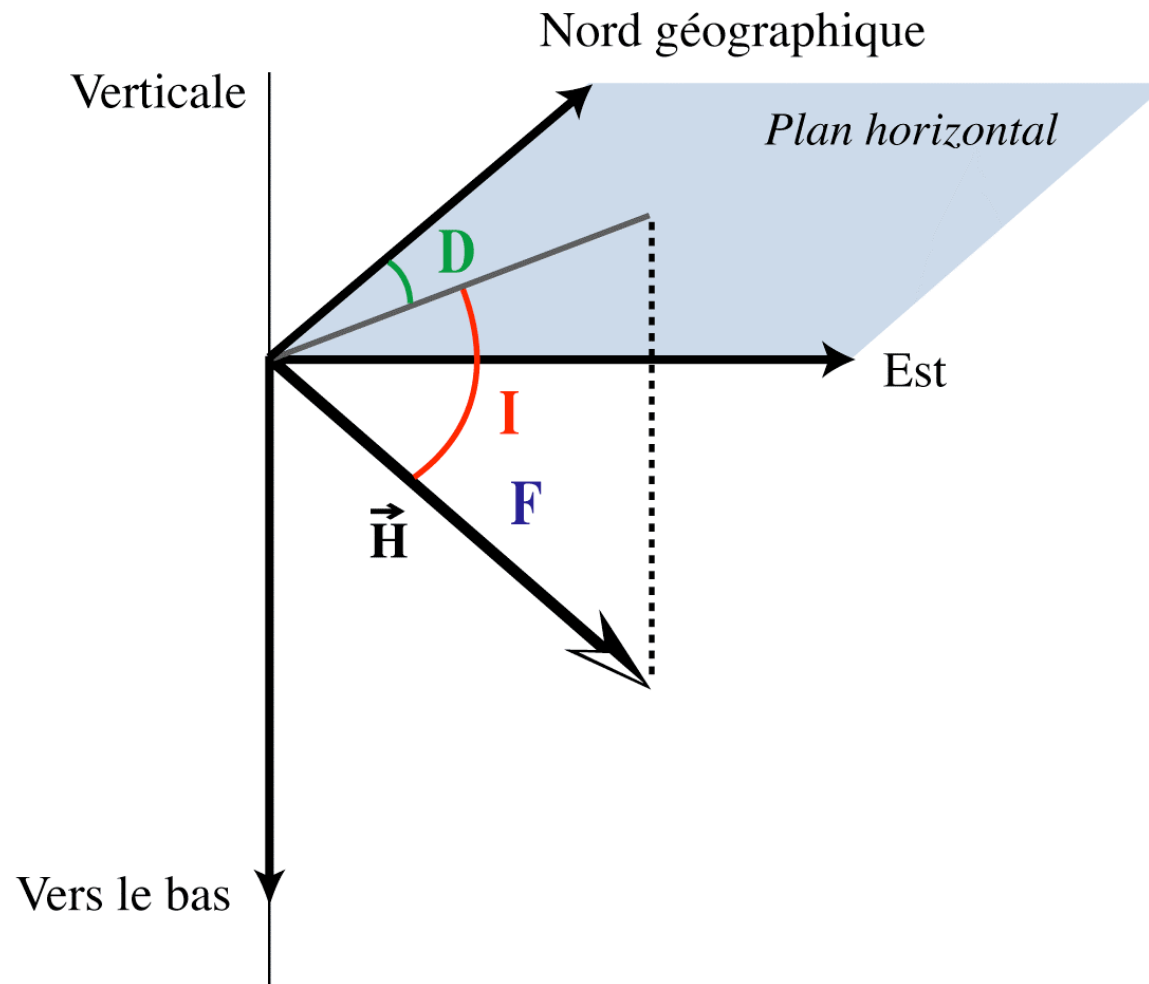
Le champ géomagnétique est en première approximation identique (à 90%) au champ créé par un aimant (dipole) qui serait placé au centre de la terre et incliné d'un angle de 11.5° par rapport à l'axe de rotation de la terre.



⇒ Les 10% restants constituent la partie non dipolaire du champ géomagnétique

Le champ magnétique est un vecteur que l'on peut définir par:

- son intensité **F**
- sa direction décrite elle-même par deux angles :
l'inclinaison **I** et la déclinaison **D**



METHODES FONDÉES SUR LE MAGNÉTISME TERRESTRE

2. Variations temporelles du CMT

Le champ magnétique terrestre
varie dans le temps et dans l'espace

Les mesures directes du champ géomagnétique

⇒ Sur le champ actuel : satellites



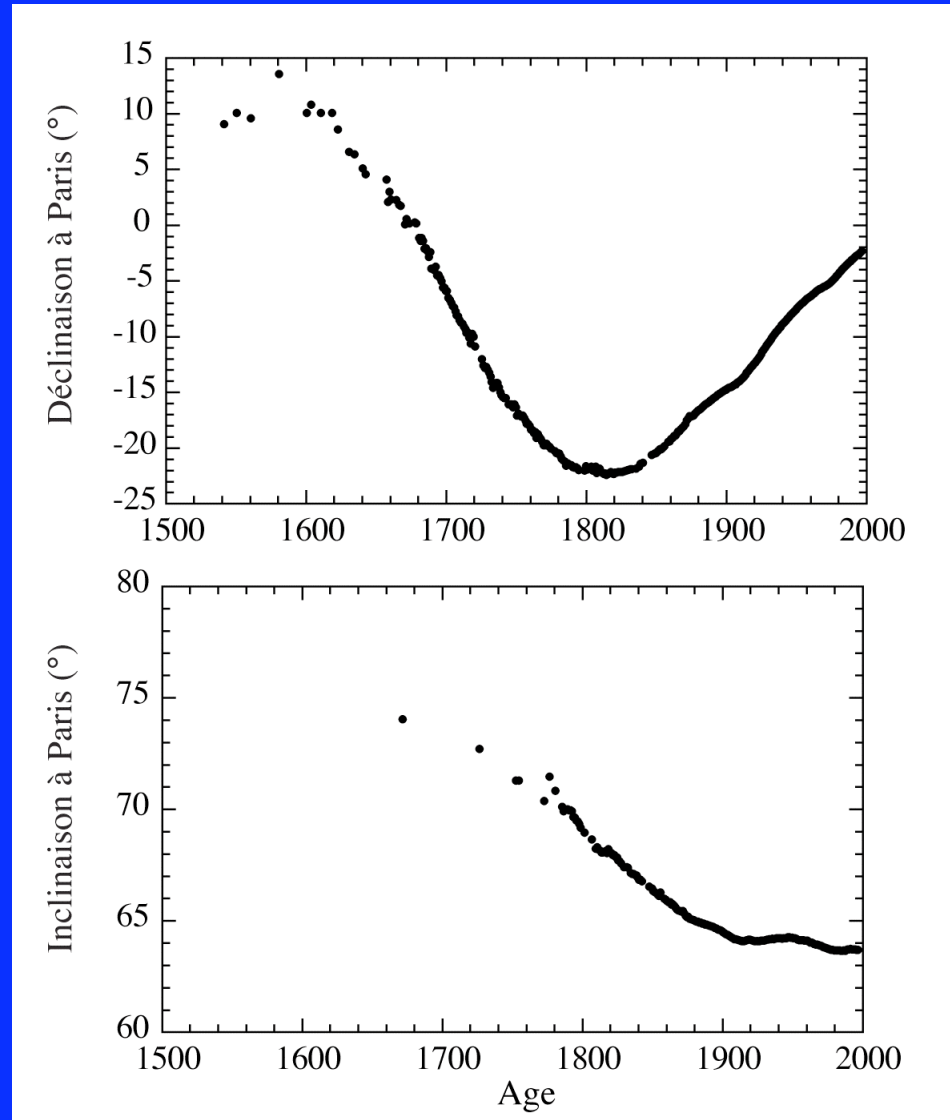
Satellite Magsat

⇒ Sur le champ au travers des 3-4 derniers siècles
Géomagnétisme historique



Observatoire de Chambon-la-forêt

Mesures directes des directions du champ géomagnétique effectuées à Paris depuis 400 ans (Alexandrescu et al. 1997)



Au delà: mesures indirectes du champ géomagnétique

Au delà: mesures indirectes du champ géomagnétique :

Variations de D, I et inversions

METHODES FONDÉES SUR LE MAGNÉTISME TERRESTRE

3. Aimantation des roches

Retrouver une information sur le champ magnétique ancien
grâce à l'aimantation des roches...

