

Comprendre le champ magnétique terrestre



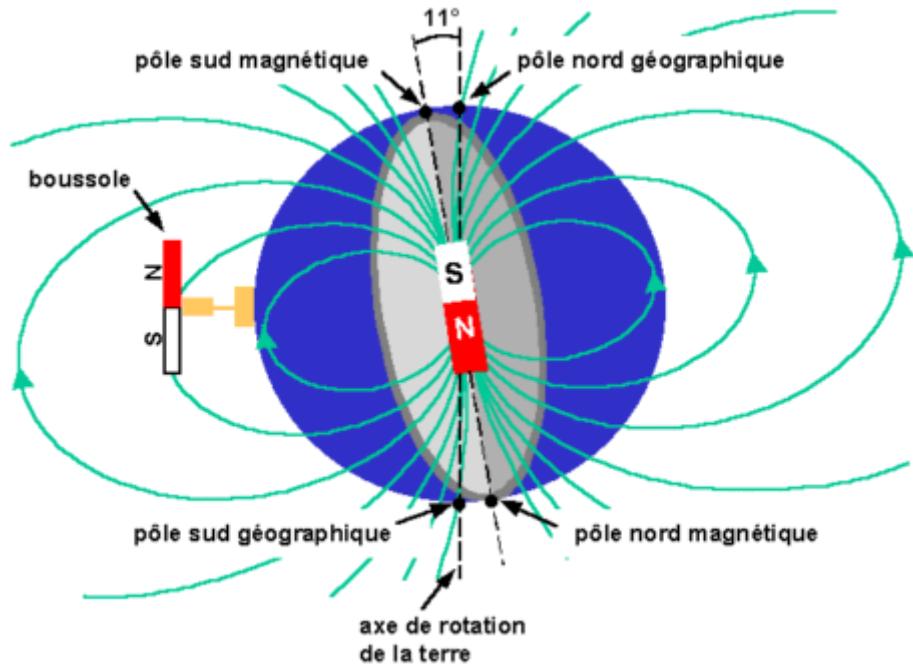
Maquette d'une cuillère indiquant le sud
(appelée *sinan*) du temps des Han (206 avant J.-C. - 220 après J.-C.)



Boussole

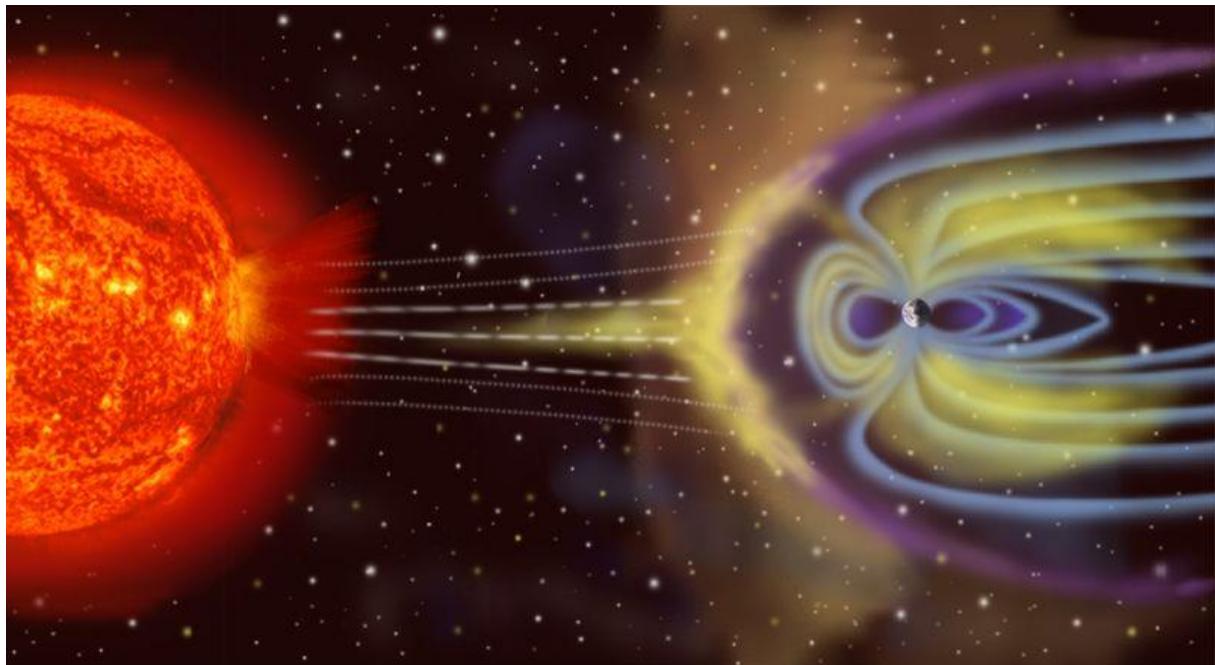
CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE

Il y a un décalage entre le pôle géographique et magnétique



Le champ magnétique terrestre

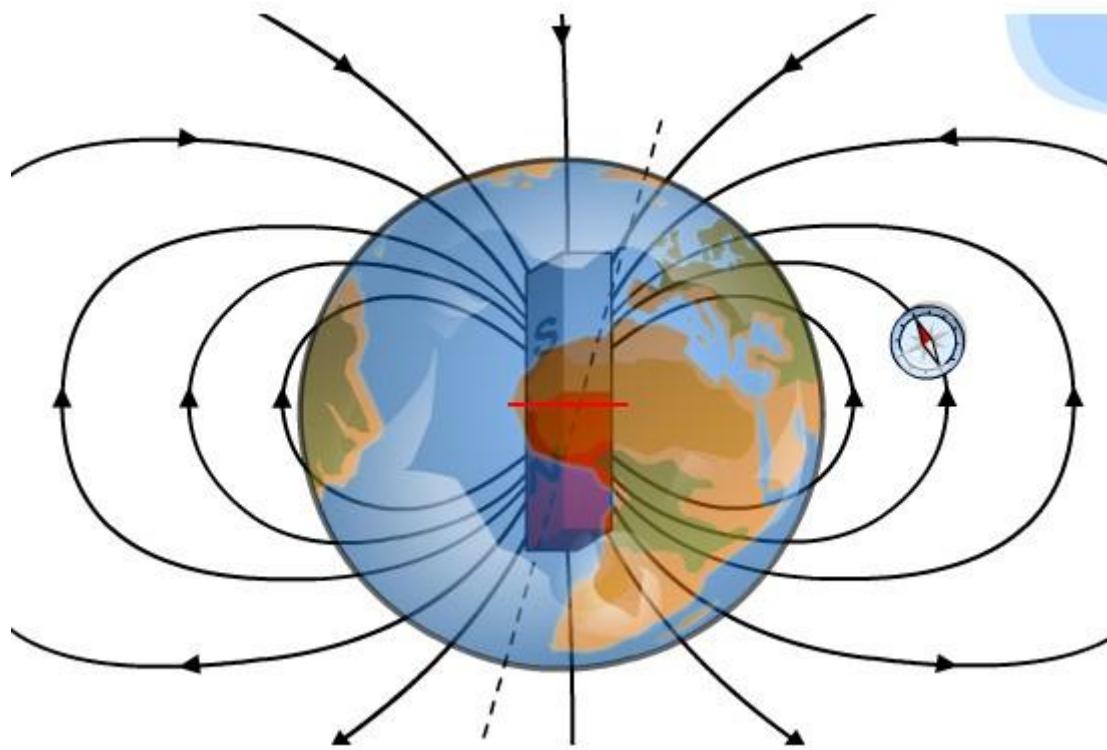
(Université Paul Sabatier, 2000)



Source : NASA

Le champ magnétique nous protège des rayons cosmiques

Pourquoi il n'y a pas un gros aimant au centre de la terre ?



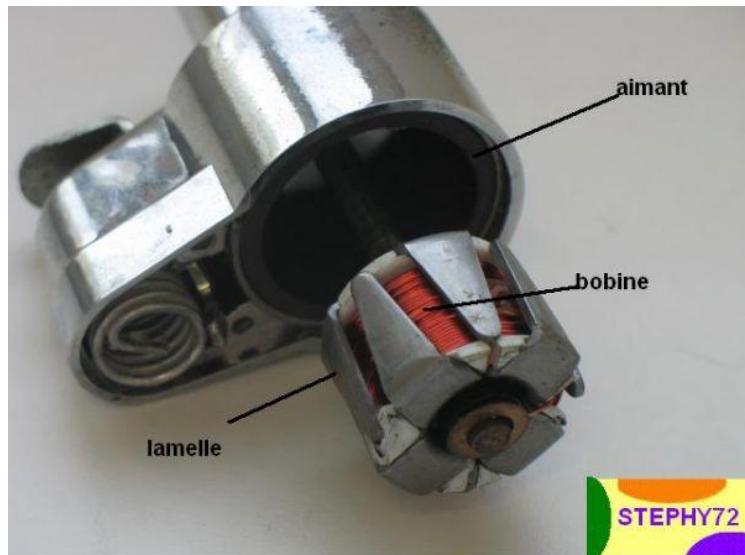
L'augmentation de la température est d'environ 3°C par 100 m dans la croûte terrestre superficielle.

