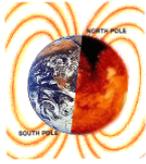


# Les Dynamos expérimentales.



*GDR DYNAMO, 12-13 Juin 2003.*

*CEA Saclay, Centre de l'Orme des Merisiers.*

Daniel BRITO, Équipe Géodynamo, LGIT.



UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER  
SCIENCES. TECHNOLOGIE. MÉDECINE. GRENoble - ALPES



## Pourquoi faut-il continuer les expériences?

• Les expériences ont toujours été des guides pour la théorie et la compréhension physique...

• Les expériences couvrent (bien souvent) une gamme de **paramètres inaccessibles** à la modélisation numérique et peuvent plutôt être vues comme

1. Une vérification des calculs numériques.
2. Un moyen d'améliorer la modélisation numérique et théorique (modèle de viscosité turbulente par exemple).
3. Un moyen d'identifier des phénomènes physiques jamais « entrevues » théoriquement ou numériquement.

• Amélioration des techniques expérimentales ...

## Pourquoi faut-il continuer les expériences?

On va aussi vérifier à travers l'exposé que si on comprend beaucoup de données dans les expériences MHD, il reste encore bien des points d'interrogations...

## PLAN de l'exposé

1. Des paramètres physiques importants pour la modélisation expérimentale de la dynamo.

2. Historique des expériences dynamo.

3. Les deux succès récents en dynamo fluide.

Riga, Karlsruhe.

~80 ~94

4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire.

College Park, Madison, Cadarache, Grenoble, Socorro, Meudon.

~97 ~97 ~96 ~93 ~01 ~00

Conclusion

# 1. Des paramètres physiques importants pour la modélisation expérimentale de la dynamo.

## 1. Des paramètres physiques importants pour la modélisation expérimentale de la dynamo.

• Le nombre de Reynolds magnétique: compare le temps d'advection du champ magnétique au temps de diffusion.

$$\text{Re}_m = \frac{\text{induction}}{\text{diffusion}} = \frac{UL}{\lambda} = \mu \sigma UL$$

Dynamo: condition nécessaire  $\text{Re}_m \gg 50$

•  $\mu$ : difficile de le varier. (Martin et al., 2000; Frick et al., 2002)

•  $\sigma$ :  $\sigma_{\text{sodium}} = 3 \sigma_{\text{gallium}} = 10 \sigma_{\text{mercure}}$ .

•  $\sigma \downarrow$  avec la température  $\Rightarrow$  manips courtes OU refroidisseur.

• Effet  $\beta$  ( $\downarrow$  de  $\sigma$  avec la turbulence) observée (?) (Reighart and Brown, 2001).

• U et L les plus grands « possibles ».

1. Des paramètres physiques importants pour la modélisation expérimentale de la dynamo.

•Le nombre de Reynolds magnétique: compare le temps d'advection du champ magnétique au temps de diffusion.

$$Re_m = \frac{\text{induction}}{\text{diffusion}} = \frac{UR}{\lambda} = \mu \sigma UD$$

Dynamo: condition nécessaire  $Re_m \gg 50$

Dynamo en laboratoire, condition « nécessaire »: utiliser du SODIUM

$$Re_m = \frac{\nu UR}{\lambda \nu} = P_m Re \Rightarrow Re > 10^6 \quad P_m \sim 10^{-6}$$

Dynamo turbulente !!

1. Des paramètres physiques importants pour la modélisation expérimentale de la dynamo.

•Le nombre de Reynolds magnétique.

•Puissance à injecter pour réaliser une expérience MHD turbulente

$$P \approx \rho \lambda^3 \frac{R_m^3}{L} \quad (\text{Nataf, 2003})$$

• $\rho \lambda^3 \sim 1$  pour le sodium.

•Prenons  $R_m = 50$ ,  $(R_m)^3 \sim 10^5$

•Si  $L = 1\text{m} \rightarrow P \sim 100 \text{ kW}$ , si  $L = 0.3\text{m} \rightarrow P > 300 \text{ kW}$

CCL: L peut être petit en théorie... mais en pratique cela amène à devoir évacuer une énorme puissance à travers un petit volume: difficile!!

Difficile de faire une manip dynamo sur un coin de table avec du sodium et une telle puissance!

Sodium + Puissance = coûts élevés.

1. Des paramètres physiques importants pour la modélisation expérimentale de la dynamo.

• Conditions **NECESSAIRES**:

$$Re_m = \frac{UR}{\lambda} \geq 50$$

$$P \approx \rho \lambda^3 \frac{R_m^3}{L} \approx 100 \text{ kW pour } L=1 \text{ m}$$

**MAIS PAS SUFFISANT!**

• Il faut ensuite un champ de vitesse  $U$  adéquat pour générer un champ magnétique auto-entretenu!!! (éq. d'induction).

## 2. Historique des expériences dynamo.

## 2. Historique des expériences dynamo.

Le point de départ:

•(Larmor, 1919): à propos de la dynamo solaire

« ... possible for the internal cyclic motion to act after the manner of the cycle of a self-exciting dynamo, and maintain a permanent magnetic field from insignificant beginnings, at the expense, of some of the energy of the internal circulation ».

- Dynamo auto-entretenue.
- Conversion  $E_{\text{cinétique}}$  en  $E_{\text{magnétique}}$

## 2. Historique des expériences dynamo.

(Lehnert, 1958), le premier à utiliser Na liquide

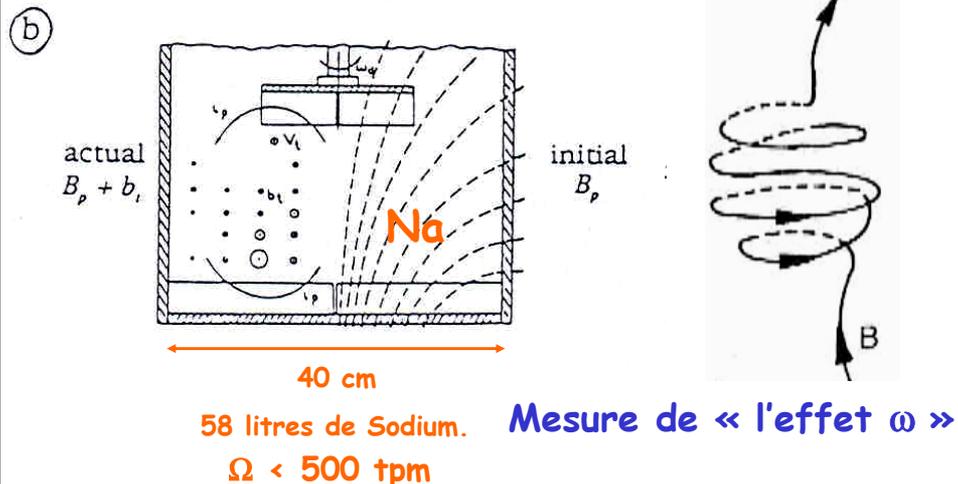


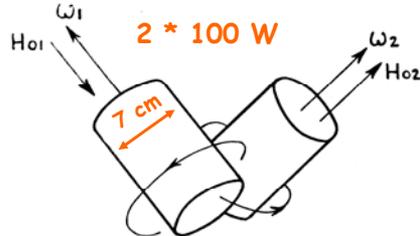
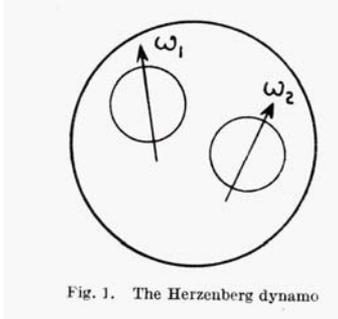
Figure tirée de (Lielausis, 1992)

## 2. Historique des expériences dynamo.

(Lowe and Wilkinson, 1963; 1968)

La première dynamo en laboratoire

(Herzenberg, 1958)

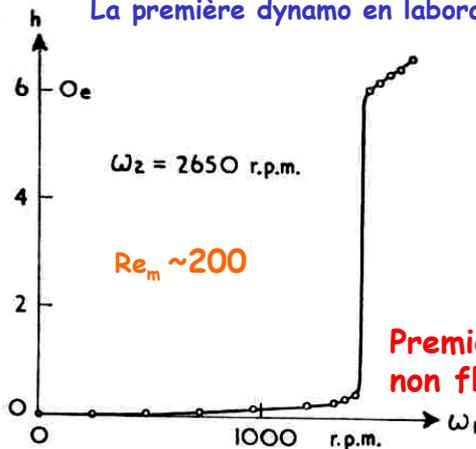


Alliage de fer ferromagnétiques (grand  $\mu$ )

## 2. Historique des expériences dynamo.

(Lowe and Wilkinson, 1963; 1968)

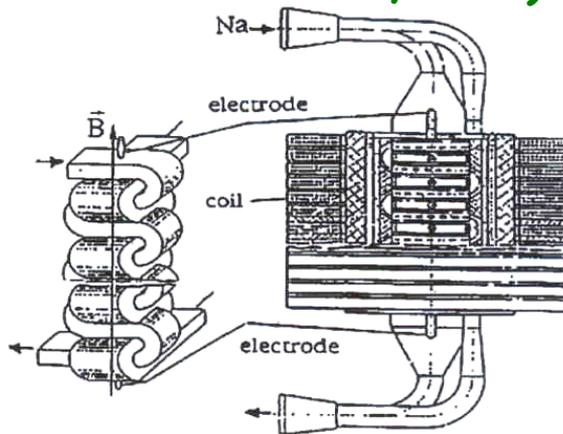
La première dynamo en laboratoire



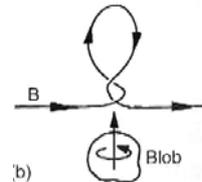
Première dynamo homogène... non fluide.