⇒ Au travers des derniers millénaires
Archéomagnétisme



⇒ Aux échelles des temps géologiques
Paléomagnétisme



Toutes les roches qui contiennent des oxydes de fer sont aimantées et fossilisent la direction du champ magnétique appliquée au moment de leur formation

Diagramme Ternaire, oxydes de fer

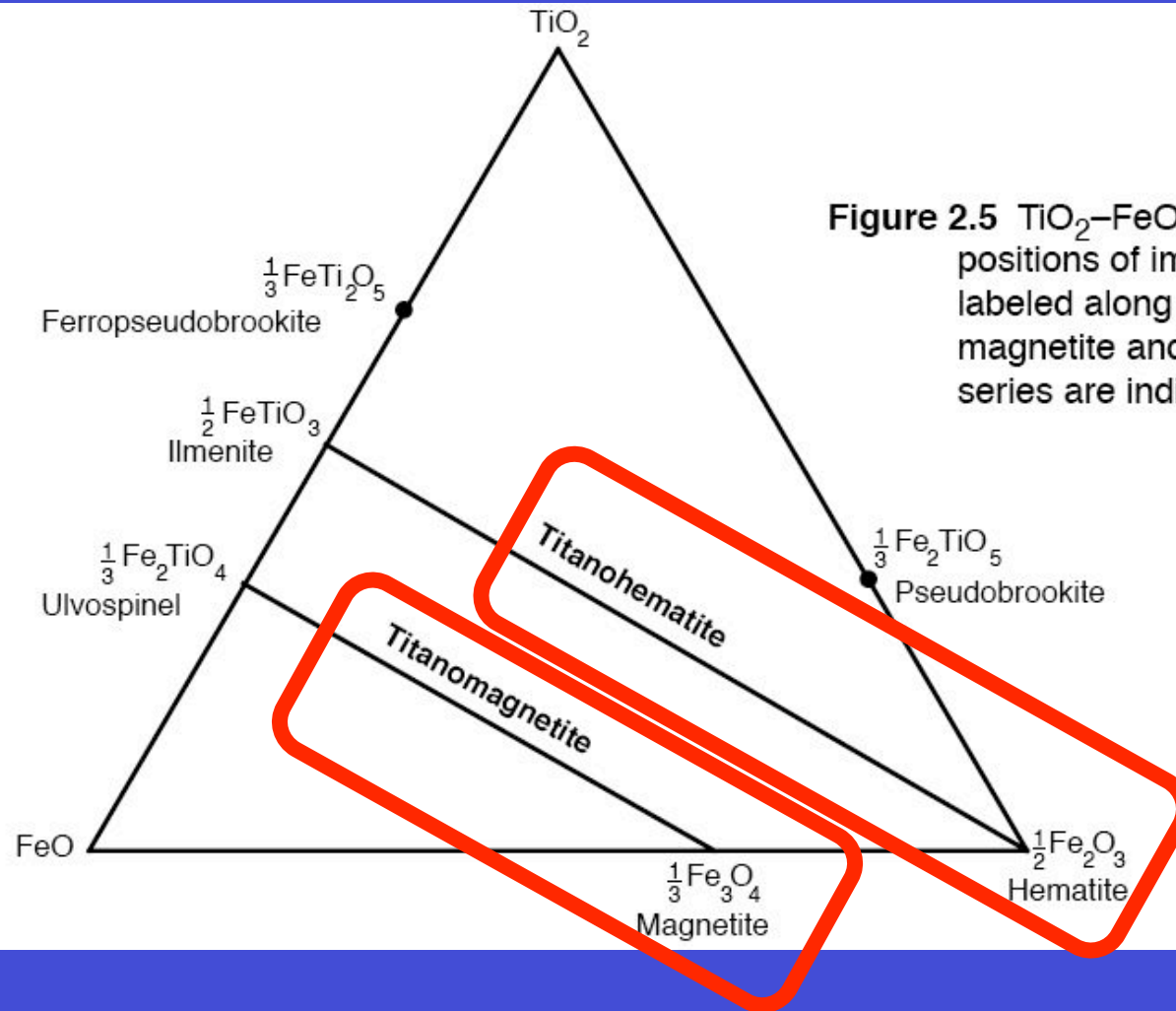
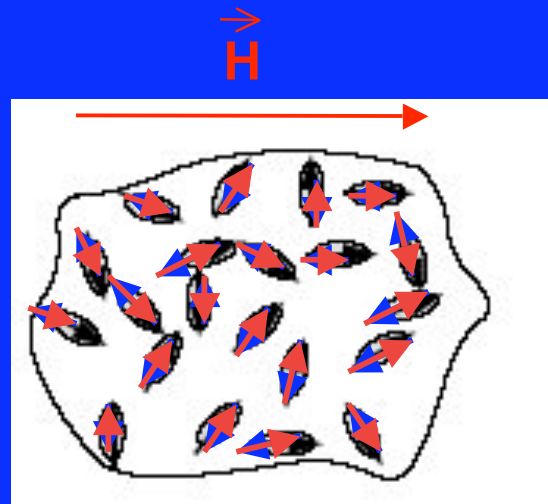
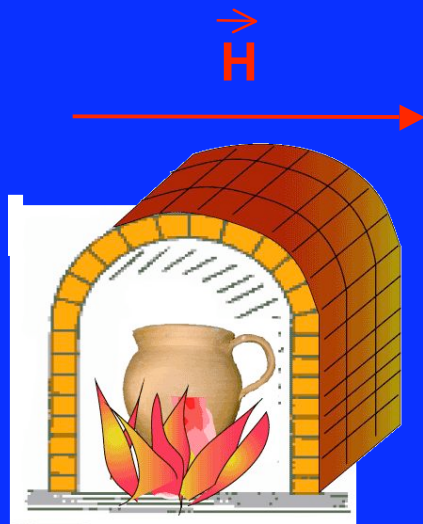


Figure 2.5 TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 ternary diagram. Compositions of important FeTi-oxide minerals are labeled along with mineral names; titanomagnetite and titanohematite solid solution series are indicated.

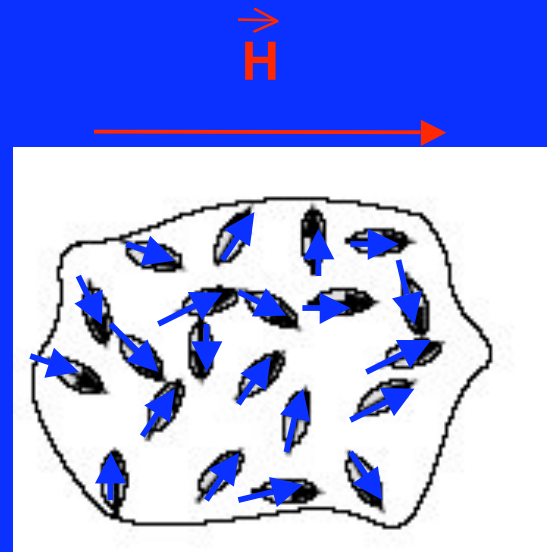
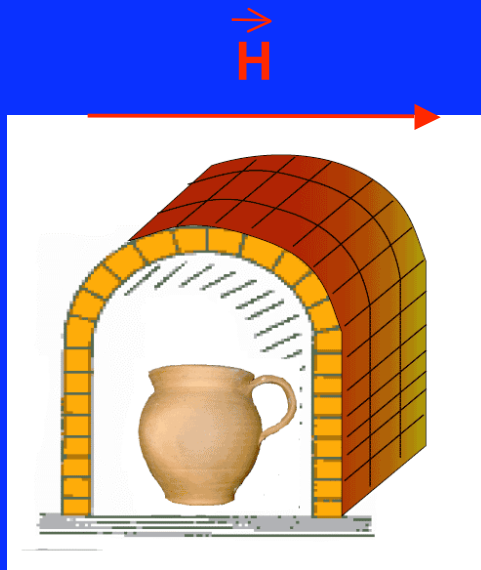
Température