Point de Curie : au delà de 800°C , l'aimantation du fer disparaît.

**Lorsqu'on s'enfonce,
la température dépasse rapidement 800°C**

Ordre de grandeur : la température est approximativement la profondeur en kilomètres

DYNAMO TERRESTRE



**On fait tourner un aimant devant un fil conducteur,
du courant circule dans le fil.**

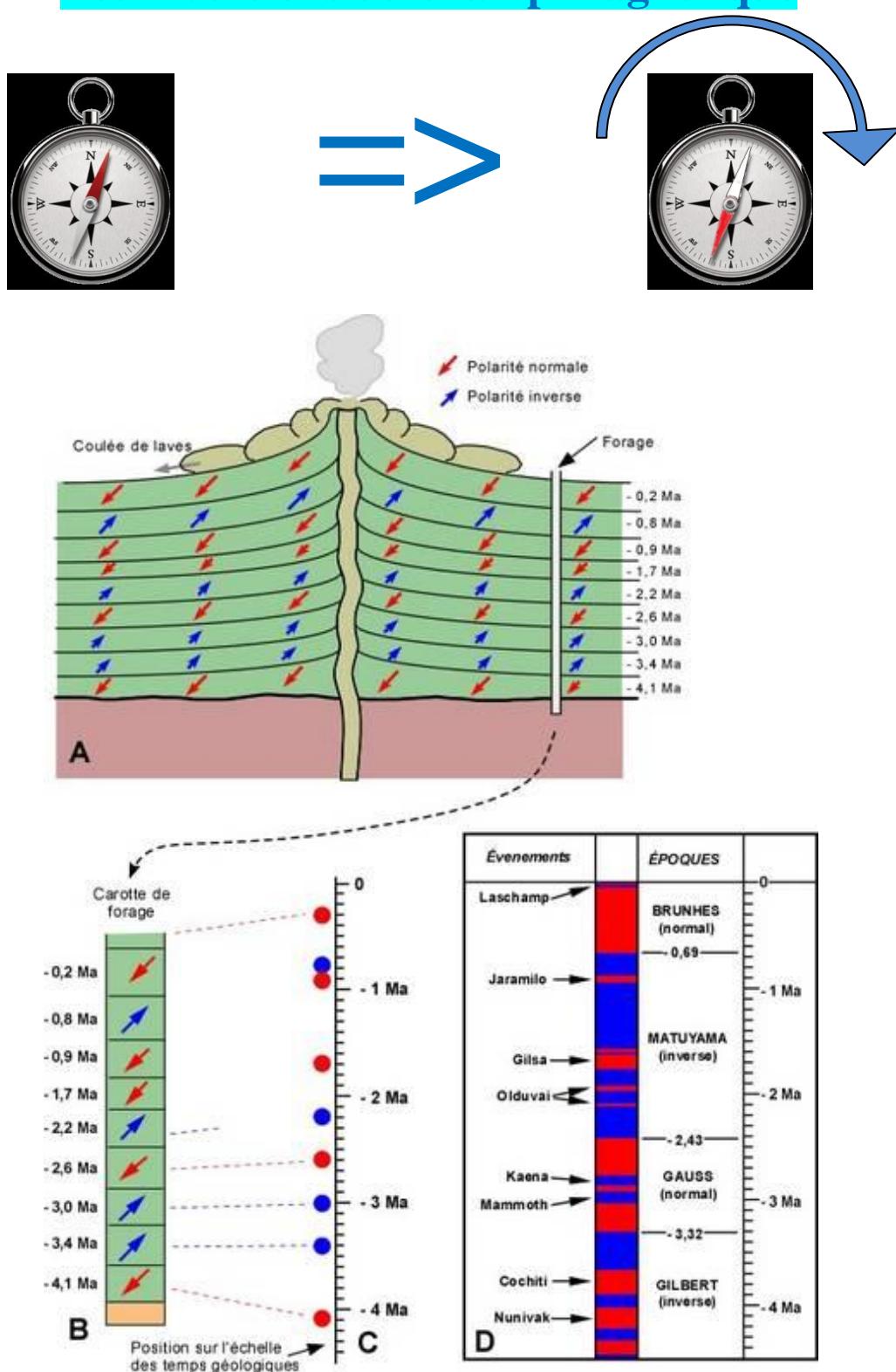
Dans le cas de la Terre, il n'y a pas de guidage du courant.

**1-Tout corps conducteur d'électricité en mouvement dans un champ magnétique engendre des courants électriques.
(courants de Foucault)**

2- Tout courant électrique engendre un champ magnétique.

L'effet dynamo est un effet autoentretenu du champ magnétique et des courants électriques s'engendrant l'un l'autre à cause du mouvement.

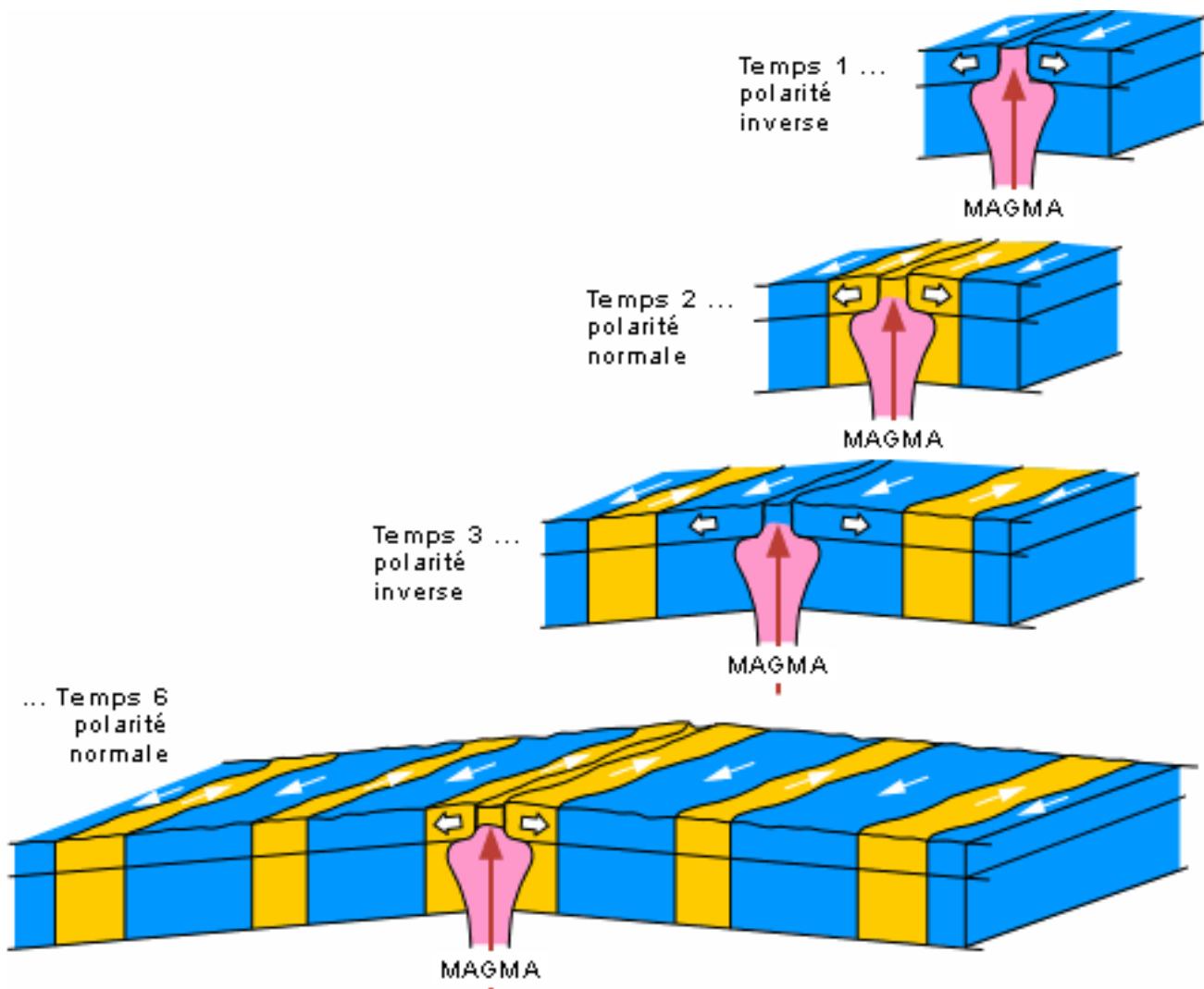
Les inversions du champ magnétique



Crédit université de Laval : Pierre-André Bourque et Pauline Dansereau.

En se refroidissant, les coulées de lave enregistrent le champ magnétique de la Terre à une époque. Ces enregistrements donnent lieu à une chronologie dont l'une porte le nom de Bernard Brunhes.

Les inversions du champ magnétique: suite



Crédit université de Laval : Pierre-André Bourque et Pauline Dansereau.

Autre validation : Etalelement des fonds océaniques : dorsales

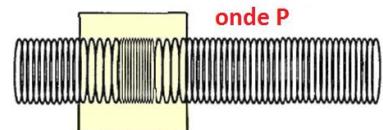
La formation de lithosphère océanique à la dorsale enregistre la polarité du champ magnétique terrestre au moment où cristallise le basalte

STRUCTURE DE LA TERRE ?