## 2. Historique des expériences dynamo.

(Steenbeck et al., 1966)



Courant induit  
parallèle à  $B_{\text{imposé}}$



Vérification expérimentale de « l'effet  $\alpha$  »: la turbulence hélicitaire peut produire un courant électrique parallèle au champ magnétique imposé.

## 2. Historique des expériences dynamo.

(Gans, 1970) Precession d'un cylindre en présence de B.

- Cylindre de sodium de 25 cm diamètre et 25 cm de haut.
- Rotation 3600 tpm, précession 50 tpm.
- Entraînement du fluide par les parois.
- Amplification du champ jusque 3 fois le champ imposé.
- $Rem \approx 20$ .

Poursuite de l'idée (Léorat, 2002)

# 3. Les deux succès récents en dynamo fluide.

## 3. Les deux succès récents en dynamo fluide.

Les dynamos de **Riga** et **Karlsruhe** reposent sur des prédictions théoriques de dynamo: (**Ponomarenko, 1973**) pour Riga et (**G.O. Roberts, 1972**) pour Karlsruhe.

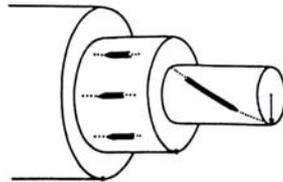
Ces deux expériences voulaient atteindre le nombre de **Reynolds magnétique critique** pour l'effet dynamo prédit par la théorie. Ils ont été atteints et ont donné **les deux premières dynamos expérimentales fluide** en 1999.

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide.

## RIGA

#### Principe:

Dynamo de (Ponomarenko, 1973): Un écoulement hélicoïdal infiniment long en contact électrique parfait avec le fluide environnant à l'arrêt.



Pour  $R_m > R_{m \text{ crit}}$  , dynamo!

Figure 2. Theoretical model: two coaxial cylinders moving as solid bodies inside a motionless shell.

(Gailitis, 1992)

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.

1987: la casse...

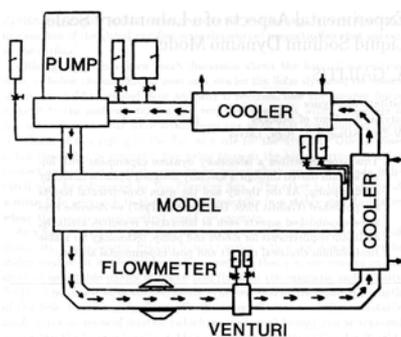


Figure 1. Test loop with pump CEMP 3/1200; device at the Efremov Institute of Electrophysical Apparatus, St. Petersburg, Russia. The reported test was carried out there in 1986.

(Saint-Petersburg, 1987)

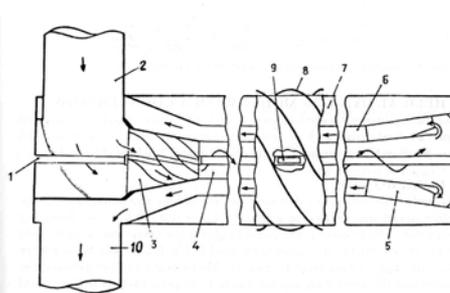


Figure 3. Experimental model. 1-Measuring channel. 2-Sodium entrance. 3-Helical labyrinth. 4-Main channel. 5-Reverse system. 6-Counterflow channel. 7-Immobile sodium. 8-Helical coil for outside excitation. 9-Coil, measuring transverse field. 10-Sodium exit.

(Gailitis et al., 1987, 1989); (Gailitis 1992).

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.

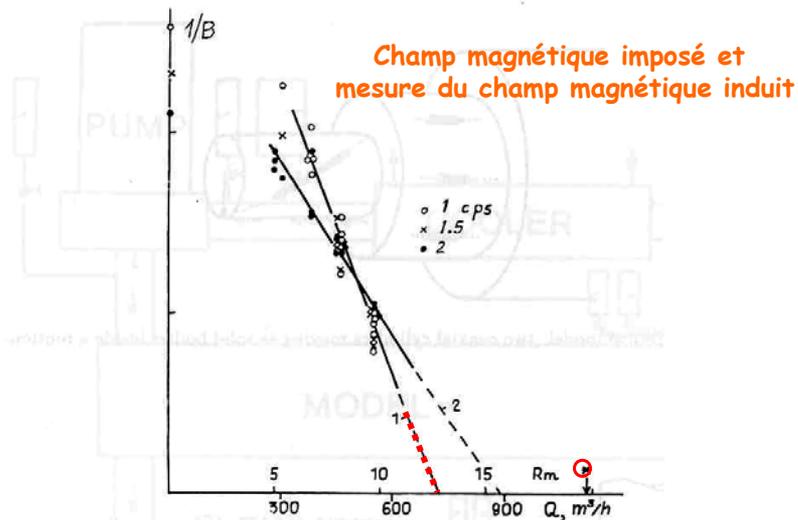


Figure 4. Measured  $1/B$  signal versus flow rate  $Q$  for three frequencies.

(Gailitis et al., 1987, 1989); (Gailitis 1992).

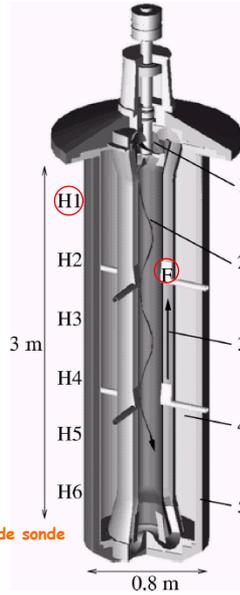
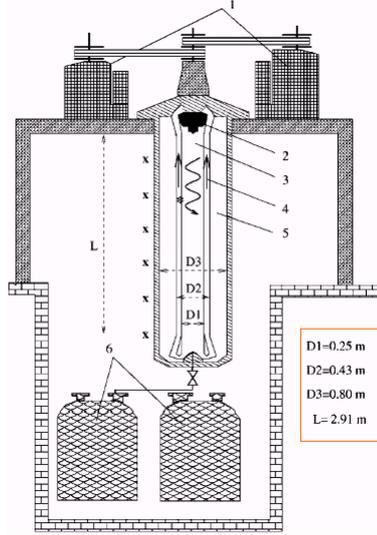
### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.

1987-1999: optimisation du champ de vitesse à l'aide d'expériences en eau (choix de la turbine), calcul de dynamo cinématique, remplacement des pompes électromagnétiques par des moteurs mécaniques entraînant des turbines.

(Gailitis, 1996); (Stefani et al., 1999)

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.

(120 kW, 1500 litres de sodium, 2200 tpm)



1. Champ magnétique induit mesurée à l'aide de sonde à effet Hall et fluxgates.
2. Puissance fournie

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

23

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.

1987: la dynamo... et la rechute

*Avec un champ magnétique imposé, 10-11 Novembre 1999.*

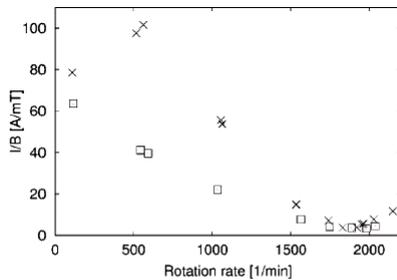
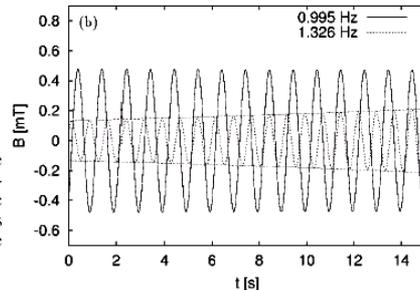
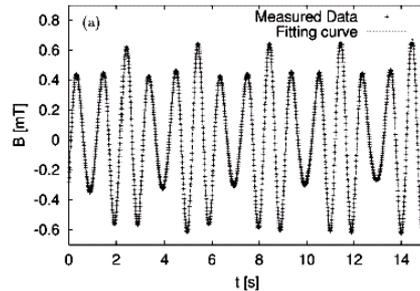


FIG. 2. Dependence of the magnetic field amplification on the propeller rotation rate for  $T = 205^\circ\text{C}$  and  $f = 1\text{ Hz}$ . The ordinate axis shows the inverse relation of the measured magnetic field to the current in the seed-field coils. Squares and crosses correspond to two different settings of the 3-phase current in the seed-field coils with respect to the propeller rotation.

(Gailitis et al., 2000)



12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

24

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.