600°C



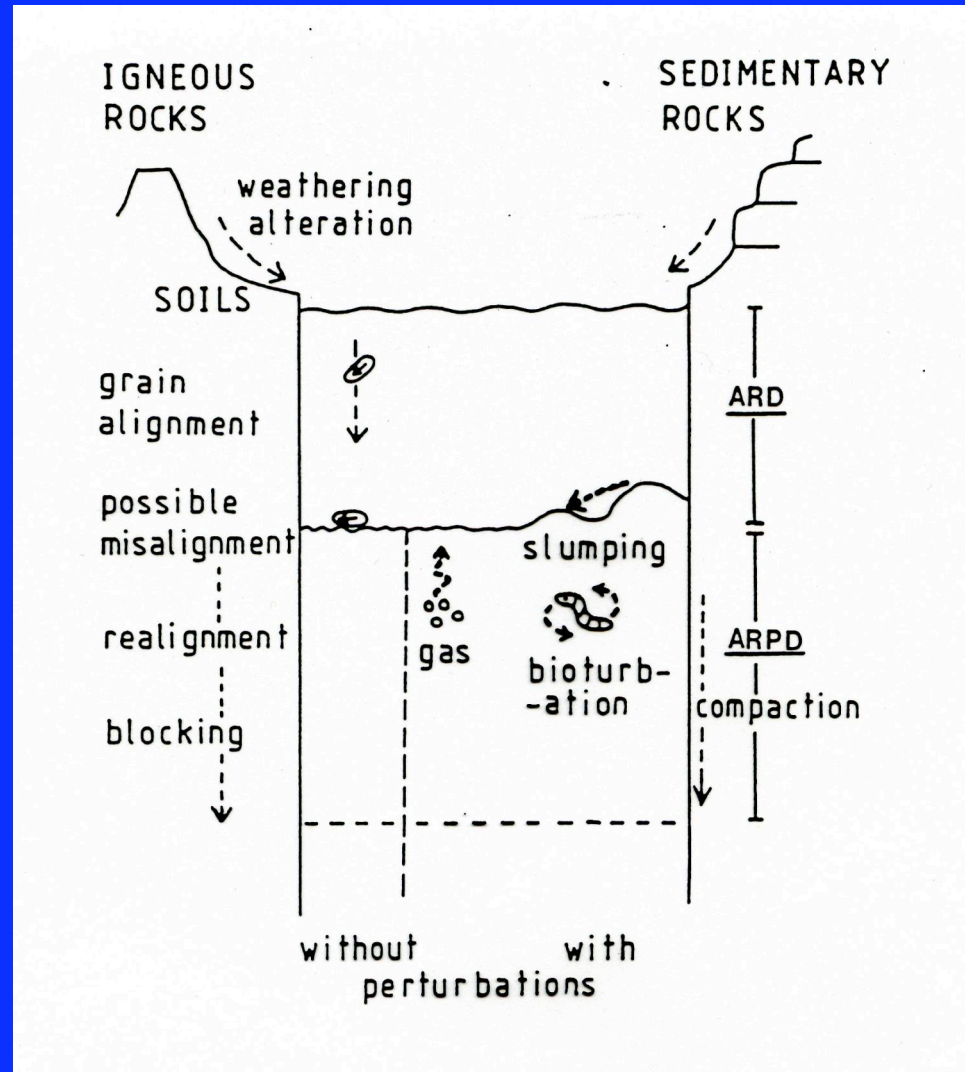
Grain magnétique

20°C



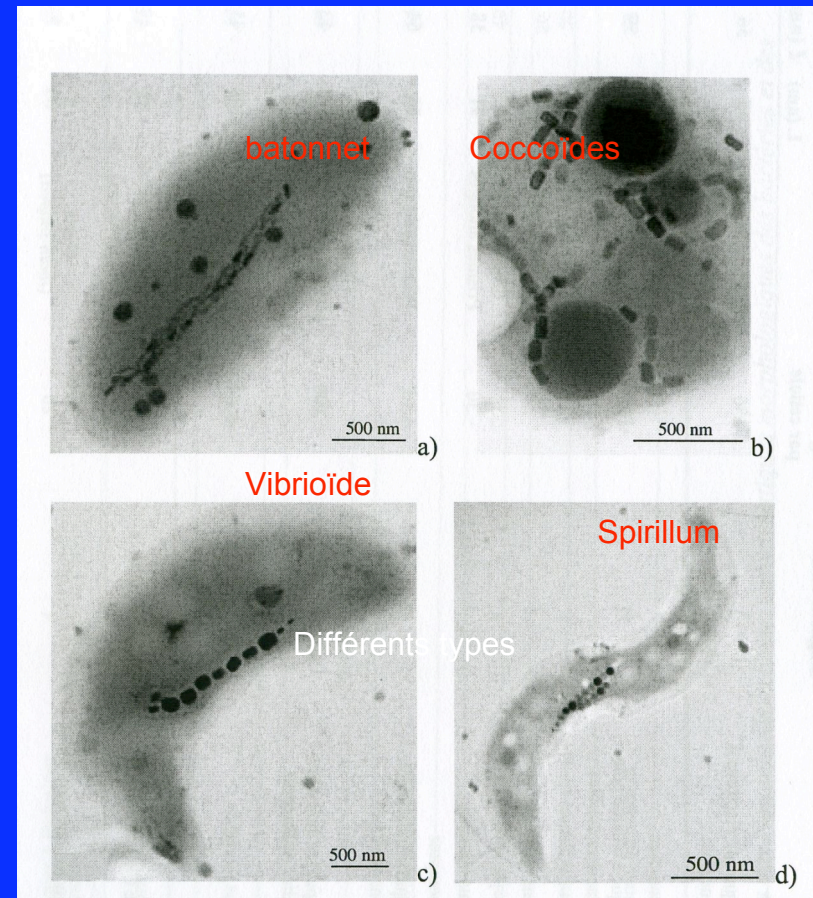
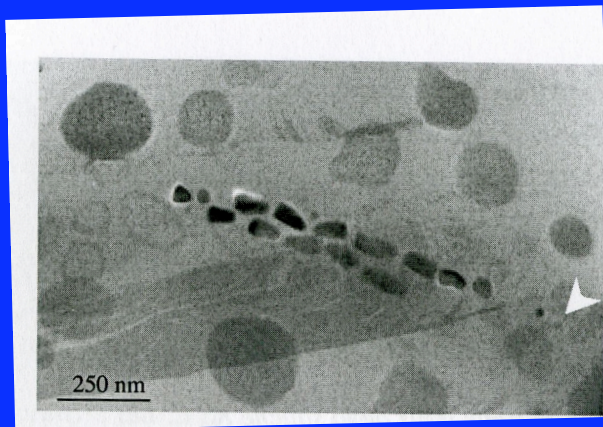
Aimantation Thermorémanente statistiquement dans la direction du champ magnétique

Aimantation rémanente détritique



Aimantation « détritique » bactérienne

Bactéries magnétiques de la Seine



LE PALÉOMAGNÉTISME : UNE SCIENCE DE TERRAIN



BIEN REPÉRER L'ORIENTATION DES ÉCHANTILLONS



METHODES FONDÉES SUR LE MAGNÉTISME TERRESTRE

4. Exemples d'application

Les données du paléomagnétisme ont permis de montrer:

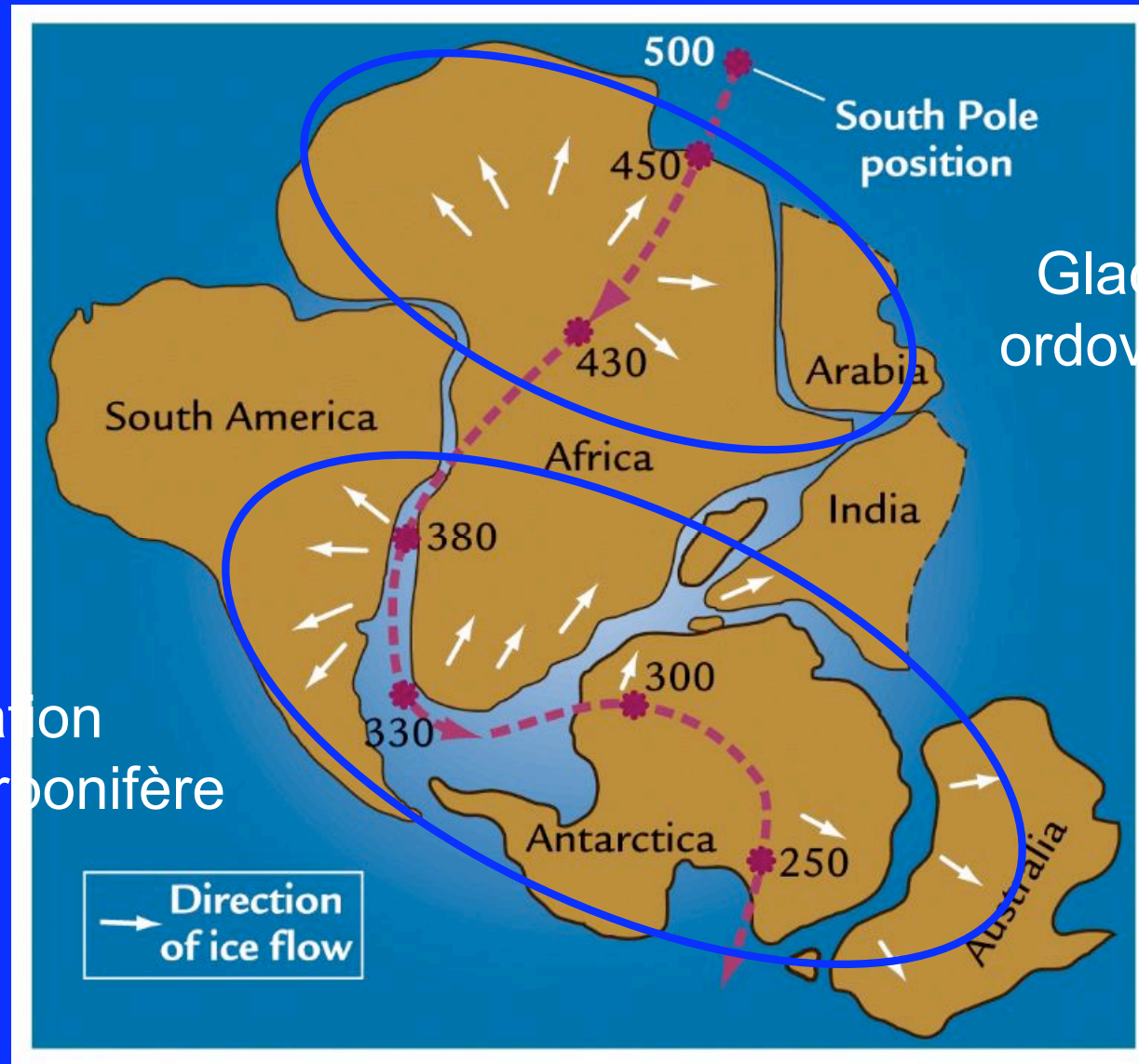
- Existence d'un champ magnétique ancien

- Géométrie dipolaire du CMT.
Dérive des continents

- Expansion des fonds océaniques

- Datation

Reconstituer les positions des continents dans le passé



Glaciation ordovicienne

Glaciation Permo-Carbonifère

● Homme moderne

● Hominidés

aujourd'hui

← Des ouvertures océaniques continuent à disperser les continents. En même temps, l'Asie croît par collision successive de blocs ou de continents.