Apport de la sismologie : structure interne de la terre

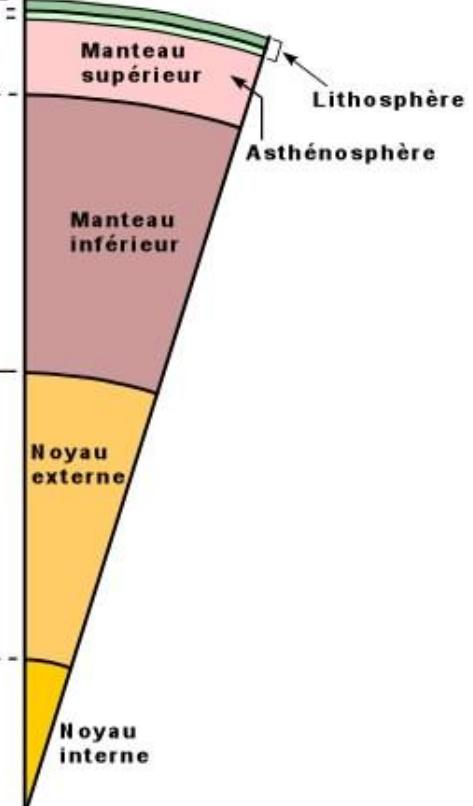
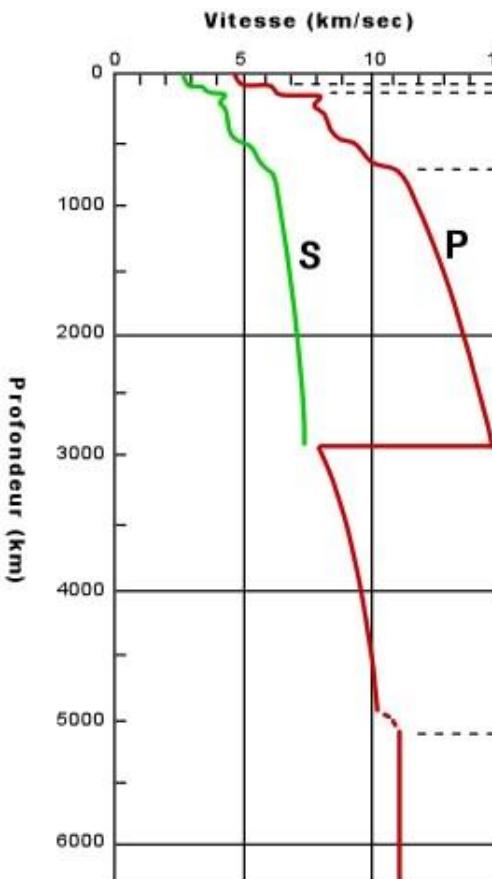
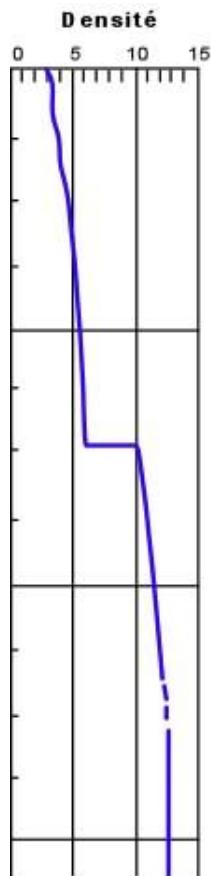
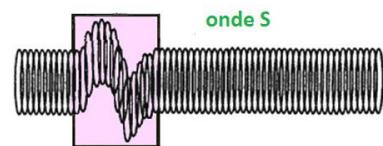
Ondes de compression

P : rouge



Ondes de cisaillement

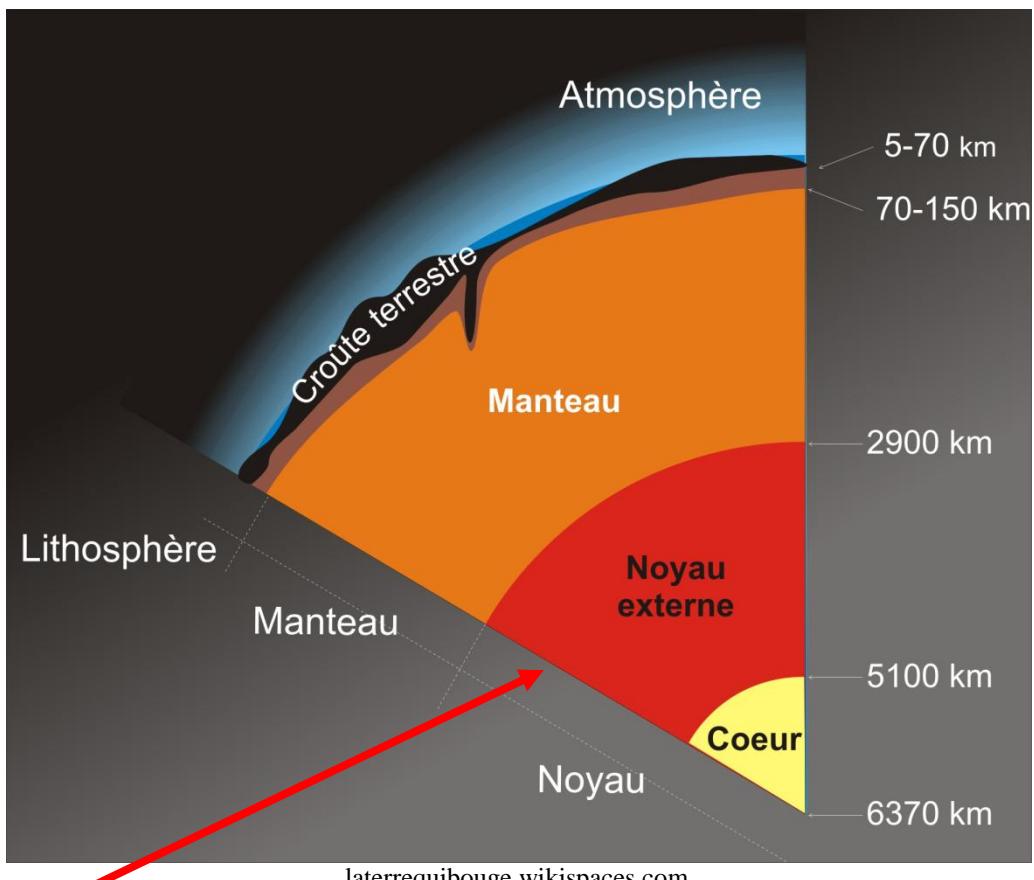
S : vert



<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/img.communes.pt/str.interne.terre.html>

Conclusion : Le noyau externe est liquide,
les ondes de cisaillement ne se propagent pas dans les
milieux liquides.

STRUCTURE DE LA TERRE

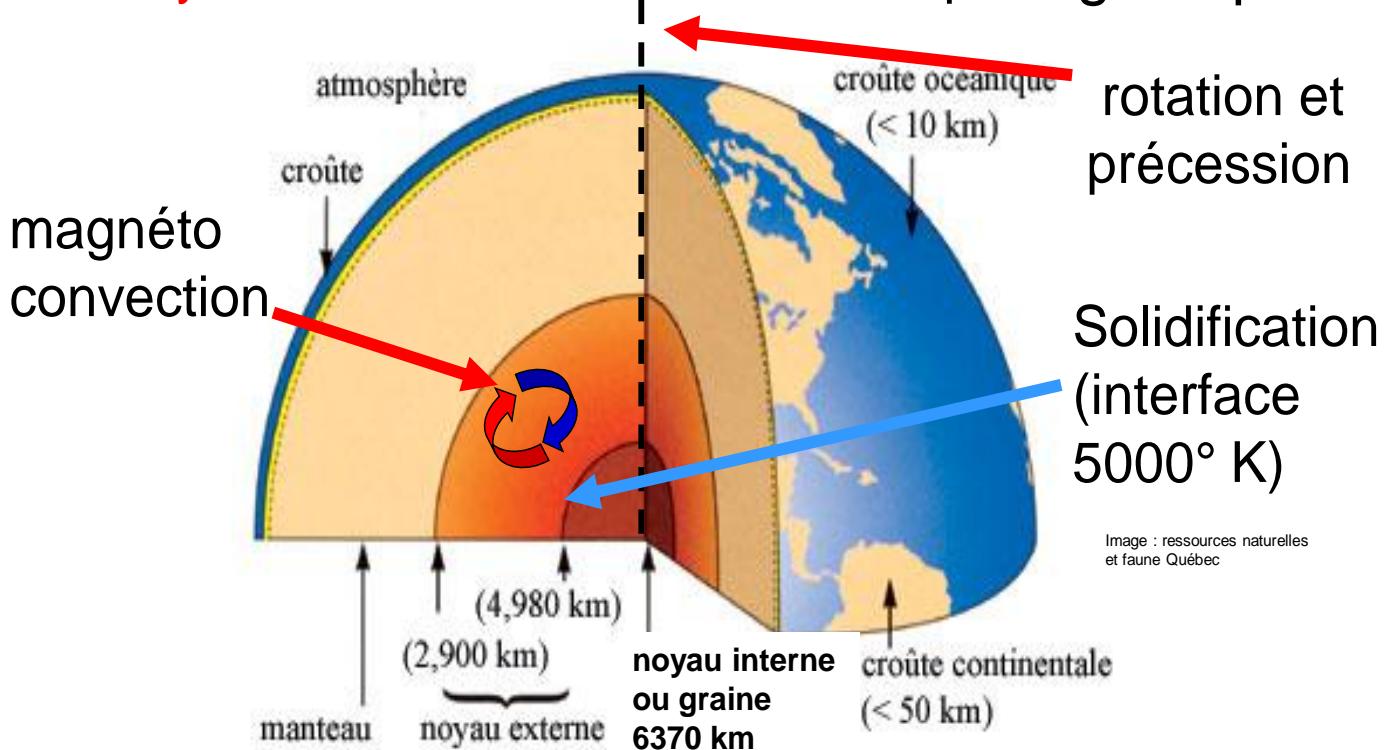


Les mouvements du fer liquide (+ nickel + divers) dans le noyau externe sont à l'origine du champ magnétique terrestre.