*Sans champ imposé, Juillet 2000.*

(Gailitis et al., 2001)

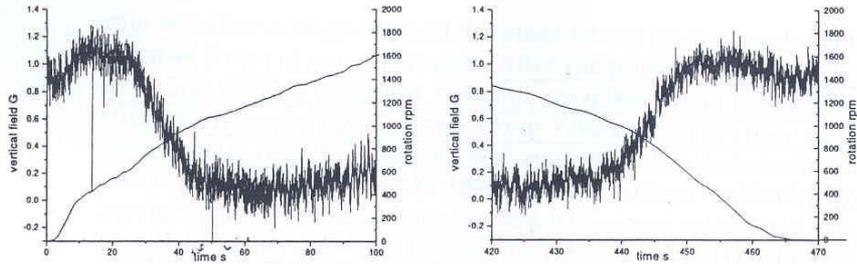
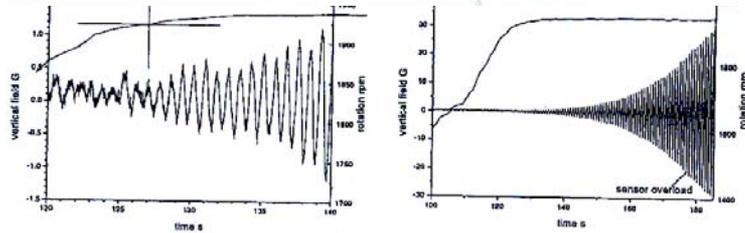


Figure 2. Deformation of the Earth magnetic field: left – at the start and right – at the end of the run

**DYNAMO !!**

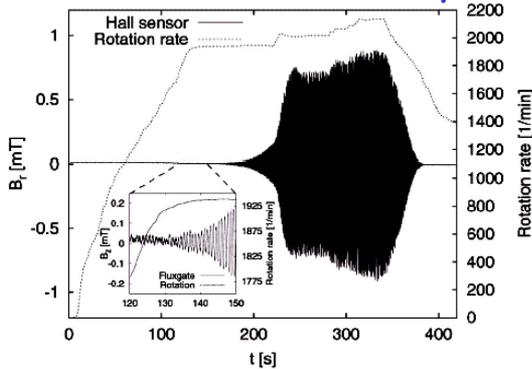


12-13 Juin 20C

Figure 3. Field starts (left) and rises almost exponentially (right)

25

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.



(Gailitis et al., 2001)

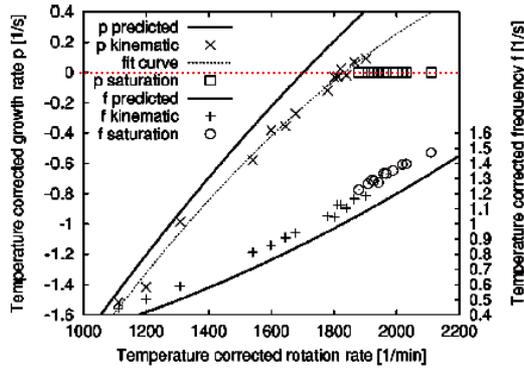
FIG. 9. One experimental run in July 2000. Rotation rate of the motors, and magnetic field measured at one Hall sensor (H4 in Fig. 6) plotted vs time. After the exponential increase of the magnetic field in the kinematic dynamo regime, the dependence of the field level on the rotation rate has been studied in the saturation regime. The temperature increased during the run from 170 to 180 °C. The inset shows the signal measured at the (inner) fluxgate sensor during the very beginning of self-excitation when the field at the (outer) Hall sensor is much below its sensitivity.

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

26

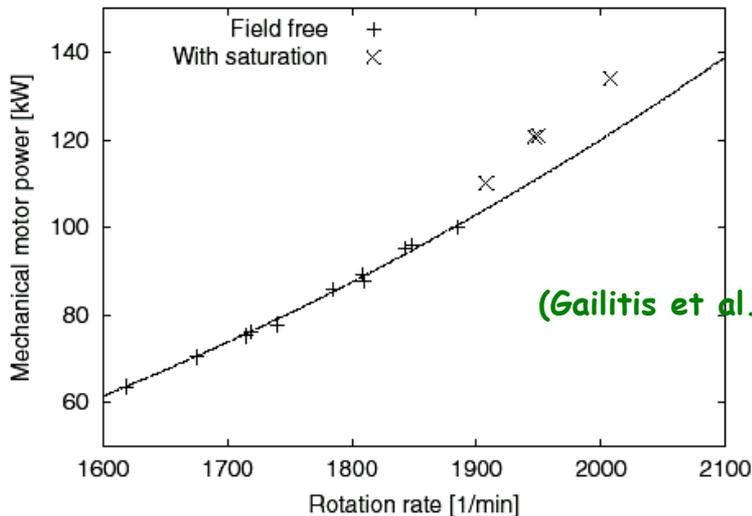
### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.



(Gailitis et al., 2002)

FIG. 10. Measured growth rates  $p$  and frequencies  $f$  for different rotation rates  $\Omega$  in the kinematic and the saturation regime, compared with the numerical predictions. The dotted line is a fit curve for the growth rates in the kinematic regime.  $\Omega$ ,  $p$ , and  $f$  at the temperature  $T$  were scaled to  $(\Omega_c, p_c, f_c) = \sigma(T)/\sigma(157^\circ\text{C}) [\Omega(T), p(T), f(T)]$  as required by the scaling properties of Eq. (4).

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. RIGA.



(Gailitis et al., 2001)

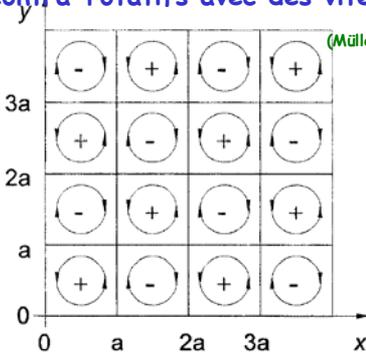
FIG. 5. Motor power below and in the saturation regime.

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide.

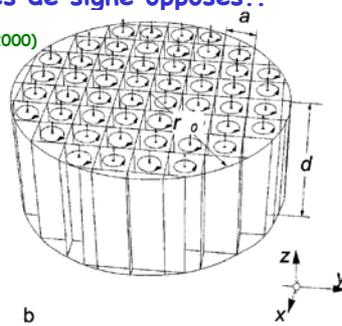
## KARLSRUHE

Principe:

Dynamo de (G.O.Roberts,1972): Écoulement infini de vortex juxtaposés contra-rotatifs avec des vitesses axiales de signe opposés..



(Müller and Stieglitz, 2000)



(Busse,1992):  $r_0, d, a/r_0 \ll 1$

Si  $a/c$  et  $V_H >$  valeurs critiques,  
DYNAMO

$$Re_{m,H} Re_{m,C} > 8\pi^2$$

$$Re_{m,H} Re_{m,C} > \frac{16a}{\pi r_0} \left[ 1 + \left( \frac{3.83d}{\pi r_0} \right)^2 \right]$$

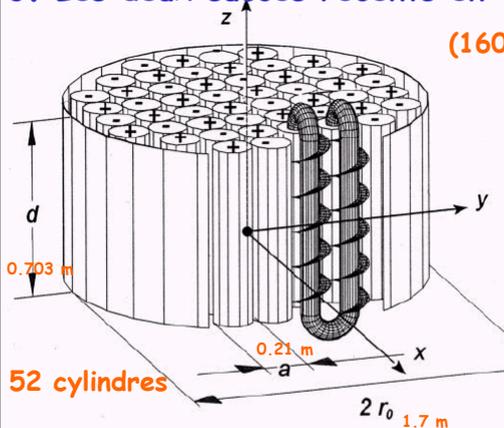
12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

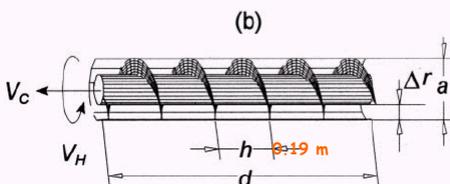
29

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. KARLSRUHE.

(1600 litres Sodium, 630 kW)



52 cylindres



$$V_c = V_h = 115 - 150 \text{ m}^3/\text{h}$$



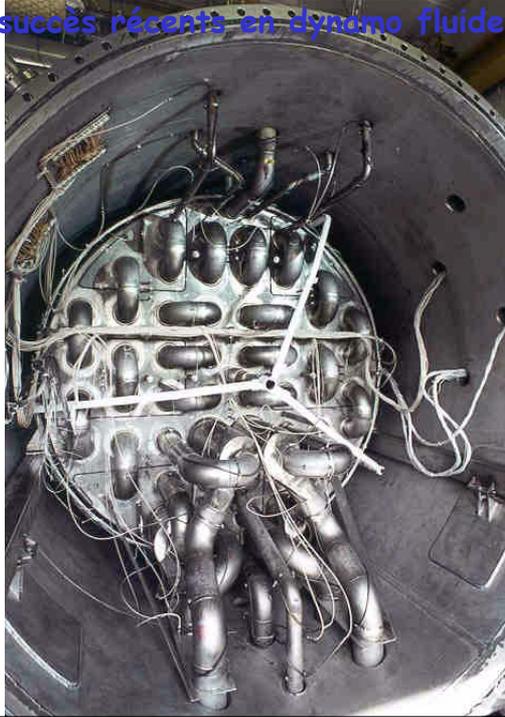
1. Champ magnétique induit mesurée.
2. Débit des pompes électromagnétiques.