0

CÉNOZOÏQUE

EXTINCTION

65 MA

65



110 MA

● Plantes à fleurs / Oiseaux

Mammifères (Eozostrodon)

● EXTINCTION

● Dinosaures

↑ La dispersion de la Pangée a commencé dès 200ma. On assiste à l'éclatement du Gondwana, partie Sud de l'ancien supercontinent.

↑ De grands océans se forment, d'autres disparaissent, comme ici la Téthys entre l'Inde et l'Asie

145

CRETACE

145

JURASSIQUE

199

TRIAS

☀️ Tétrapodes terrestres

→ Les continents à nouveau rassemblés forment le supercontinent le plus récent connu sous le nom de Pangée.



300 à 250 MA

299

PERMIEN
CARBONIFÈRE

EXTINCTION

☀️ Arbres

425 MA



← L'Amérique du Nord, une partie de l'Europe et la Sibérie sont largement séparés du Gondwana par l'Océan Rhéique

416

DÉVONIEN

☀️ Plantes terrestres

EXTINCTION

☀️ Vertébrés à squelette minéralisé

530 MA



488

ORDOVICIEN
SILURIEN

☀️ Explosion Cambrienne (premiers vertébrés)

→ Un super continent Pannotia créé vers 600Ma commence à se disperser. Un petit océan lapetus s'ouvre.

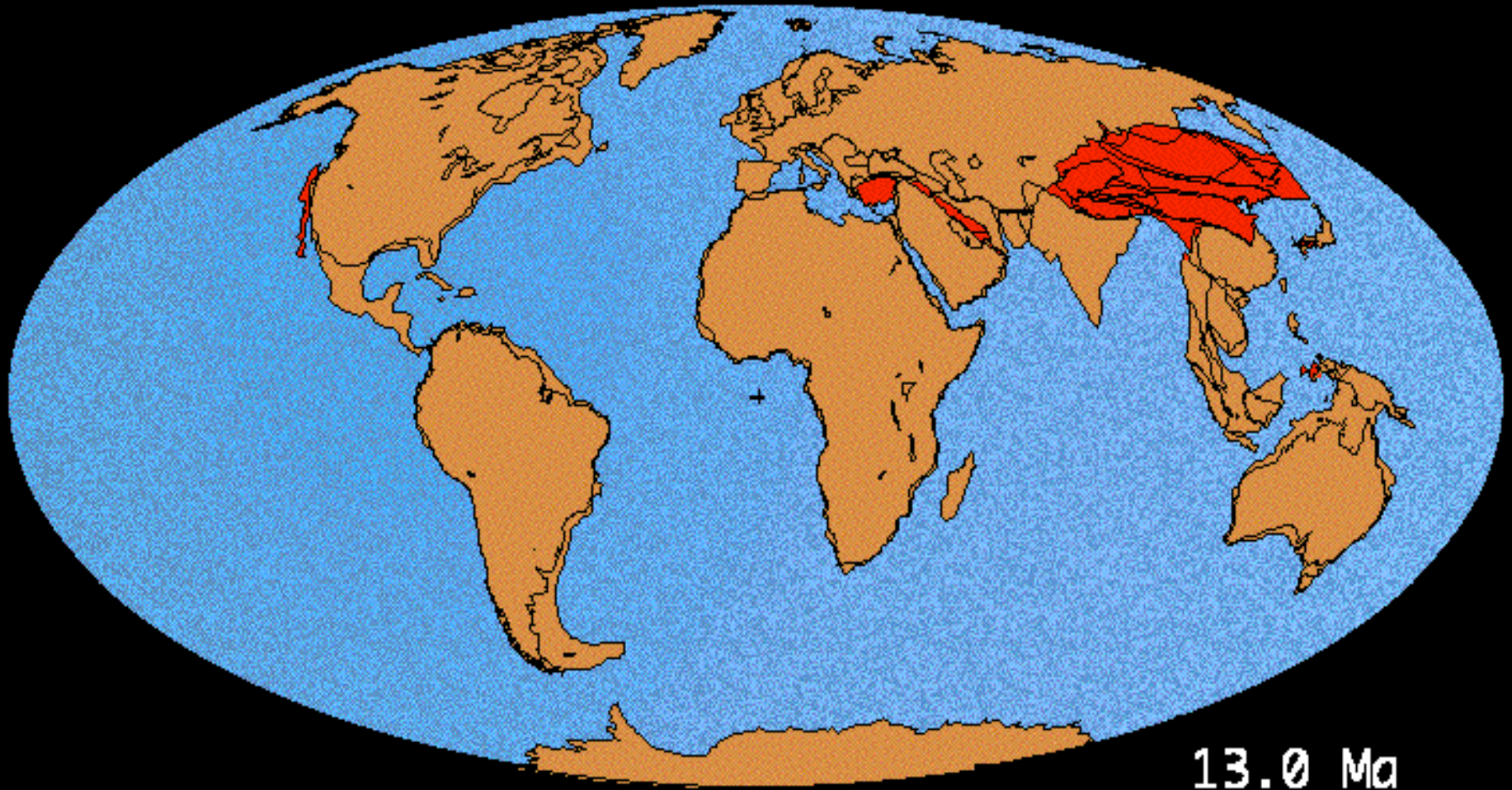
542

CAMBRIEN

ements des continents à
ancher océanique et des

ZOÏQUE

Et le futur ?



Une propriété fondamentale du champ magnétique terrestre: les inversions...