⇒ **DYNAMO**

SOURCES DES MOUVEMENTS

Les mouvements du fer liquide dans le noyau externe sont à l'origine du champ magnétique terrestre.
effet dynamo : auto entretien du champ magnétique



Source des mouvements

- A) Mécanique : rotation et précession
- B) Convection thermique

La présence du champ magnétique influe sur les mouvements.

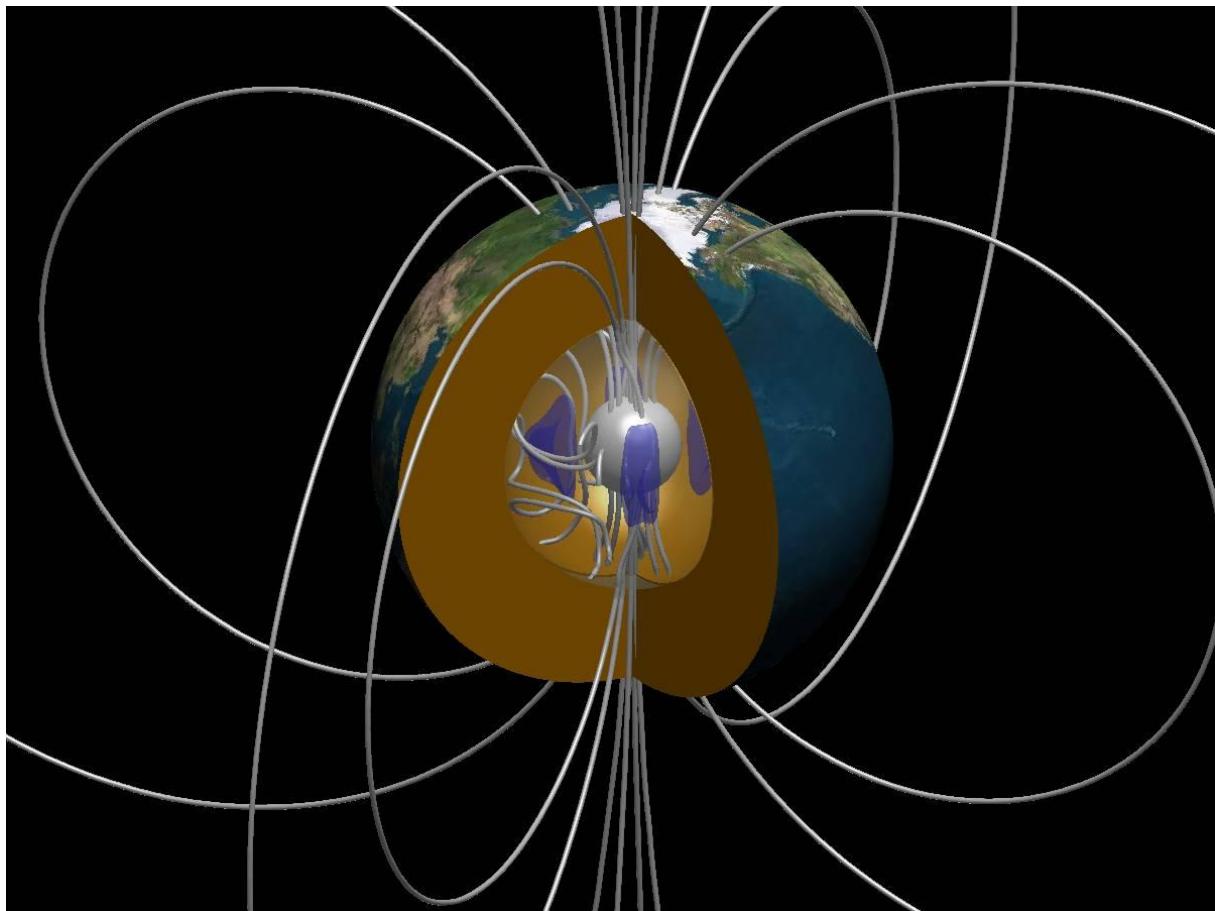
- C) Solidification de la graine : Convection thermosolutale

Résolution impossible

Le problème est trop compliqué pour que l'on puisse résoudre toutes les équations simultanément.

Pour étudier du phénomène, on réalise des **simulations numériques** sur ordinateur et des **expériences analogiques** en laboratoire.

SIMULATIONS NUMERIQUES

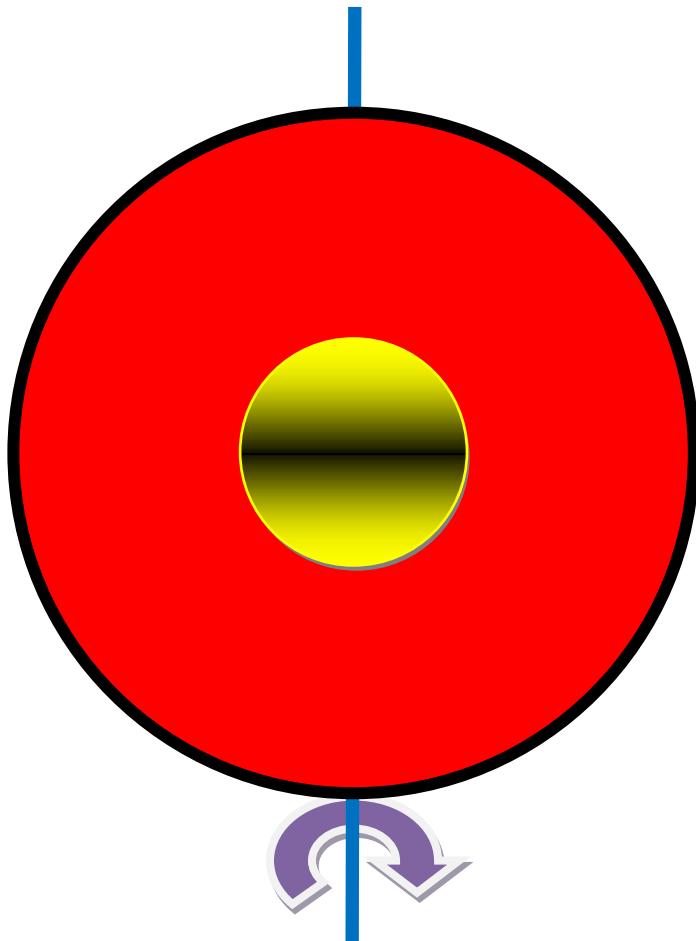


Les **mouvements de fluide conducteur** (structures tourbillonnaires en bleu) étirent les lignes du champ magnétique, leur donnant de l'énergie.

Crédit : IPGP-Julien Aubert

SIMULATION ANALOGIQUE : maquettes

Similitude géométrique : 2 sphères emboitées qui tournent.



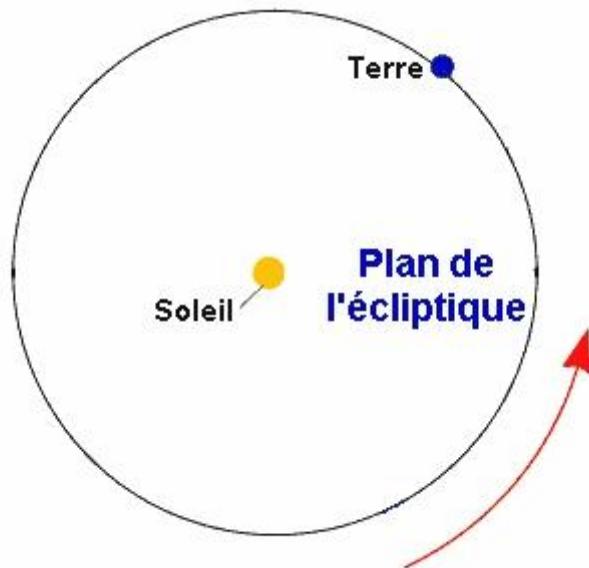
D'autres similitudes liées à la physique sont exploitées :