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

30

3. Les deux succès récents en dynamo fluide. KARLSRUHE.

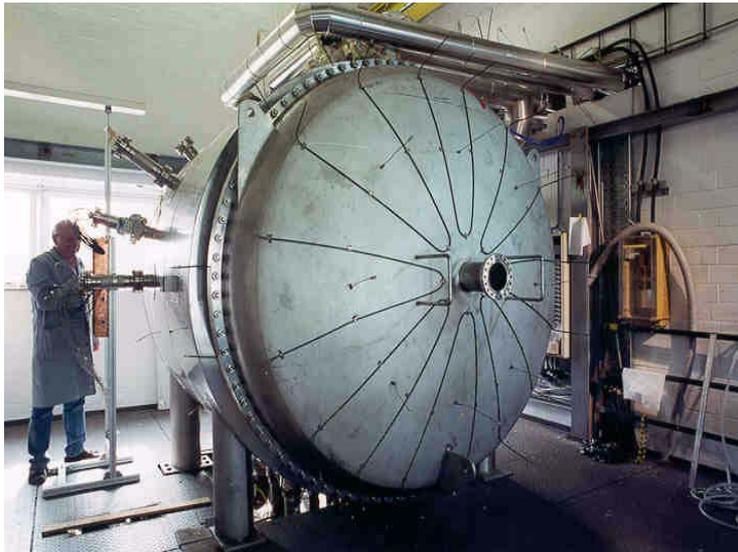


12-13 Juin 2003

D. Brito.

31

3. Les deux succès récents en dynamo fluide. KARLSRUHE.

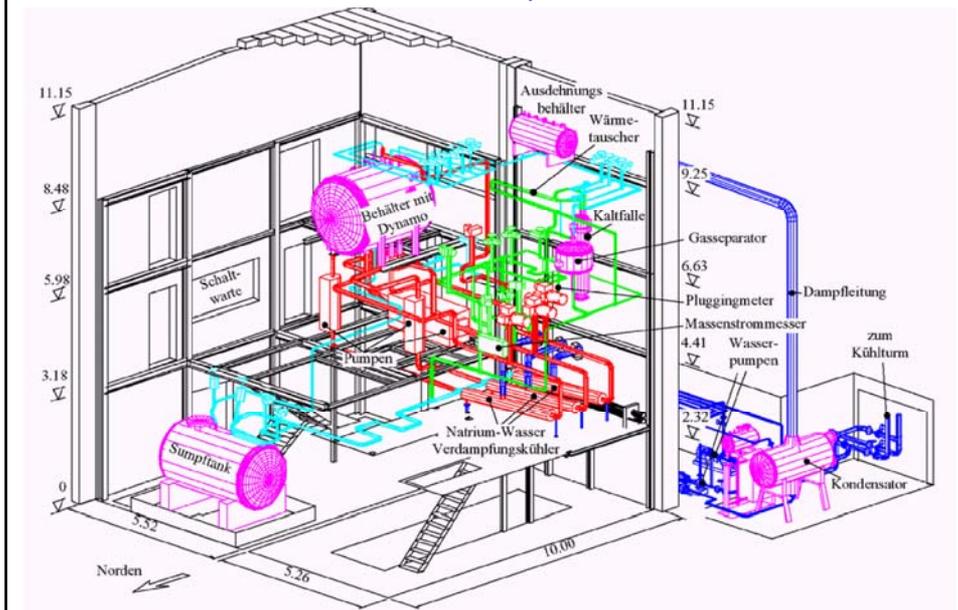


12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

32

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. KARLSRUHE.



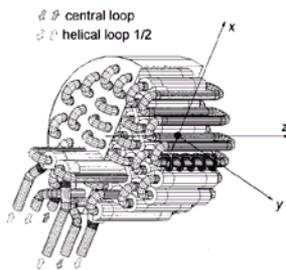
<http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/vvv/fzk/6223/>

12-13 Juin 2003

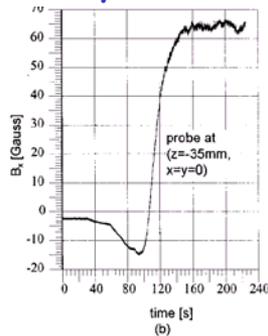
GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

33

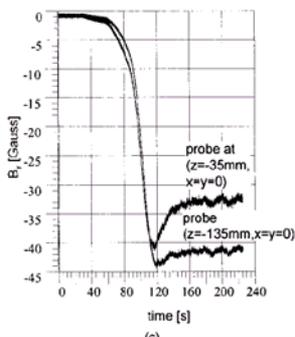
### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. KARLSRUHE.



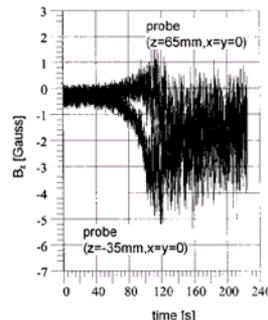
(a)



(Müller and Stieglitz, 2000)



(c)



(d)

(Stieglitz and Müller, 2001)

12-13

Brito.

34

### 3. Les deux succès récents en dynamo fluide. KARLSRUHE.

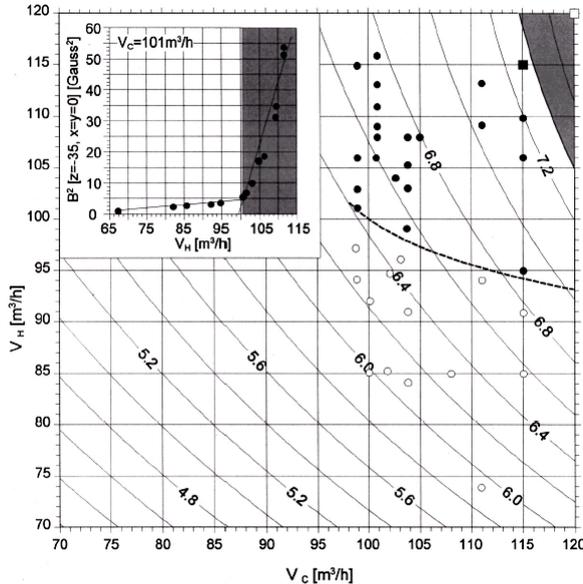


FIG. 3. Stability diagram for the onset of dynamo action as a function of the central flow rate  $V_c$  and the helical flow rates  $V_H$ . The filled dots denote experimentally measured dynamo action, open dots denote nondynamo. The dashed line indicates the experimentally obtained marginal stability curve, defined by a regression of the steep increase of the magnetic energy ( $-B^2$ ) with  $V_H$  (see subgraph in the upper left). The gray-marked domain specifies the calculated flow rate domain for the existence of a dynamo by Rädler *et al.*<sup>11,12</sup> The isolines show the values of a combined modified magnetic Reynolds number according to the mean-field model of Rädler *et al.*<sup>11</sup> The symbols  $\square$  and  $\blacksquare$  indicate Tigner's<sup>9</sup> calculations for onset of dynamo action.

(Stieglitz and Müller, 2001)

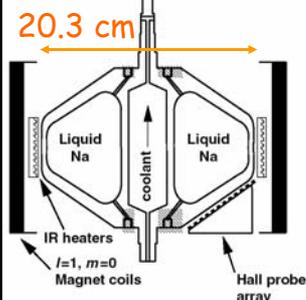
### 3. Conclusion.

- 2 dynamos avec des écoulements fortement contraints.
  - . Pas d'évidence de rétroaction des forces de Lorentz
  - . Théorie avec écoulement laminaire prédit le bon seuil..
  - . Saturation du champ pas encore bien comprise.
- voir (Pétrélis et Fauve, 2001)

# 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire.

## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. College Park.

Une dynamo convective??



1.5 litres

6000 rpm  $Rm < 8$

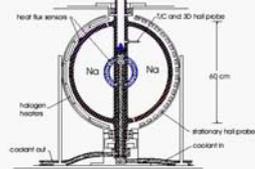
(Lathrop et al., 2001)

Mesure du champ magnétique induit

(Aubert et al., 2001)  $U=0.1$  m/s, pour  $R=1$  m et 100kW de chauffage!

(Shew et al., 2002)

Fig. 3. Cross section of rotating convection apparatus. The sphere will rotate up to 100 RPS. Heat lamps shining on the outside surface and coolant fluid pumped through the inner sphere produces a temperature difference across the shell gap. The temperature difference combined with centrifugal forces drives convection in the sodium.



1. Mesure du champ magnétique induit
2. Mesure du flux de chaleur,  $T$   
6000 tpm,  $E \sim 10^{-8}$ ,  $\Delta \sim 1$ ,  $Rm < 10$

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. College Park.

Une dynamo forcée mécaniquement ??

Une dynamo Dudley et James 's2t2'?

*Principe:* écoulement contra-rotatif dans l'hémisphère Nord et Sud avec du pompage vers l'équateur dans chaque hémisphère.

Dudeley et James:  $Re_m$  critique = 55.

(a)



12-13 Juin 2003

D. Brito.

39

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. College Park.

(Lathrop et al., 2001)

(a)



(b)

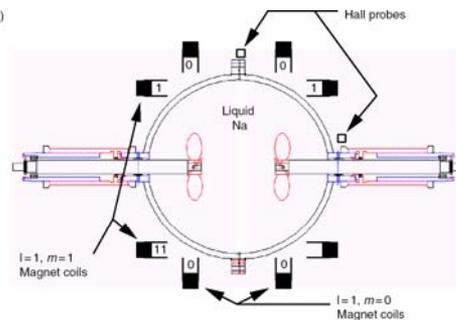


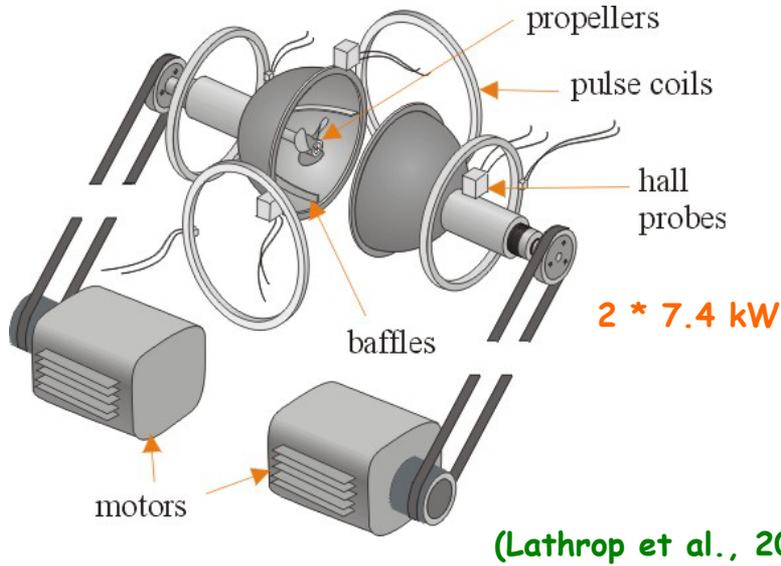
Figure 1. Flow pattern due to the propellers (a) has poloidal flow outward along the axes and hemispherical shear in the toroidal flow. A cross-section of the mechanically forced experiment (b) shows independently rotating shafts which each drive propellers. The axial location of the propellers is adjustable. Separate Helmholtz coil pairs supply excitation magnetic field along the z-axis (dipole field with  $m = 0$ , along the shaft axis) and along the x-axis (dipole field with  $m = 1$  at right-angles to the shaft axis).