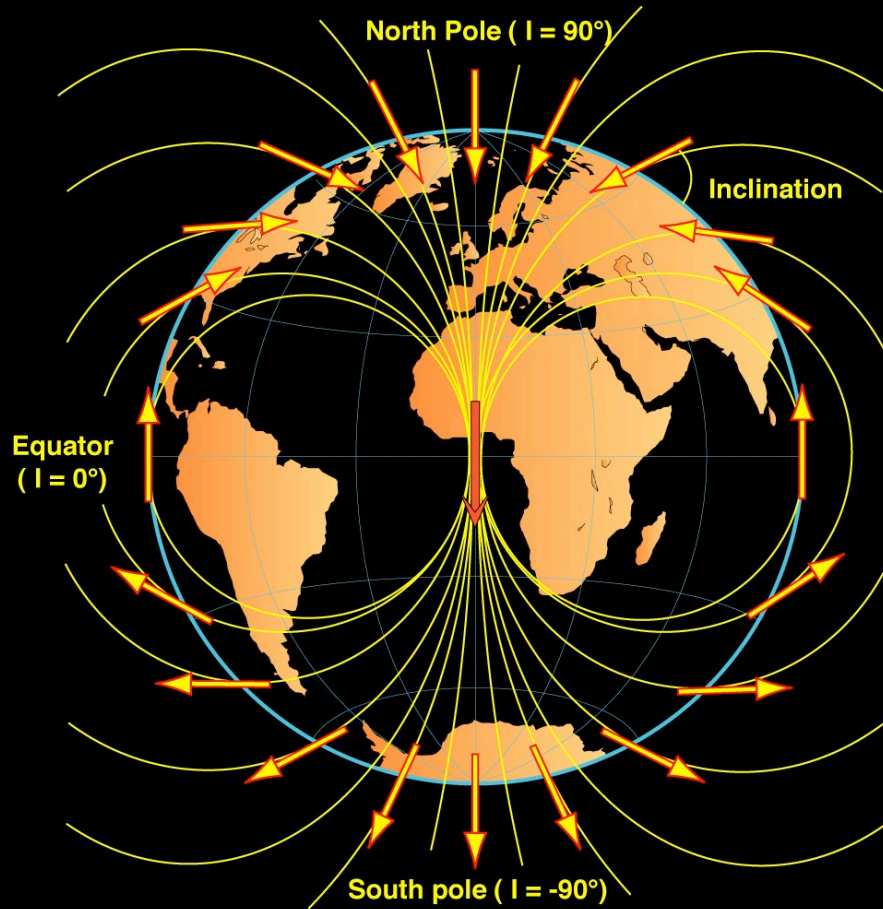


Bernard Brunhes

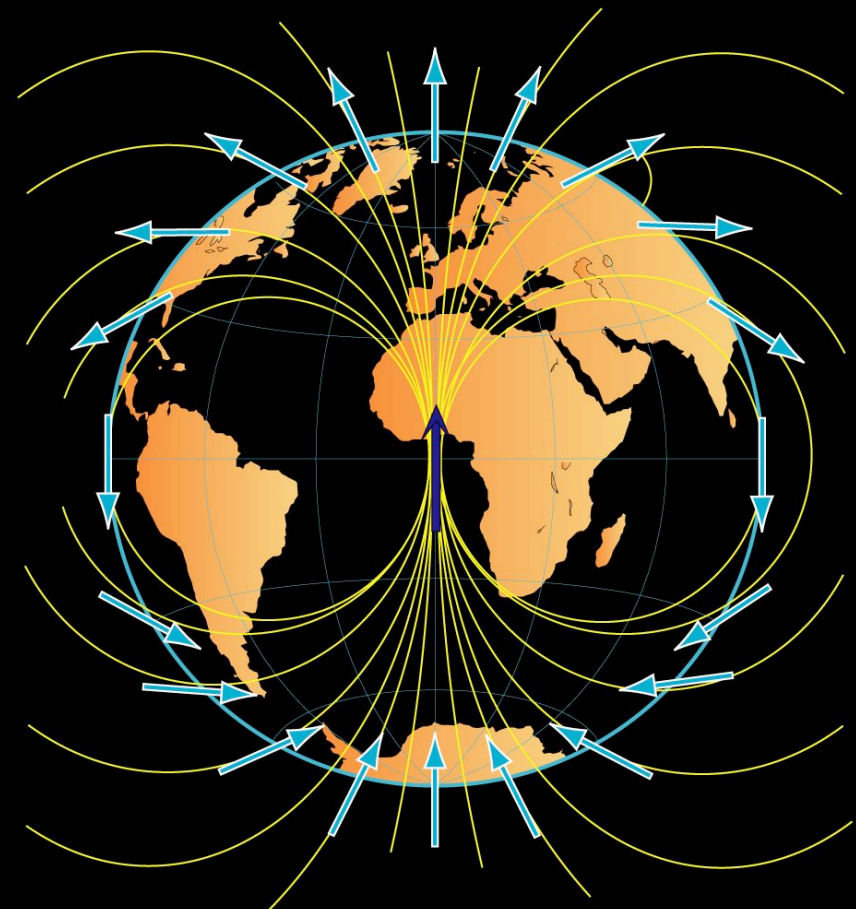


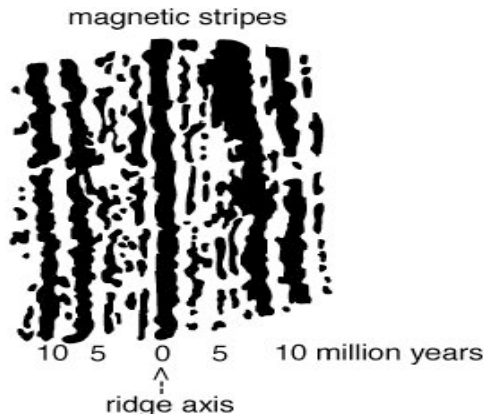
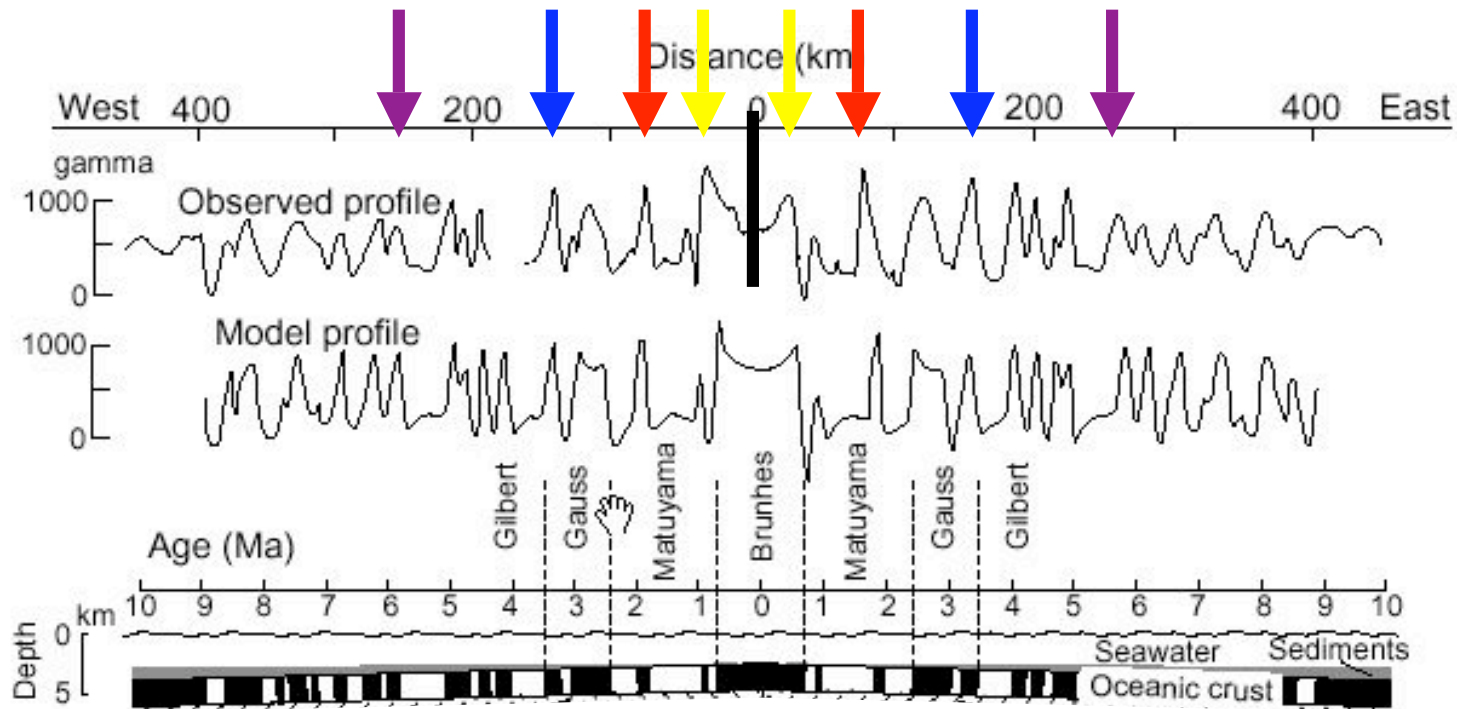
Coulée de Pontfarein

Normal polarity (present-day)