Paramètres adimensionnels

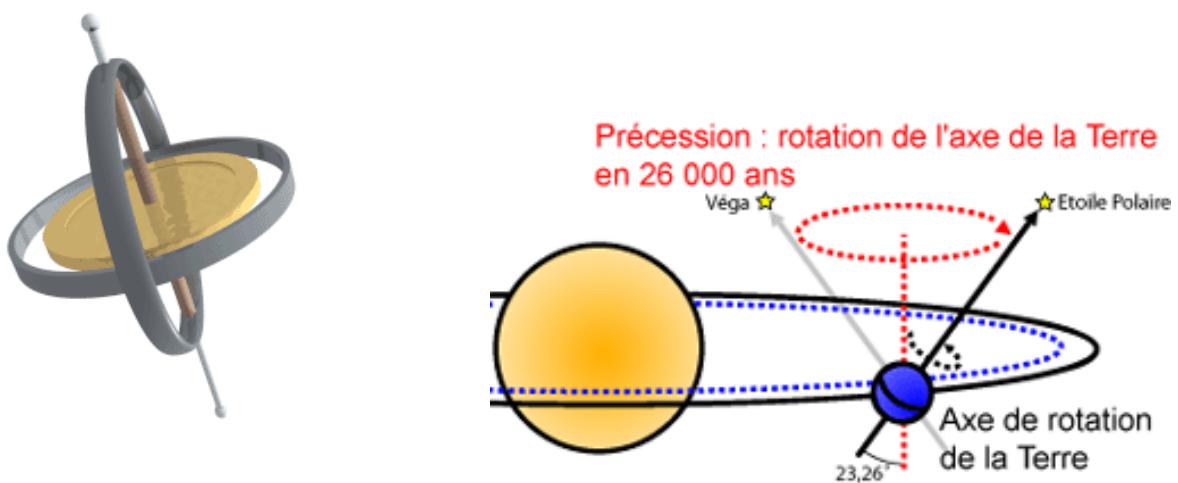
Mon travail : Réalisation des expériences

A) MOUVEMENTS LIES A LA MECANIQUE

Période de rotation = 1 jour
 Période de précession = 25800 ans



Plan de l'écliptique



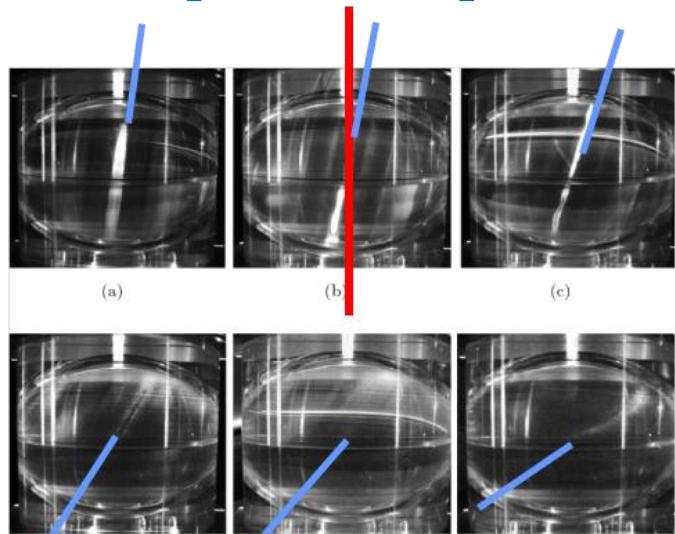
Précession de la Terre

EXPERIENCE DE PRECESSION DE LA TERRE



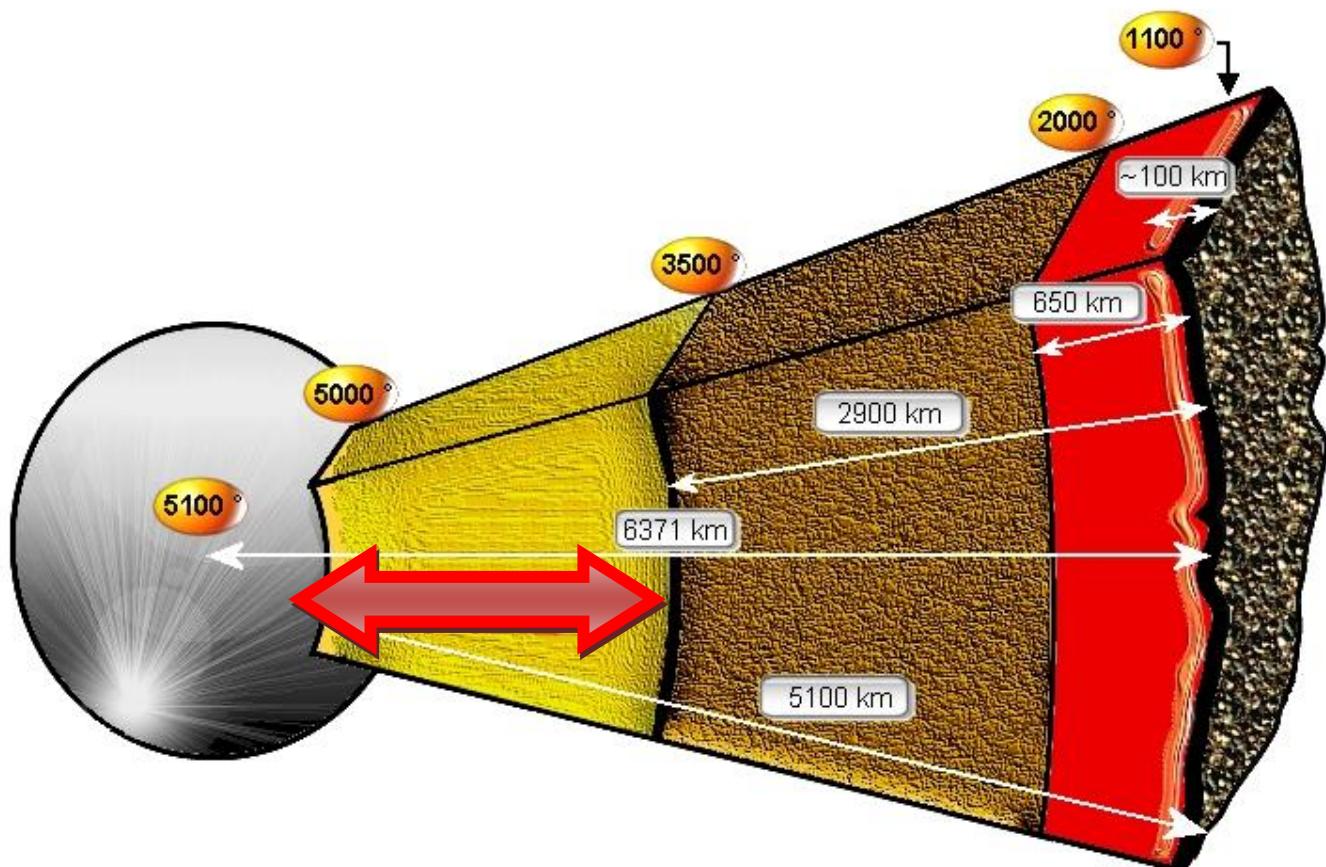
FIG. 3.2 – Vue d'ensemble du dispositif expérimental CICERON.

Laboratoire : expérience de précession de la Terre



Résultats expérimentaux : décalage des axes de rotation en fonction du forçage.