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo

40

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. College Park.

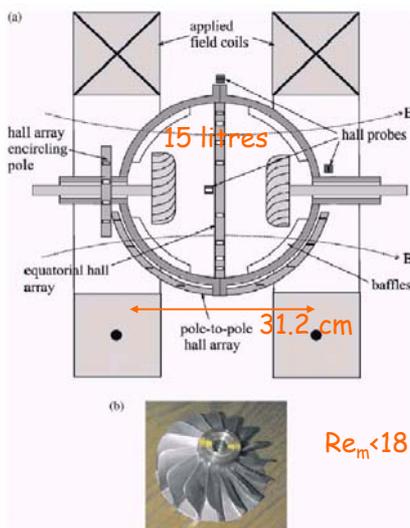


12-13 Juin 2003

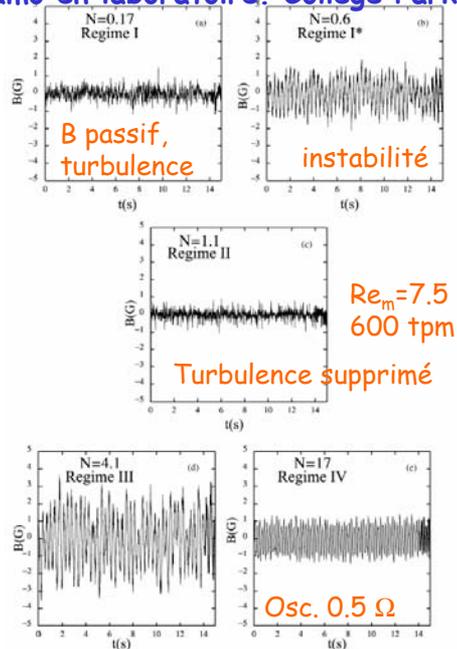
GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

41

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. College Park.



Mesure du champ magnétique induit  
(Sisan et al., 2003)



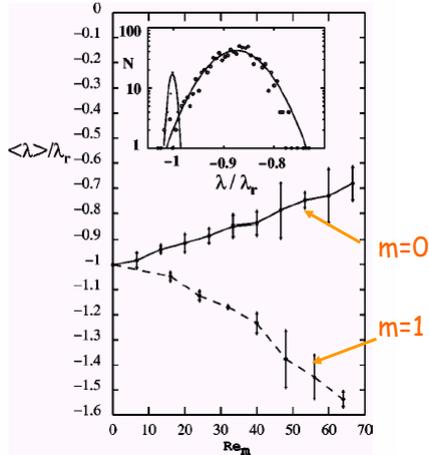
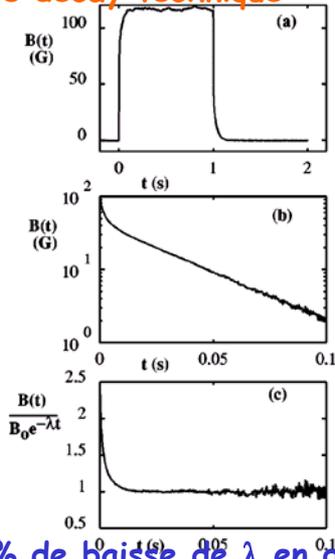
12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

42

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. College Park.

##### Pulse decay technique



(Peffley et al., 2001)

35% de baisse de  $\lambda$  en direction de la dynamo pour  $m=0$  !!

$R_{mc} \sim 200$  ?

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

43

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. College Park.

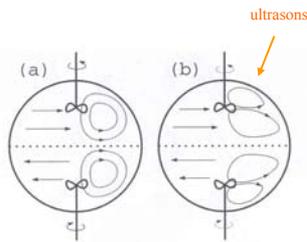
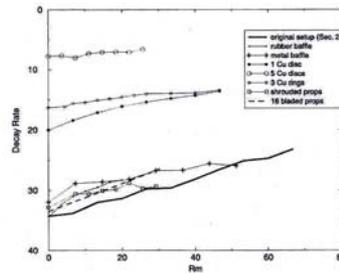


Figure 4. The design of the experiment was motivated by the  $s2f2$  Dudley and James flow (a). The flow we actually have is different (b). The propellers tend to fling the sodium radially away from the center rather than pump in circles like the  $s2f2$  flow.



Sandwich Cu, déflecteurs, position disques...

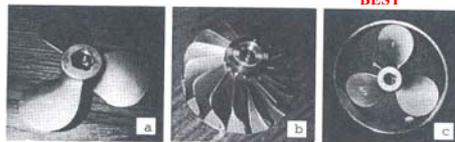
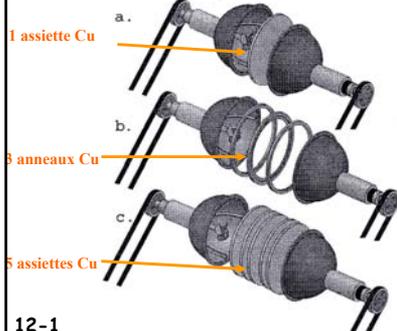


Figure 7. Photographs of three different propellers used: a 6.35 cm radius marine propeller a), a 6.35 cm radius 16 bladed jet turbine impeller b), and a shrouded 7.62 cm radius marine propeller c).

(Shew et al., 2002): « Hunting for dynamos: eight different liquid sodium flows ... »

12-1

s dynamos expérimentales - D. Brito.

44



#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire.Cadarache.

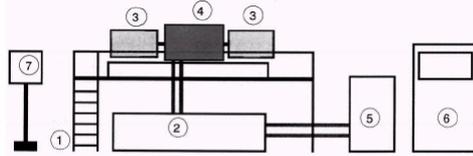
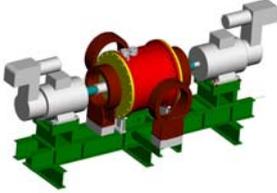
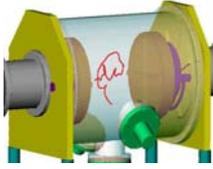


FIG. 1. Sodium experiment: (1) experimental platform, (2) sodium tank (270 l), (3) motors, (4) flow vessel (70 l, detailed in (2)), (5) sodium purification unit, (6) control unit, (7) argon circuit command.

70 litres sodium, 2\*75 kW, 1500 tpm,  $R_m < 50$   
Mesure du champ magnétique induit, de la pression dynamique

$R=20\text{ cm}$ ,  $H=2R$



Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

47

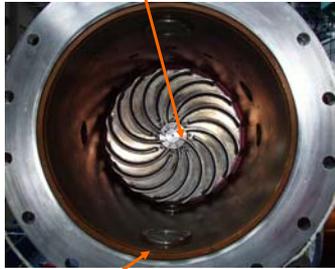
#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire.Cadarache.



#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Cadarache.

La phase « d'optimisation »: manip en eau, dynamo cinématique....

Poloidal / Toroïdal  $\approx 0.8$



1 cm cuivre (surface Conductrice,  $R_{mc} \downarrow$ )

$R_{mc} \sim 70$  or  $R_m \max \sim 55$   
(Marié et al., 2001)  
(Bourgoin et al., 2002)

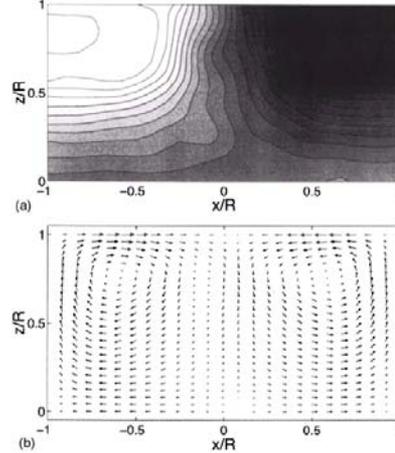


FIG. 3. Mean velocity field in the water experiment: (a) toroidal and (b) poloidal component of the velocity in the meridional plane. The abscissa corresponds to the normalized axial direction with the disks located at  $x/R = \pm 1$ , and the ordinate corresponds to the normalized radial direction (with  $z/R = 0$  at the center of the disks). In this measurement, the rotation rate of the disks is  $\Omega = 5$  Hz.

LDV et UDV

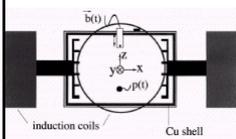
12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

49

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Cadarache.