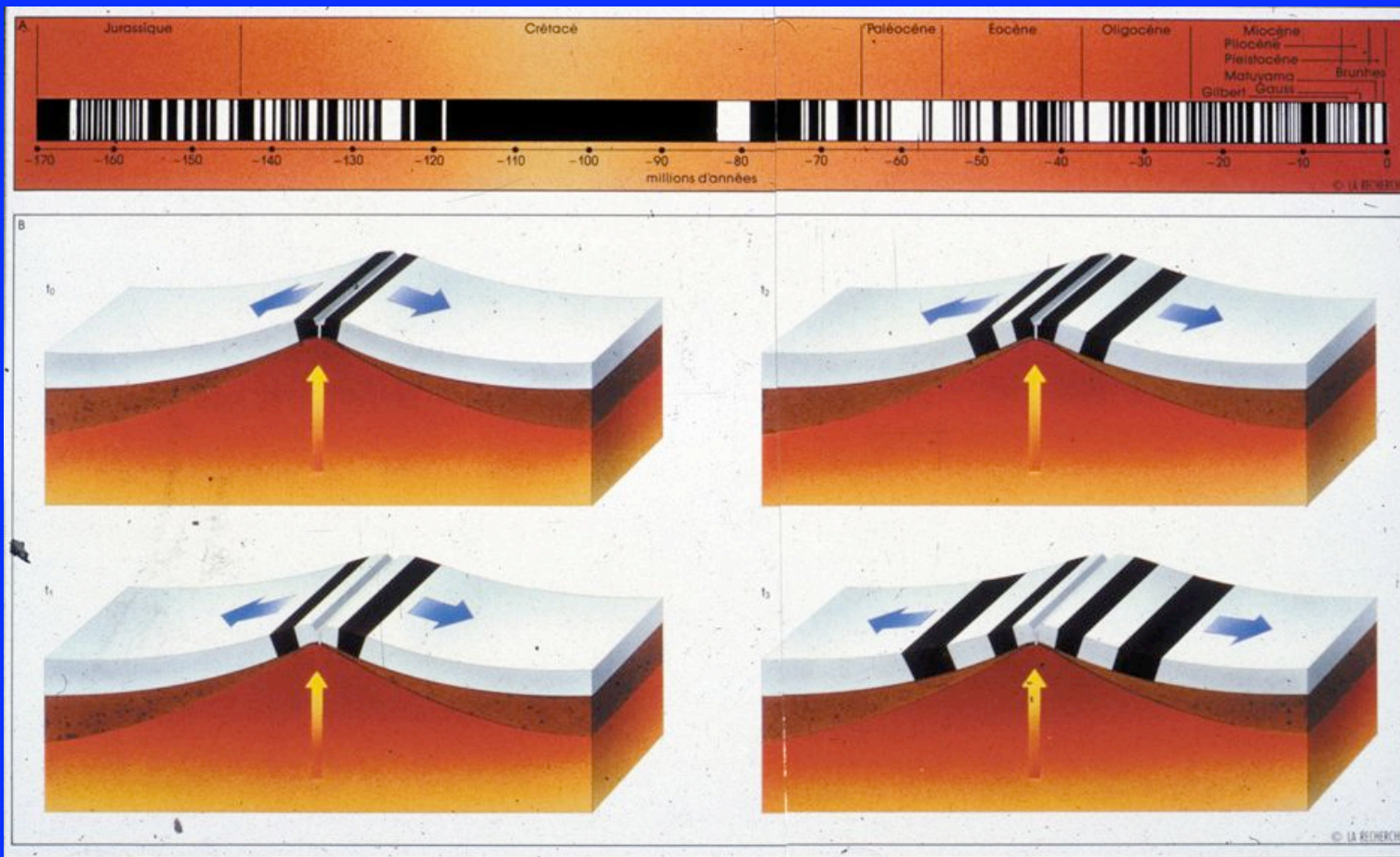


Reverse polarity

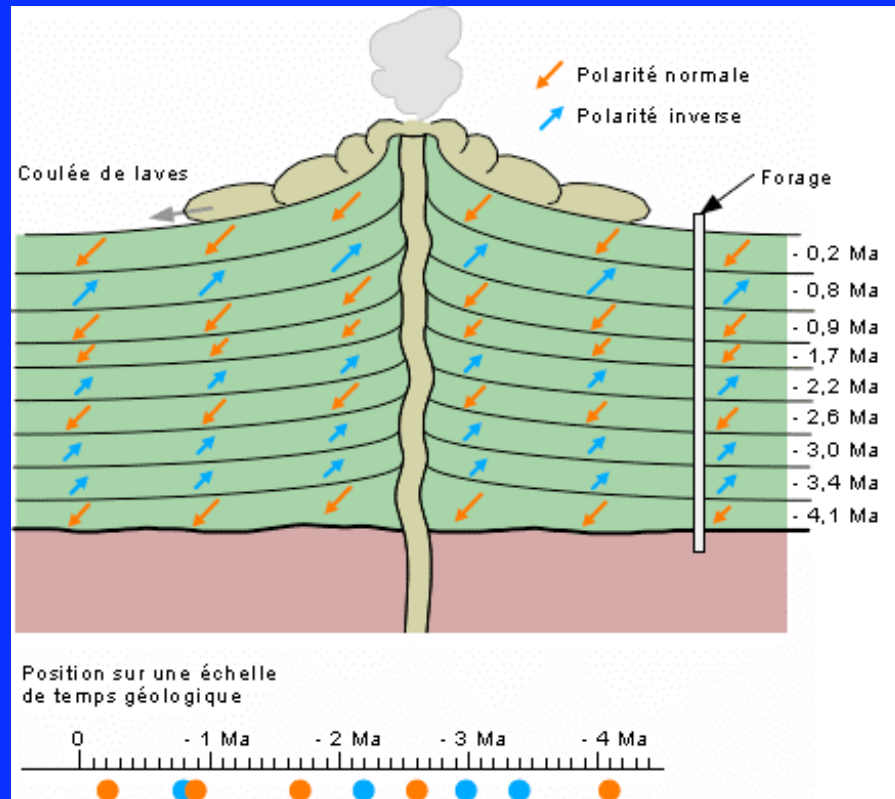




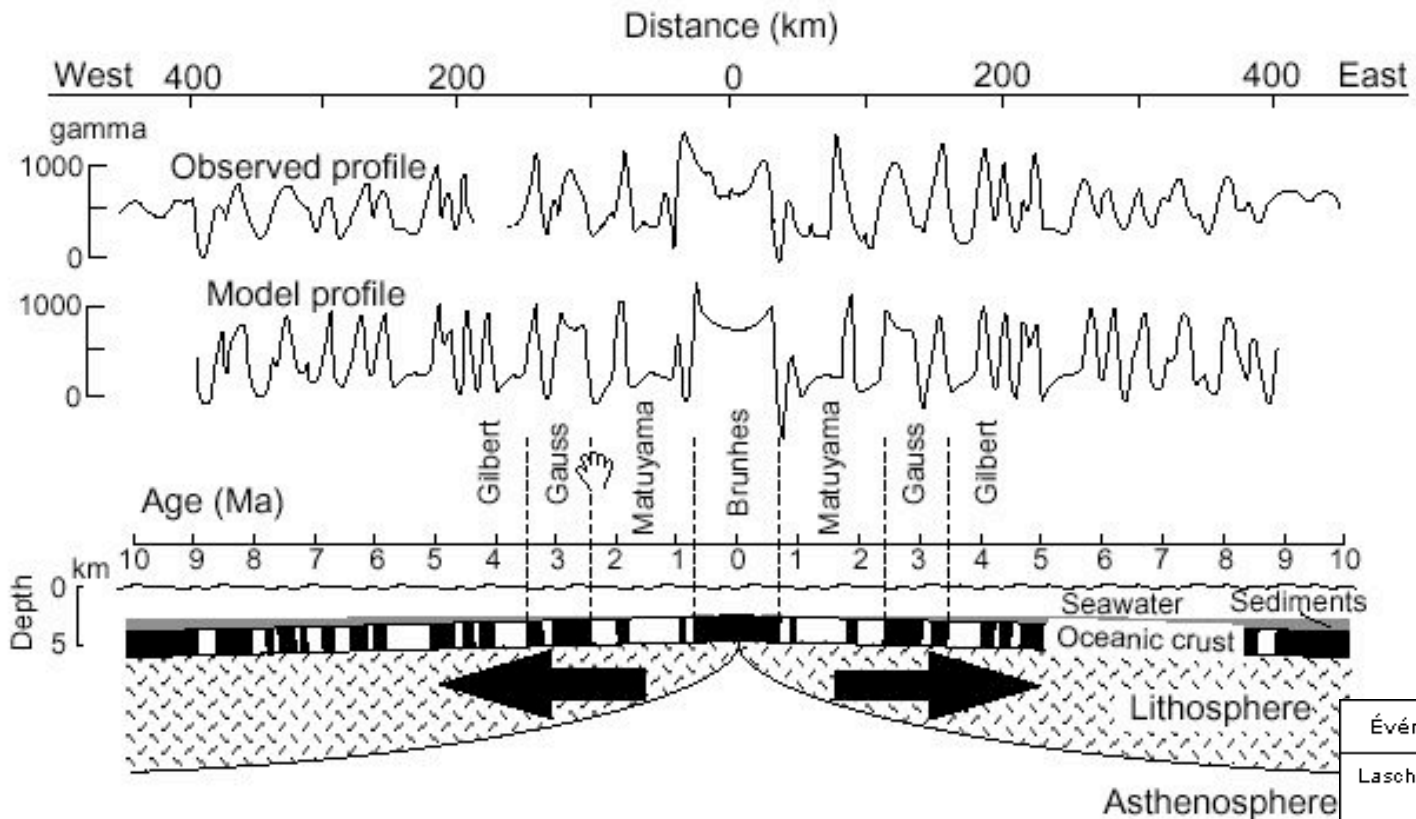
S'il y a alternance de bandes normales et inverses, c'est qu'il se génère continuellement de la nouvelle croûte océanique à la dorsale et que le plancher océanique se déplace latéralement sous l'effet d'une convection sous-jacente, à la manière d'un « tapis roulant ». Les sédiments qui recouvrent la croûte océanique sont aussi transportés sur ce tapis roulant.