B) MOUVEMENTS D'ORIGINE THERMIQUE

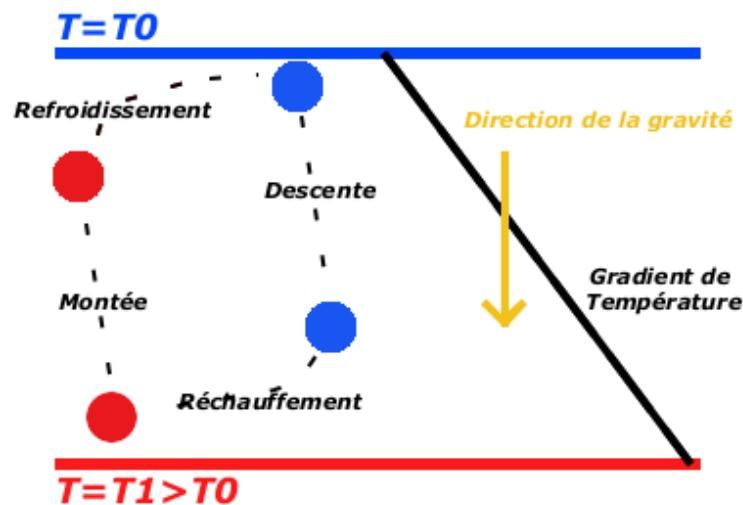


Doc Carbur d'après « La naissance de la Terre » Pour la Science N° 329, 2005

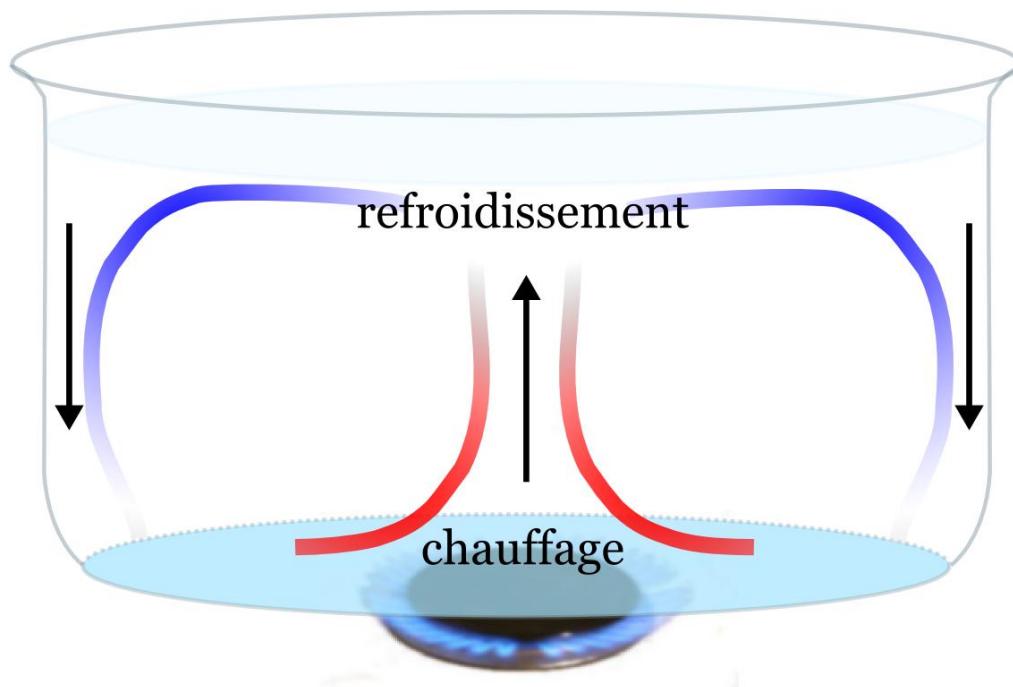
Coupe de la Terre

La différence de température de 1500 ° C génère des mouvements de convection dans le noyau externe représenté en jaune, entre la graine et le manteau.

LA CONVECTION

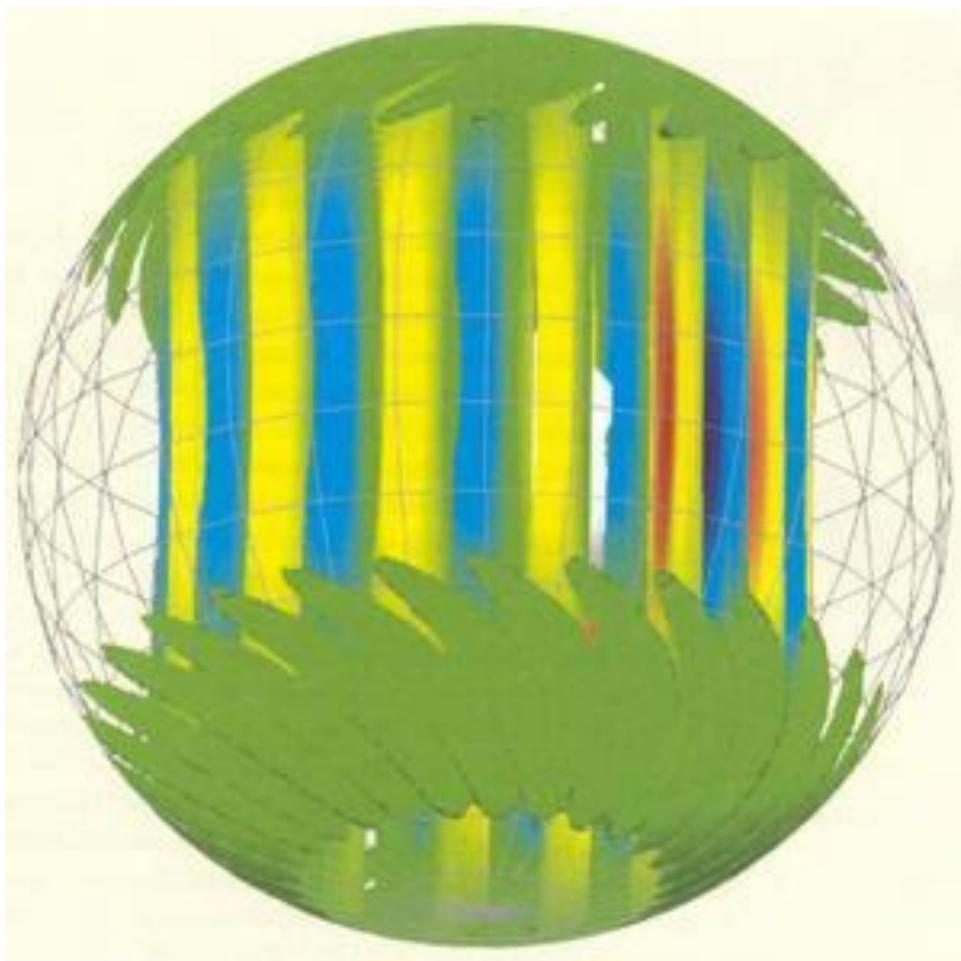


Principe de la convection



Convection à l'intérieur d'une casserole

SIMULATION NUMERIQUE DE CONVECTION



Modélisation numérique des colonnes de convection dans le noyau liquide.

Convection + rotation

Les colonnes de convection sont parallèles à l'axe de rotation.

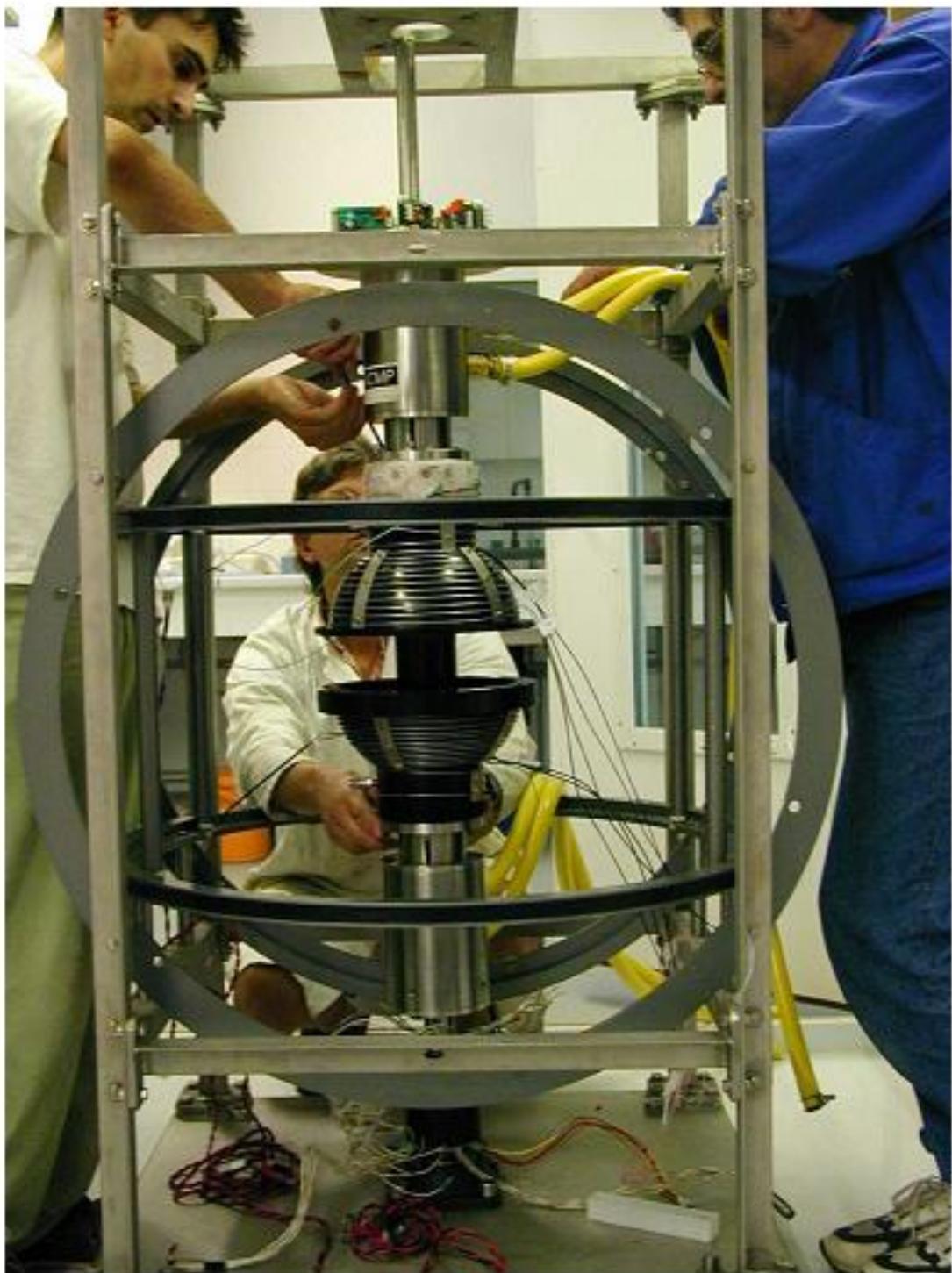
EXPERIENCE DE CONVECTION EN EAU



Expérience de convection en eau.

Inversion du gradient de température et de la gravité.

EXPERIENCE DE CONVECTION EN GALLIUM



Montage de l'expérience :
On voit les 2 demi-coquilles en cuivre recouvertes
d'isolant.