(Bourgoin et al., 2002)



$N \ll 1$   
 $B_0$  passif

Saturation à grand  $B_0$ ?  
• Modif. de  $V$   
• Expulsion flux

$R_m = 65$  atteint  
( $\uparrow 1^\circ\text{K/s}$ )  $\rightarrow$  refroidisseur

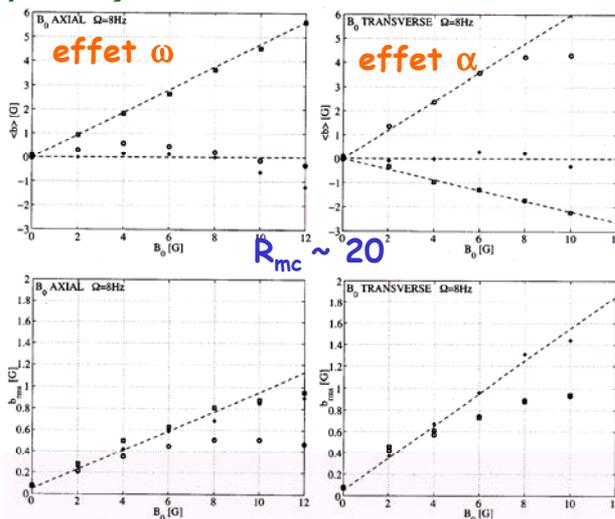


FIG. 7. Mean and standard deviations of the induced field as a function of the applied one, for counter-rotating disks at  $\Omega = 8$  Hz ( $R_m = 20$ ). (Left-hand side)  $B_0$  is applied along the axis of rotation; (right-hand side)  $B_0$  perpendicular to the axis of rotation. (C) Axial component  $b_z$  of the induced field, (□) transverse component  $b_r$ , (+) vertical component  $b_z$ . The measurement probe is located near the midplane, 10 cm from the axis of rotation. The dashed lines show first-order linear variation, to serve as a guide to the eye.

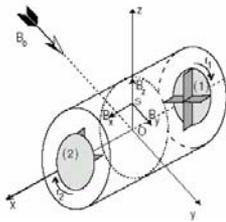
12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

50

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Cadarache.

(Pétrélis et al., 2003)



1 disque,  
 $B_0$  passif,  
 $N \sim 10^{-4} - 10^{-2}$

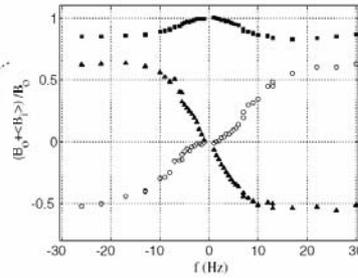


FIG. 2. Components of the total mean magnetic field as a function of the rotation frequency of disk (2). The disk radius is  $R = 150$  mm with straight blades. Four baffles are mounted on the inner wall of the cylindrical vessel. The magnetic field is measured at  $z = 100$  mm. [ $\circ$ ]  $\frac{\langle B_x \rangle}{B_0}$ ; [ $\blacksquare$ ]  $\frac{\langle B_y \rangle}{B_0}$ ; [ $\blacktriangle$ ]  $\frac{\langle B_z \rangle}{B_0}$ .

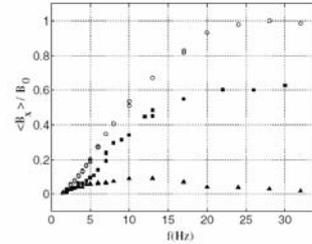


FIG. 3. Axial mean component of the induced magnetic field as a function of the rotation frequency of disk (2) for different depths  $z$ : ( $\blacktriangle$ )  $z = 42$  mm; ( $\blacksquare$ )  $z = 100$  mm; ( $\circ$ )  $z = 150$  mm. Same experimental configuration as in Fig. 2.

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire.

Madison. Dudley et James sphérique.

Numérique  $\rightarrow$   $\tau_2 s_2$  meilleur candidat ( $R_{mc} \downarrow 47$ )

(Forest et al., 2002)

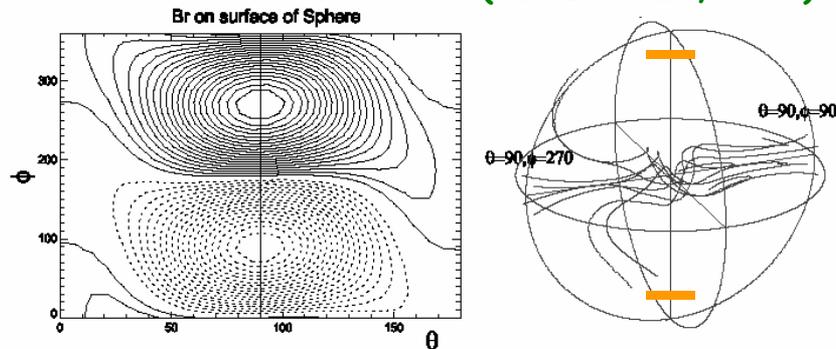


Fig. 3. The magnetic eigenmode of the  $\tau_2 s_2$  dynamo. The left panel is a contour plot of the radial component of the magnetic field on the surface of the sphere. From here it is seen that the magnetic field peaks at the equator. The axis of symmetry for the flows lies along the  $z$ -axis. The vacuum field is almost entirely a dipole moment pointing out at the equator. The right panel shows some magnetic field lines for the eigenmode which enter the sphere along the dipole moment.

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Madison. Dudley et James sphérique.

Retrouver expérimentalement le profil numérique!!

(Forest et al., 2002)

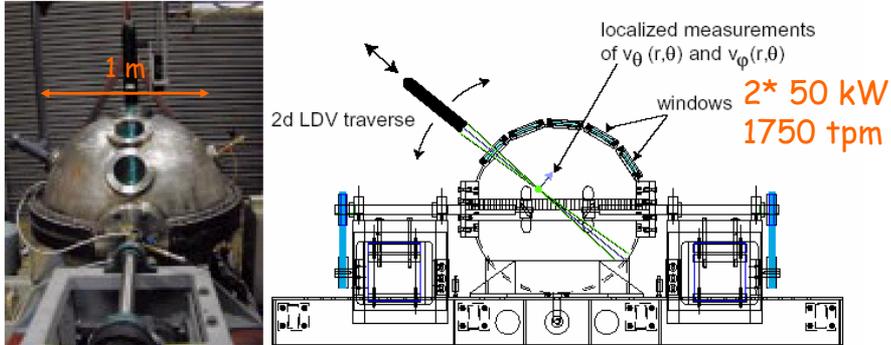
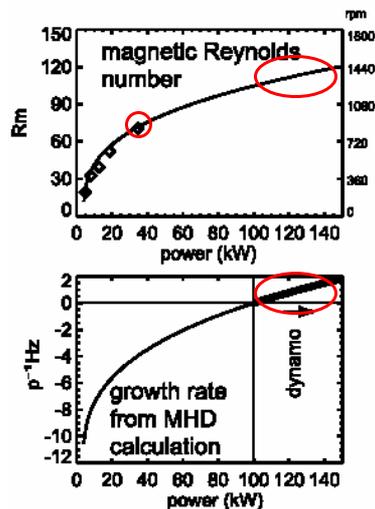
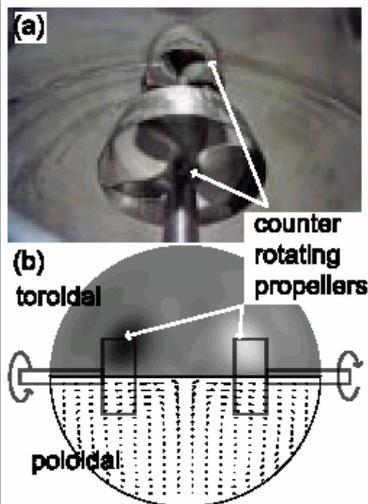


Fig. 5. Schematic of water version of the dynamo experiment. The vessel is a 670 kPa pressure vessel, with two 38 kW motors driving counter rotating impellers. A Laser Doppler Velocimeter (LDV) contains all of the coupling optics to make measurements in the  $\hat{\theta}$  and  $\hat{\phi}$  directions, and is moved by a traverse that allows measurements on an  $(r, \theta)$  grid.

Mesures LDV en eau; fit du profil en eau  $\rightarrow$  dyn. cin. pour  $R_{mc}$

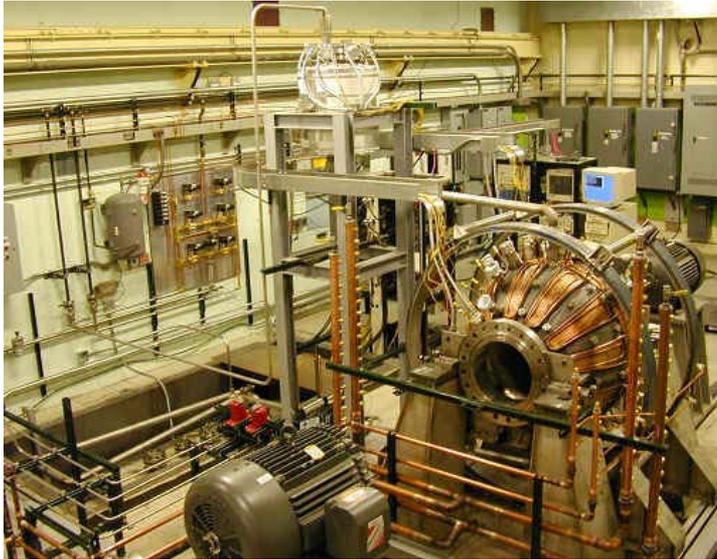
#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Madison.

(Forest et al., 2002)



$T=120^{\circ}C$ , même  $V$  qq soit  $B$ , pas de turbulence.  
 $R_m$  basé sur la vitesse moyenne (sinon  $\times 3$ )

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Madison.



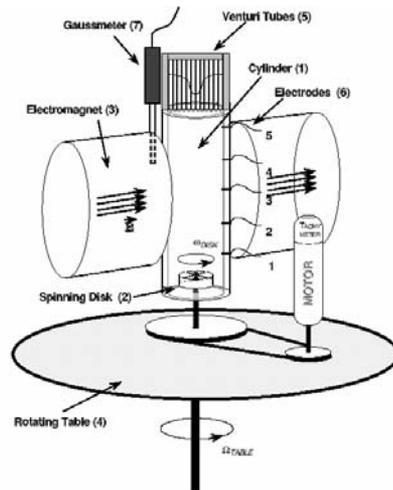
Diamètre=1m  
 150 kW  
 $V \sim 20 \text{ m/s}$   
 $125-150^\circ\text{C}$   
 35 kW refroid  
 120G axial  
 $R_m \sim 250 > 100$

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

55

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble.