Echelle magnétostratigraphique



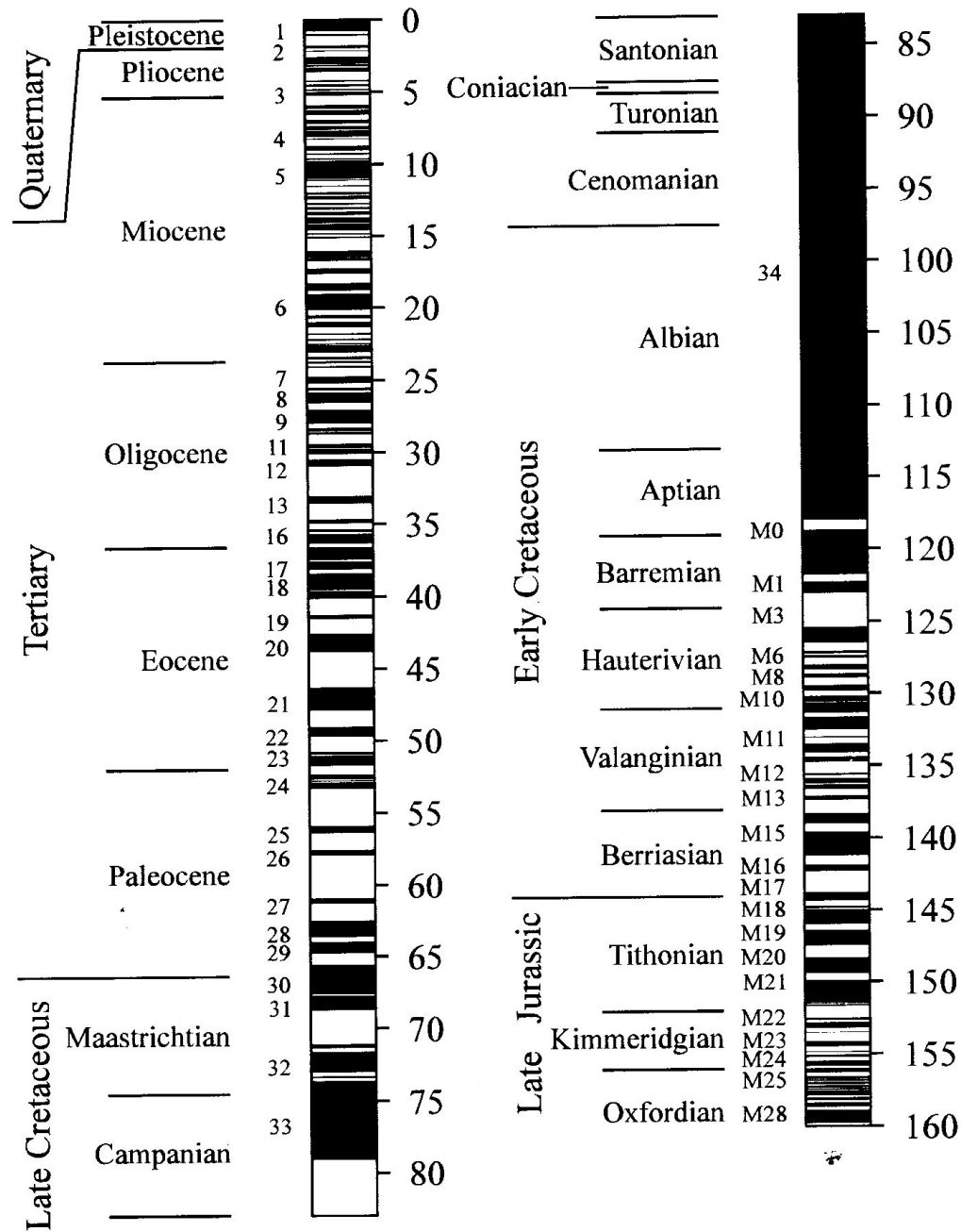
Événements		ÉPOQUES	
Laschamp	→	BRUNHES (normal)	0
			- 0,69
Jaramilo	→	MATUYAMA (inverse)	- 1 Ma
Gilsa	→	MATUYAMA (inverse)	
Olduvai	→		- 2 Ma
		GAUSS (normal)	- 2,43
Kaena	→		
Mammoth	→	GAUSS (normal)	- 3 Ma
			- 3,32
Cochiti	→	GILBERT (inverse)	
Nunivak	→		- 4 Ma



→ Etablissement du concept d'expansion des fonds océaniques

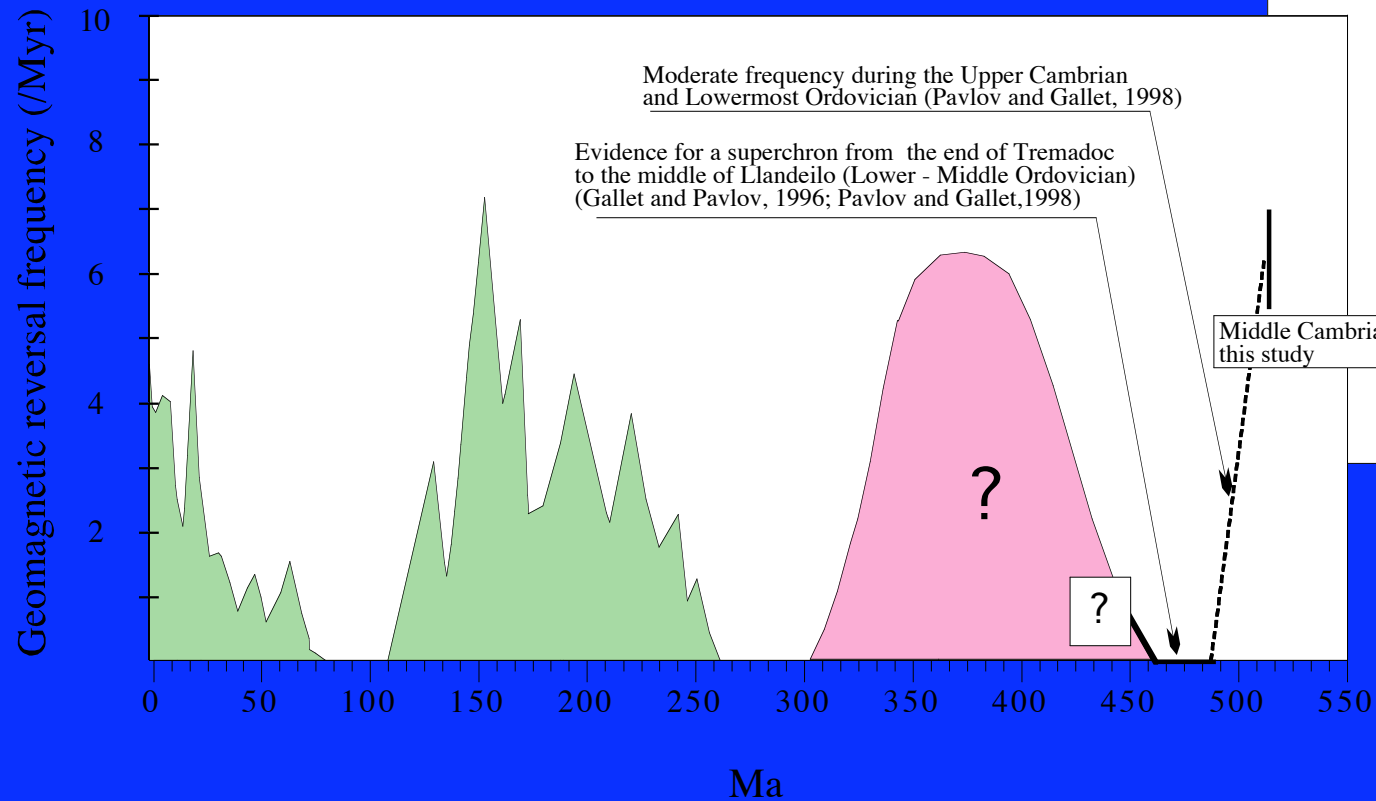
Événements	ÉPOQUES	0
Laschamp	BRUNHES (normal)	-0,69
Jaramillo		- 1 Ma
Gilsa	MATUYAMA (inverse)	- 2 Ma
Olduvai		- 2,43
Kaena	GAUSS (normal)	- 3 Ma
Mammoth		- 3,32
Cochiti	GILBERT (inverse)	- 4 Ma
Nunivak		

Etablissement de l'échelle des inversions géomagnétiques depuis 160Ma

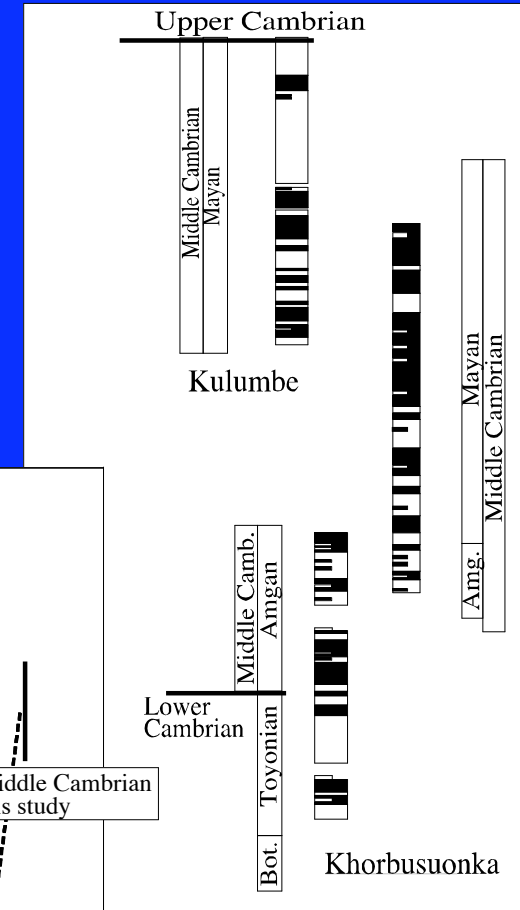


Fréquence des inversions au cours des temps géologiques

(D'après Gallet et Pavlov)