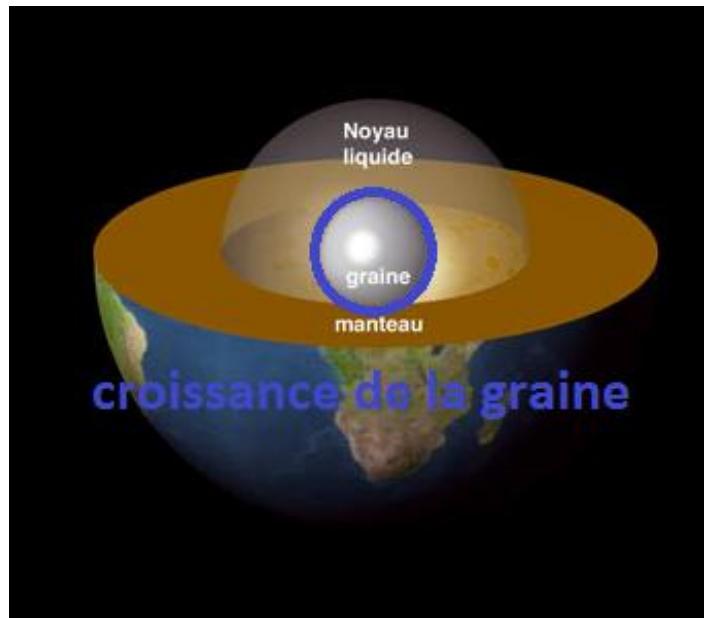
EXPERIENCE DE MAGNETO CONVECTION



Expérience de MAGNETO CONVECTION En gallium liquide

**Addition du champ magnétique toroïdal généré par
les 400 tours de fil.**

C) CRISTALLISATION DE LA GRAINE



**LA GRAINE AUGMENTE DE DIAMETRE
LES ELEMENTS LEGERS RELACHES
GENERENT DU MOUVEMENT DANS LE LIQUIDE**

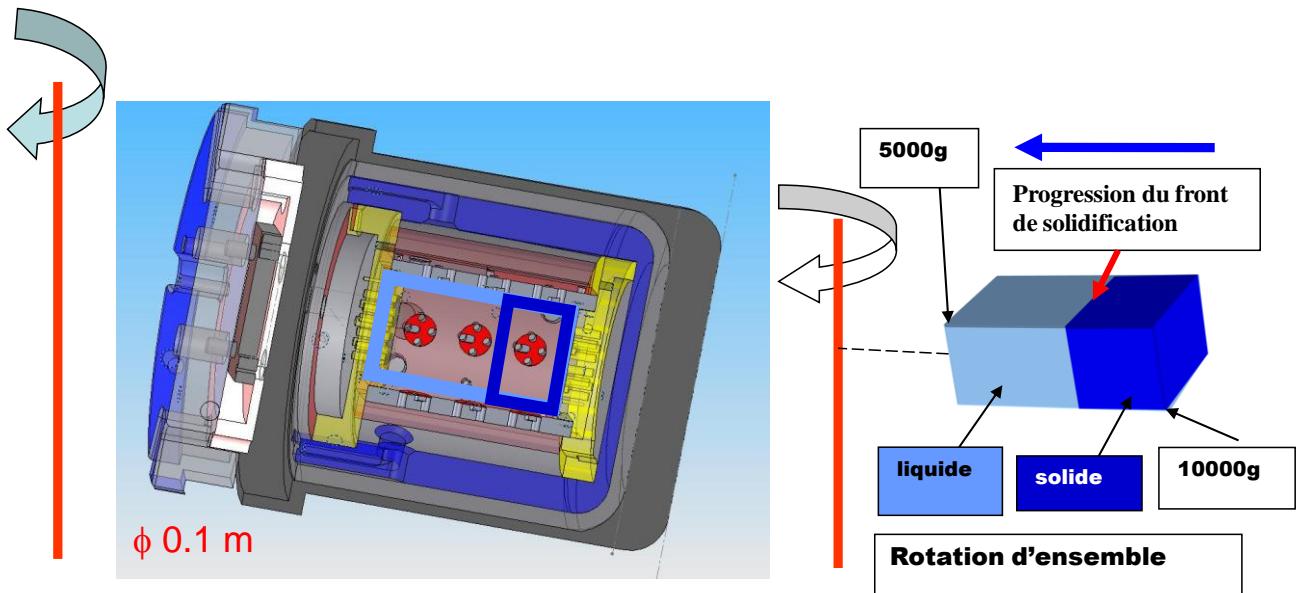
**Ordre de grandeur 100 tonnes par seconde
soit radialement ~ 1 micron par seconde .**

Phénomène de "convection thermosolutale" due à la cristallisation de la graine.

Les éléments légers relâchés se déplacent radialement du centre vers l'extérieur.

EXPERIENCE DE CRISTALLISATION DE LA GRAINE

SOLIDIFICATION à 50° C sous **gradient de pression**



5

Expérience embarquée dans une centrifugeuse

Observation de l'avancée et de la structure du front de solidification par une méthode ultrasonore.

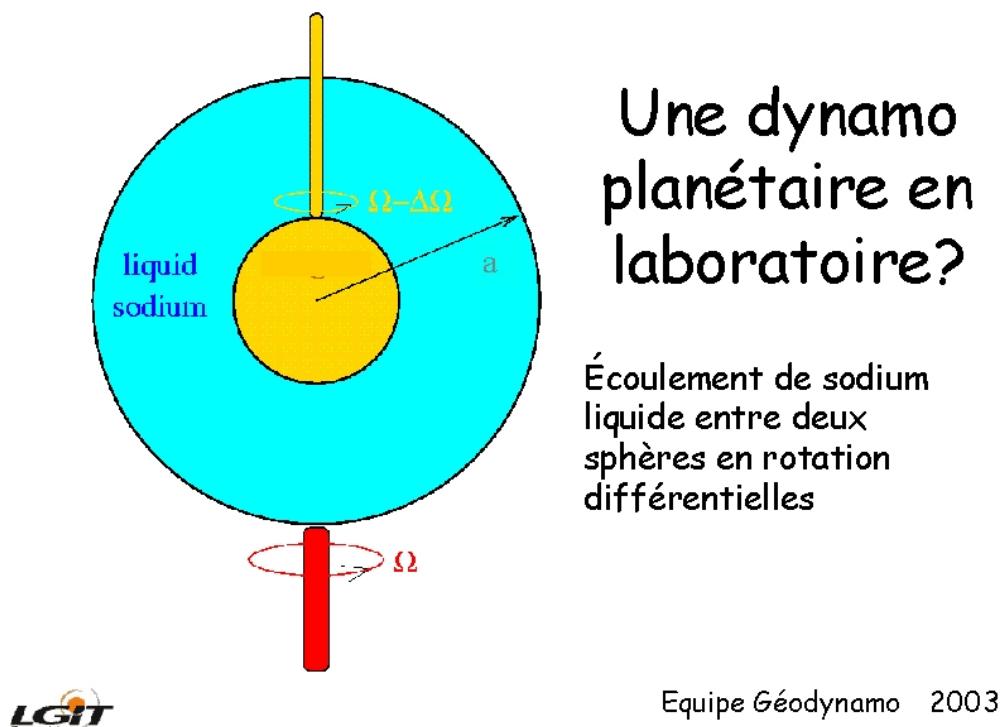
SIMULATION PLUS GLOBALE

IMPOSSIBILITE DE SIMULER LA CONVECTION

**ROTATION et FORCES MAGNETIQUES
AIMANT AU CENTRE : FORCES MAGNETIQUES**

**Reynolds magnétique "grand" : $Rm = * \mu_0 \sigma L v$
 ⇒ SODIUM**

Danger : eau



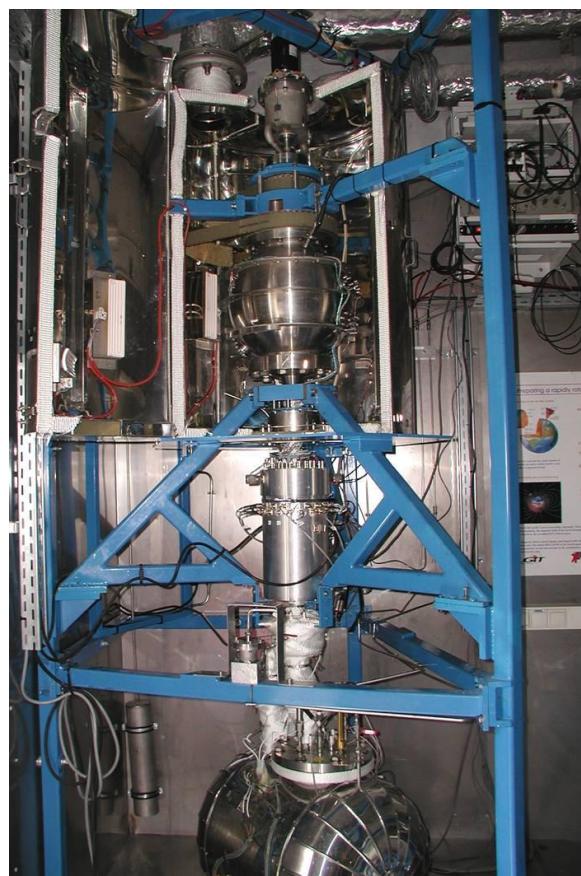
Equipe Géodynamo 2003

Attendre une dynamo : NON

**CONNAITRE LE CHAMP DE VITESSES
DANS LE SODIUM LIQUIDE
ET
AFFINER LES MODELES NUMERIQUES**

* μ_0 perméabilité du vide = $4\pi \times 10^{-7}$ kg · m · A⁻² · s⁻²; conductivité électrique = 21×10^6 S · m⁻¹(cuivre Conductivité électrique 59,6 $\times 10^6$ S · m⁻¹)