1 litre de gallium, 3000 tpm.

Mesure du champ de vitesse, des différences de potentiels électriques à la paroi, du champ magnétique induit, de la température (effet joule).

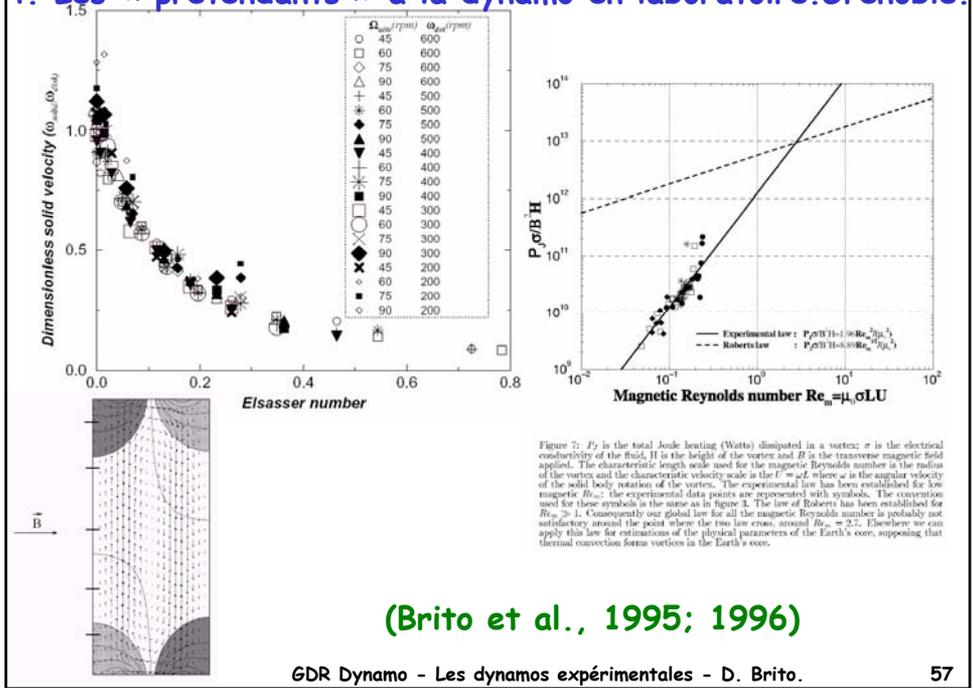
(Brito et al., 1995; 1996)

12-13 Juin 2003

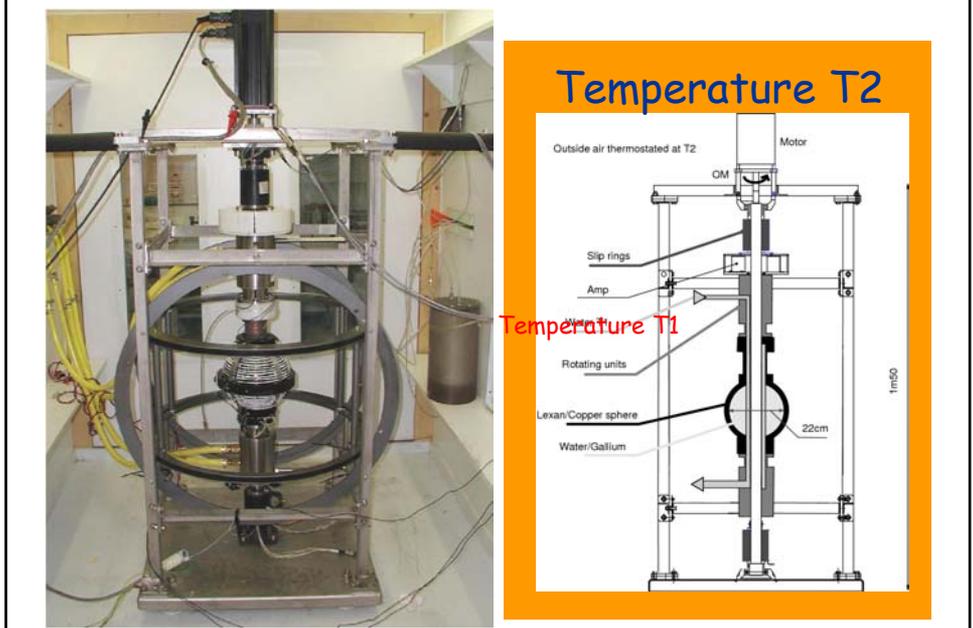
GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

56

## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble.



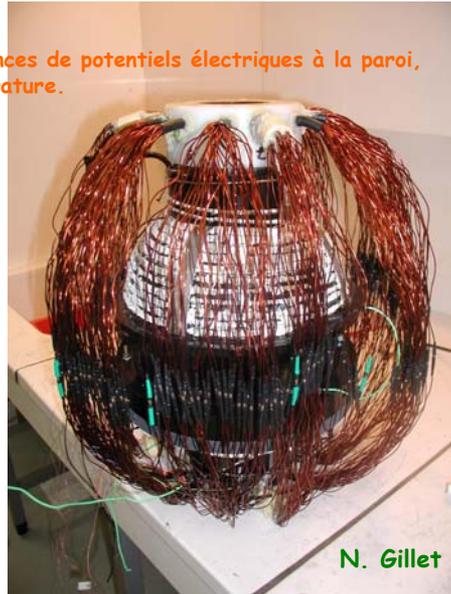
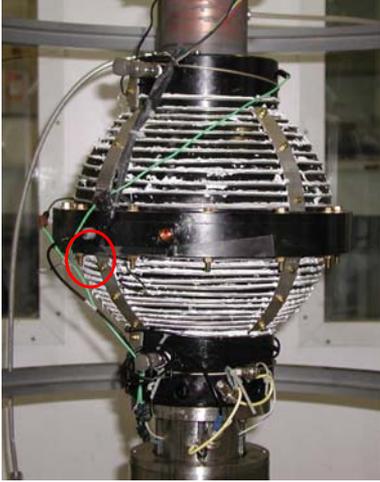
## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble



## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble

5 litre de gallium, 3000 tpm.

Mesure du champ de vitesse, des différences de potentiels électriques à la paroi, Du champ magnétique induit, de la température.



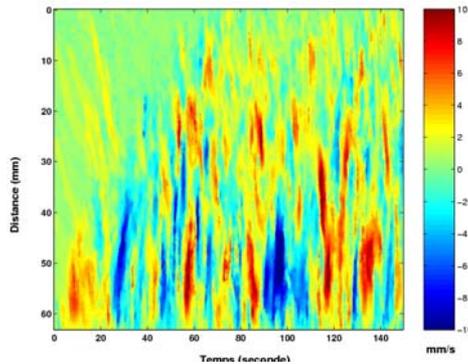
(Brito et al., 2001; Eckert et al., 2002)

12-13 Juin 2003

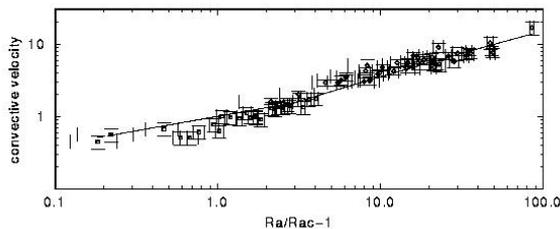
GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

59

## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble.



(Aubert et al, 2001;  
Aubert et al., 2003)



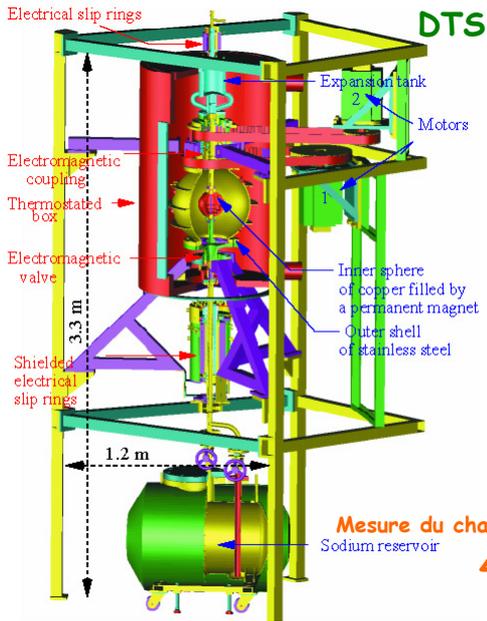
Lois d'échelle pour  
vitesses, tailles,  
en fonction de  $E, Ra, P$

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

60

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble



Mesure du champ de vitesse, des ddp, Binduit, T.

45 litres Na, 2\*10 kW

(Cardin et al., 2002)

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

61

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble



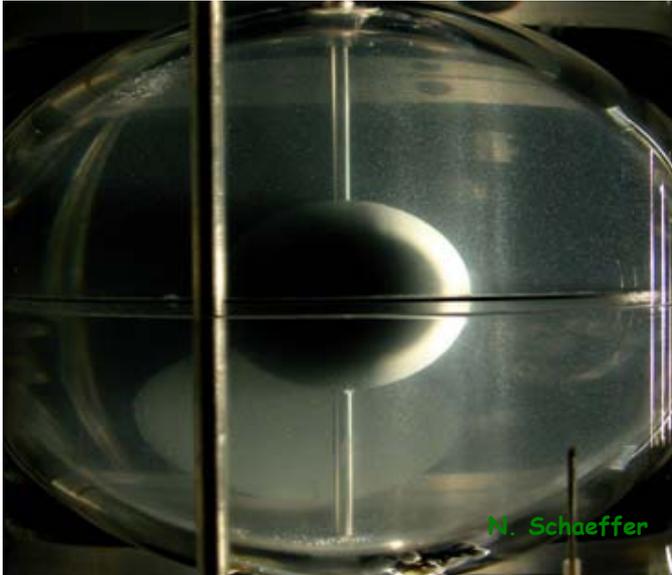
Laboratoire Sodium.  
LGIT

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

62

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble



12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

63

#### 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Grenoble

Dynamo planétaire

$$R_m = 100$$

$$a = 1 \text{ m}$$

$$\Omega = 450 \text{ rpm}$$

$$\text{Puissance} = 600 \text{ kW}$$

$$\Delta\Omega = 150 \text{ rpm}$$

$$B = 0.3 \text{ T}$$

(Cardin et al., 2002)

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

64

## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Perm.