Middle Cambrian magnetostratigraphic data



Les inversions: un outil de datation

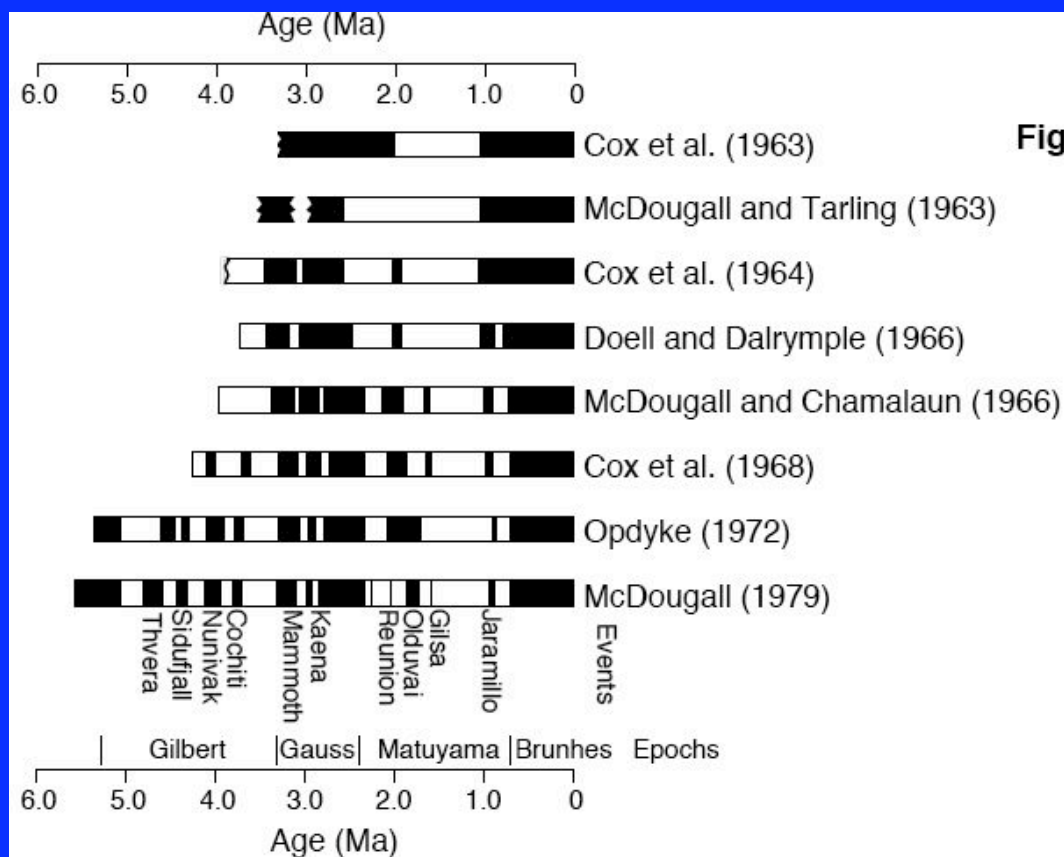


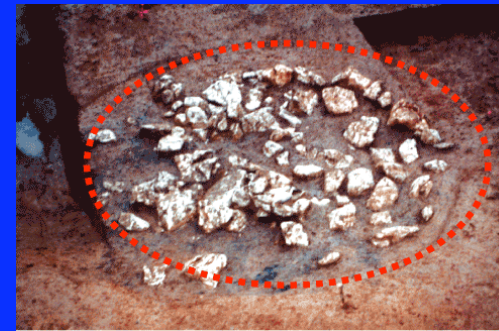
Figure 9.1 Evolution of the Pliocene–Pleistocene geomagnetic polarity time scale between 1963 and 1979. On this and all subsequent polarity columns or time scales, black intervals indicate normal polarity and white intervals indicate reversed polarity; references are given at the right of each time scale; the “event” and “epoch” nomenclature applied to this portion of the time scale is given at the bottom. Adapted from McDougall (1979).

Les objets d'étude en archéomagnétisme:

- les foyers
- les fours domestiques
- les fours de potier
- les briques
- les tuiles
- les céramiques



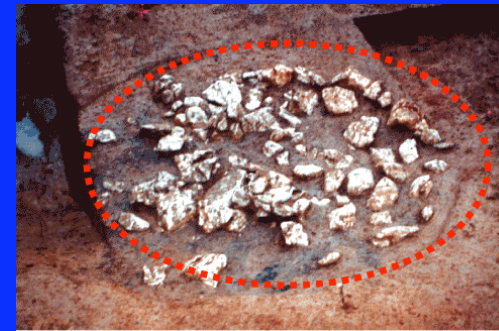
Four domestique du haut Moyen-Age



Foyer sur radier de blocs
du Bronze Moyen

Les objets d'étude en archéomagnétisme:

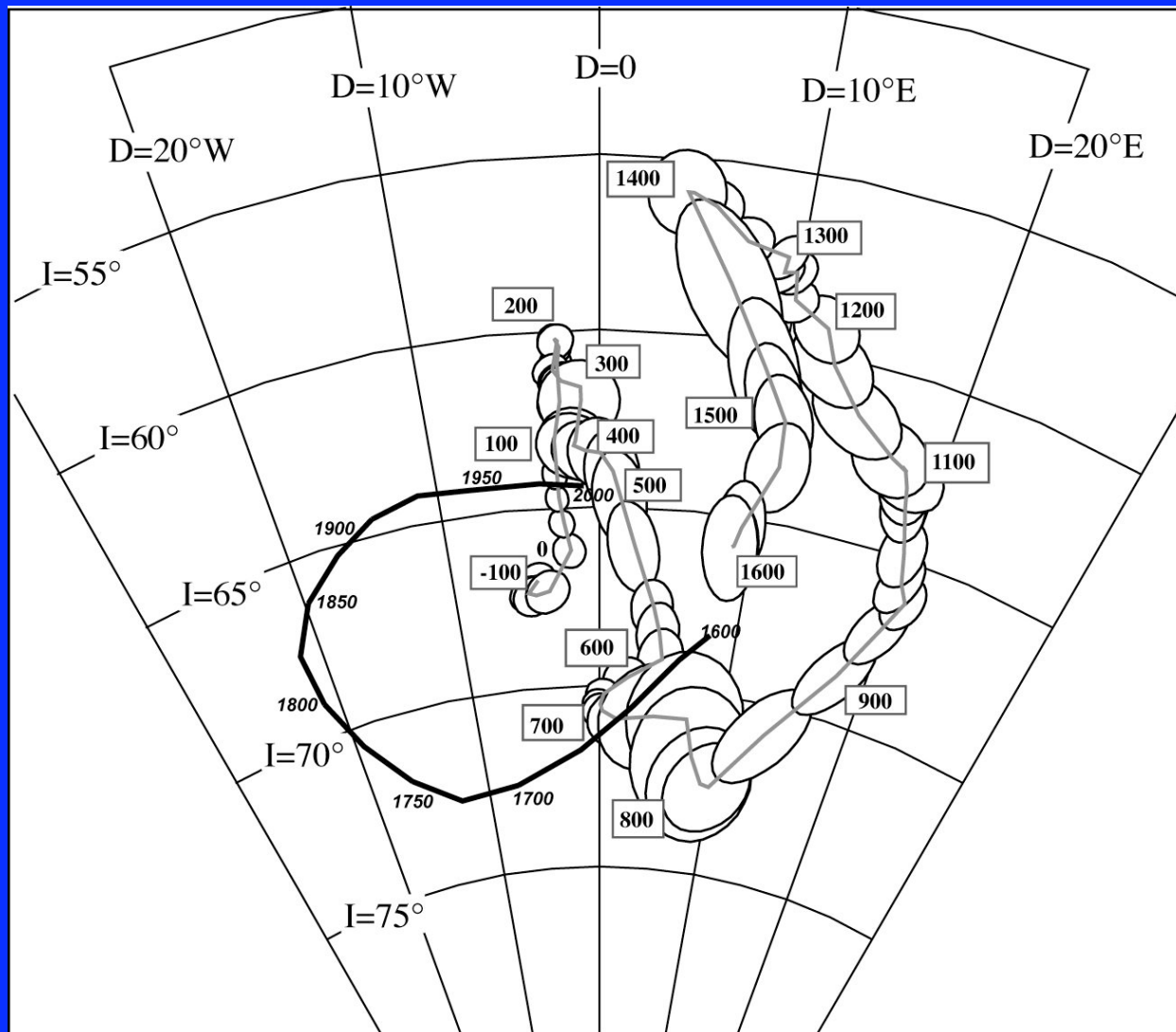
- les foyers
- les fours domestiques
- les fours de potier
- les briques
- les tuiles
- les céramiques



Ces objets lorsqu'ils sont datés, permettent de retracer l'évolution du champ géomagnétique en direction et en intensité au travers des temps archéologiques.

Les variations de D et I : un autre outil de datation

Variations directionnelles du champ géomagnétique à Paris depuis le premier siècle avant J.-C.



Fenêtres glissantes
de 80 ans décalées
De 25 ans

Bucur, 1994

Quand le géomagnétisme vient au secours de l'archéologie...

Datation archéomagnétique à partir des variations directionnelles du champ géomagnétique



Une courbe de référence adaptée



Une méthode de corrélation