EXPERIENCE DTS



Techno : - Joint sodium : accouplement magnétique de puissance

- Inertage par argon
- Vanne magnétique
- Magnetomètres miniatures haute température
- Sphère taillée dans la masse

DETAILS DE L'EXPERIENCE DTS



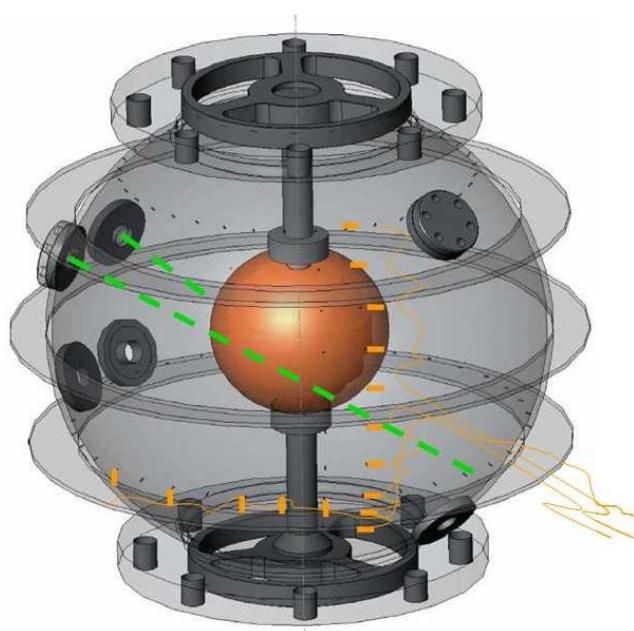
© H. Raguet/CNRS Photothèque

MESURES :

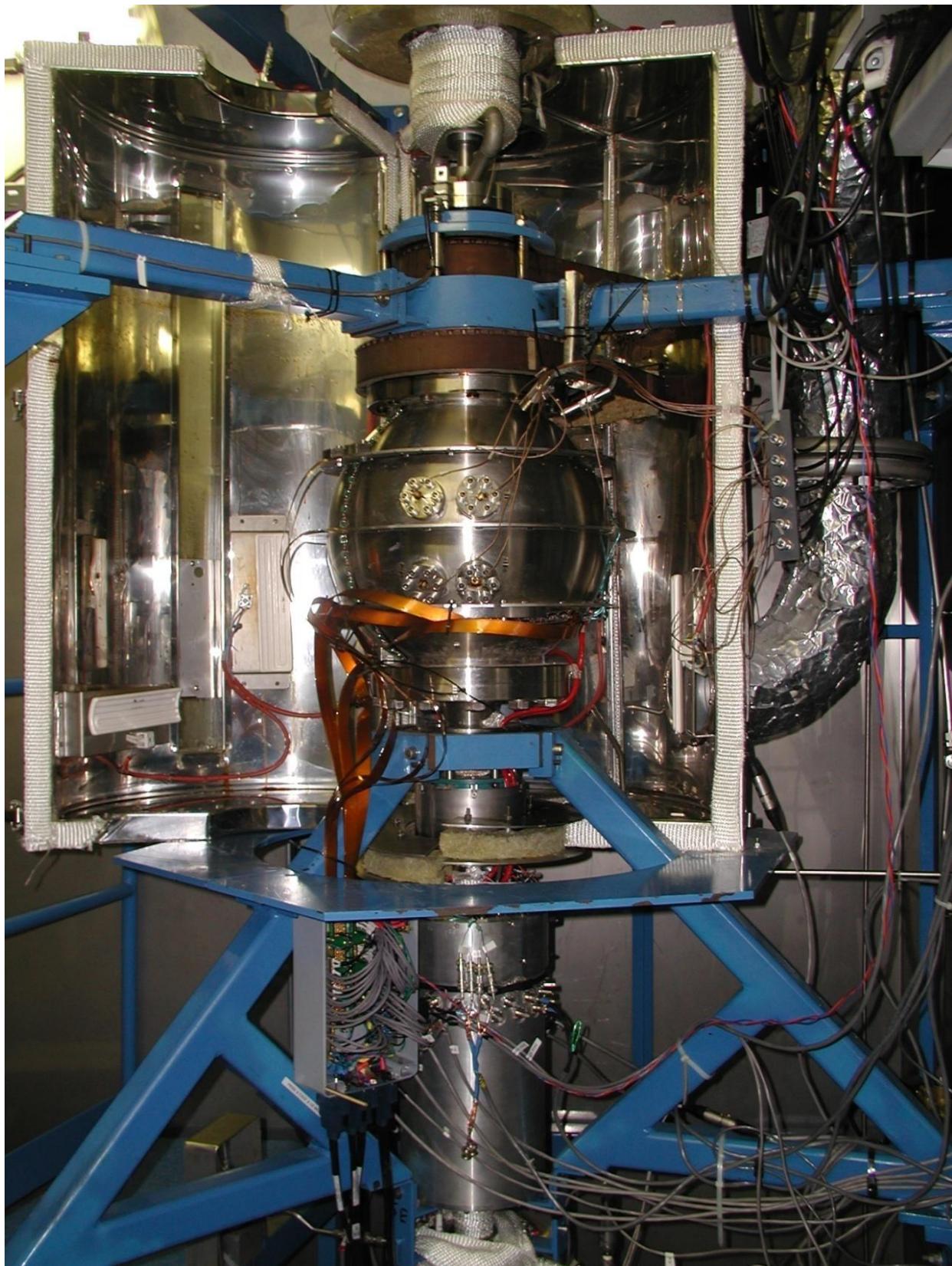
Sondes doppler

Sondes de
Potentiel

Magnétomètres :
Patrick La Rizza



INSTRUMENTATION DTS

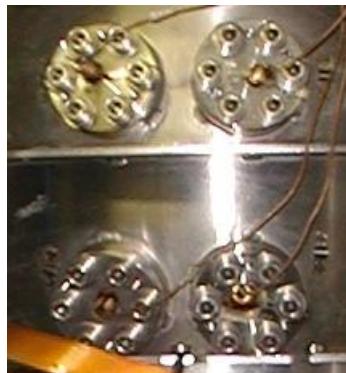


INSTRUMENTATION DTS

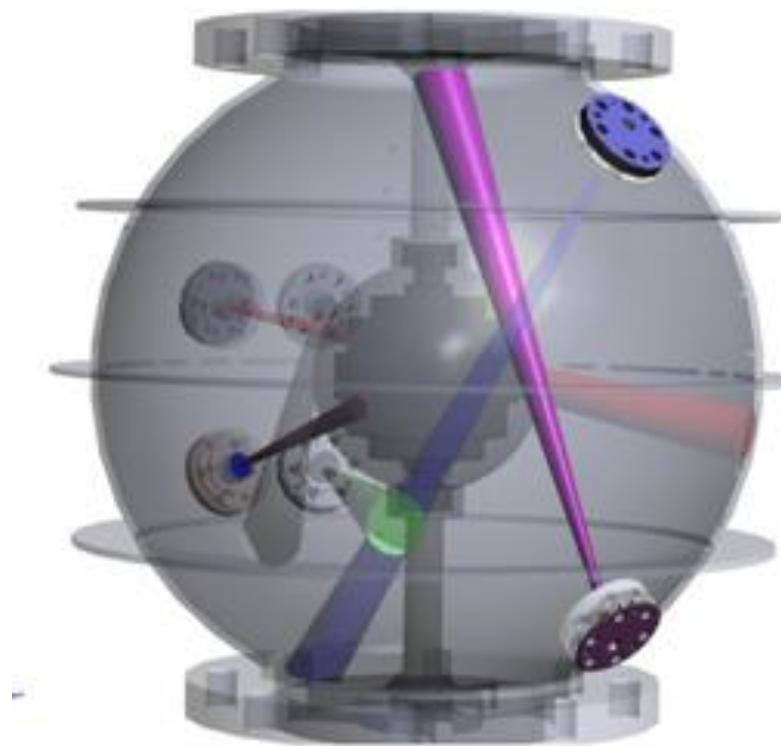


DETAIL DE L'INSTRUMENTATION

Sondes Doppler



Magnétomètres 150°C



Trajet des faisceaux ultrasonores

En pdf 3 D : [20110201 article sphere DTS.PDF](#)

EXEMPLE DE RESULTATS :

- Reconstruction du champ de vitesse
- Zone de survitesse "découverte"
- Différents types d'ondes identifiées : **Alfven**

Pour plus de détails :

<http://isterre.fr/recherche/equipes/geodynamo/Experience-DTS>