Perm.

Type Ponomarenko

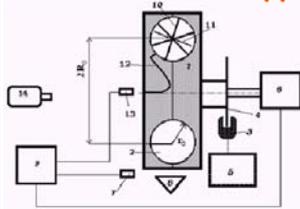


Fig. 4. Apparatus for water experiment: 1 - plexiglass cylinder, 2 - toroidal channel, 3 - brakes, 4 - braking disc, 5 - braking control, 6 - electromotor, 7 - tachometer, 8 - lighting, 9 - computer, 10 - diverter, 11 - free rotating flat blade, 12 - optical fiber, 13 - optical probe, 14 - video camera.

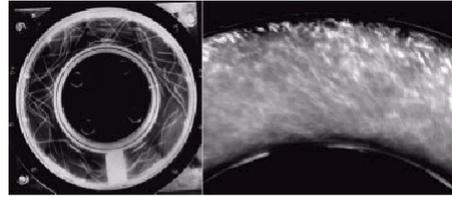


Fig. 7. Screw flow in channel A at the later stage of evolution (1.5s after full stop). On the left panel, the polystyrene particles display a large-scale screw structure of the flow. On the right panel, small kallioscopic particles show a small-scale structure of the turbulent flow. Both snapshots are taken for the same moment of evolution. One diverter is used, which can be seen in the lower part of the channel as a light body.

Eau: 2 kW, 3000 tpm  
0.2 à 0.5 s freinage

$\tau=1-2$  s

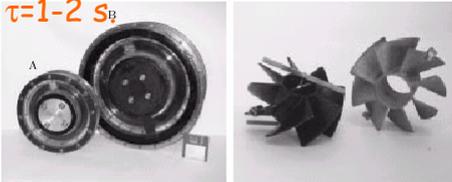


Fig. 5. Two channels: A (small) and B (large), used in water experiments.

Fig. 6. 8-bladed flow diverters. The left diverter is fitted with two flat freely rotating blades, which enable one to measure azimuthal velocities upstream and downstream the diverter.

Manip sodium:  
R=0.4 m, r=0.12 m  
115 litres Na  
3000 tpm  
Vmax=140 m/s  
Rm=40  
Freinage 0.1 s

(Frick et al, 2002)

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

65

## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Perm.

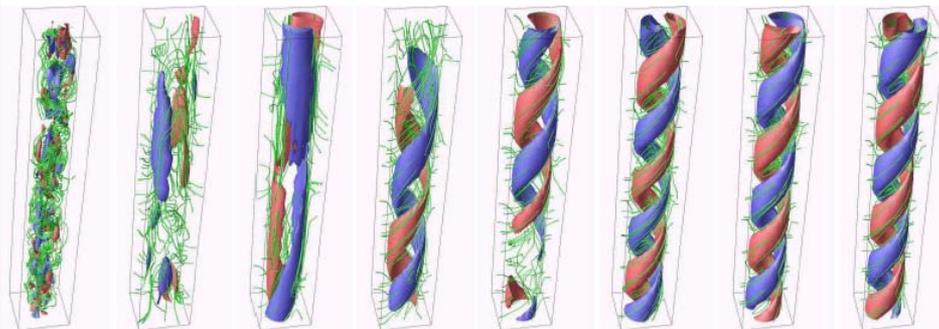


FIG. 9: Structure of the magnetic field for different times of Run 1. From left to right, the times are 0.0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 s; the braking time is  $T_b = 0.1$  s. The surfaces are isosurfaces of the magnetic field strength (red:  $B_z > 0$ , blue:  $B_z < 0$ ). The lines are magnetic field lines. The diverter is located at the bottom; the direction of the flow is upwards.

Amplification de B d'un facteur 3... 0.1s  
Autre possibilité, augmenter  $\mu \rightarrow 0.2$  s.  
Dépend beaucoup de  $B_{initial}$ . (Aimants..)

(Dobler et al., 2003)

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

66

## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire.

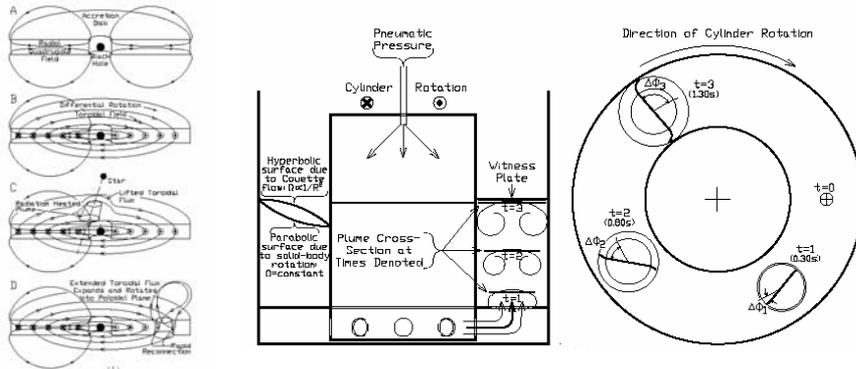
Socorro.

Dynamo  $\alpha\omega$  (astrophysique)

Principe: dynamo astrophysique avec des panaches non axisymétriques ascendant à travers le sodium liquide en rotation différentielle

Écoulement Couette cylindrique (effet  $\omega$ )

Jets de sodium à la base (effet  $\alpha$ ) (analogues panaches astro)



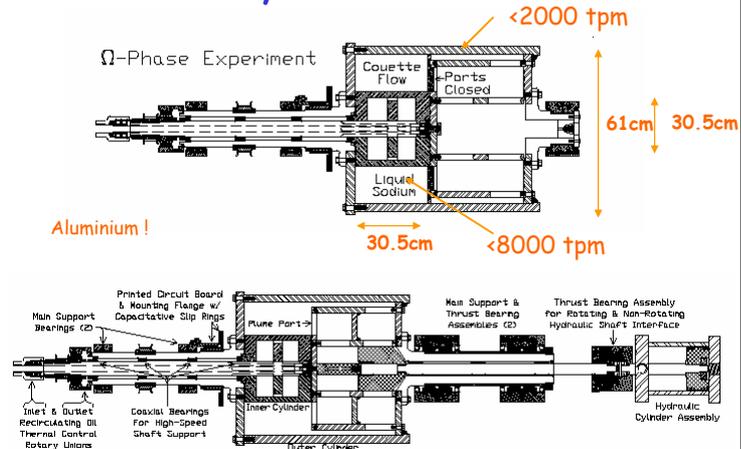
(Colgate et al., 2002)

12-13 Juin 2003

GDR Dynamo - Les dynamos expérimentales - D. Brito.

67

## 4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Socorro.



100 kW  
Rem~120

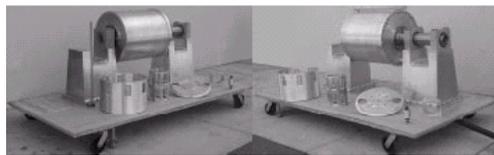
Dyn. Cinématique: paire de panache tous les 4-5 tours

(Colgate et al., 2002)

12-13 Juin 2003

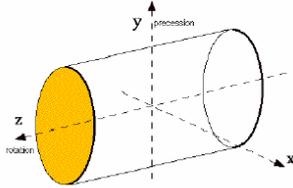
GDR Dynamo - Fig. 9. The plume part plate and reservoir plenum cylinders are shown yet to be

68

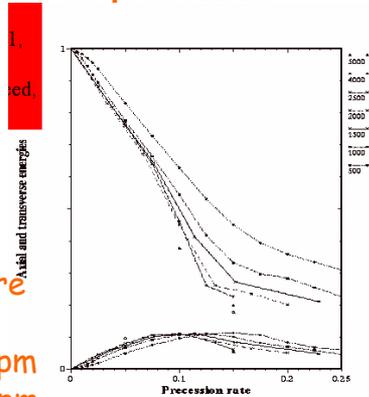


4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire.  
Meudon.

Dynamo induit par un cylindre en précession



ATER  
(eau)



30 cm diamètre  
 $1 < H/L < 4/3$   
 $\Omega_{\text{cylindre}} = 600 \text{ tpm}$   
 $\Omega_{\text{precession}} < 60 \text{ tpm}$   
 PIV avec caméra CCD

(Léorat et al., 2002)

(<http://melamp.obspm.fr/LEORAT>)

4. Les « prétendants » à la dynamo en laboratoire. Meudon.

Dynamo induit par un cylindre en précession

MEGATER : a mechanical design  
for a large scale facility



$L = 3 \text{ mètres}$   
 27 tonnes de Sodium.  
 Rotation du cylindre: 600 rpm.  
 Precession du cylindre < 60 tpm.  
 $Rm \approx 450$ .

Puissance à fournir et  
dissipation à calibrer avec ATER

(<http://melamp.obspm.fr/LEORAT>)

# CONCLUSION

