

# Introduction à la physique des plasmas – Cours 10

<http://ttpoll.eu>

session ID: introplasma

# Équations de la MHD

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\varphi \vec{u}) = 0$$

continuité

$$\varphi \frac{du}{dt} = \vec{j} \times \vec{B} - \vec{\nabla} p$$

Newton

$$\vec{E} + \vec{u} \times \vec{B} = \gamma \vec{j}$$

Ohm

$$\frac{\varphi^\gamma}{\gamma-1} \frac{d}{dt} \left( \frac{P}{\varphi^\gamma} \right) = \eta \vec{j}^2$$

entropie

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Faraday

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$$

Ampère

# Conservation de l'énergie dans la MHD

$$E_{\text{MHD}} = \int_V \left( \frac{1}{2} \rho u^2 + \frac{P}{\gamma-1} + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) dV$$

énergie cinétique

énergie thermique

énergie magnétique

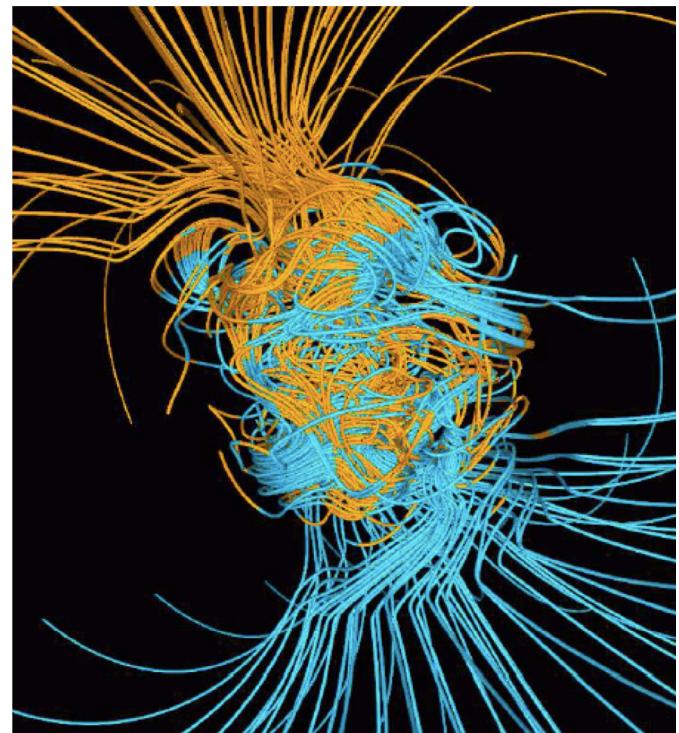
Energie conservée même pour un plasma résistif!  
(si le bord du plasma est un conducteur idéal)

# L'évolution du champ B a deux contributions

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{\nabla} \times (\vec{u} \times \vec{B}) + \frac{\eta}{\mu_0} \vec{\nabla}^2 \vec{B}$$

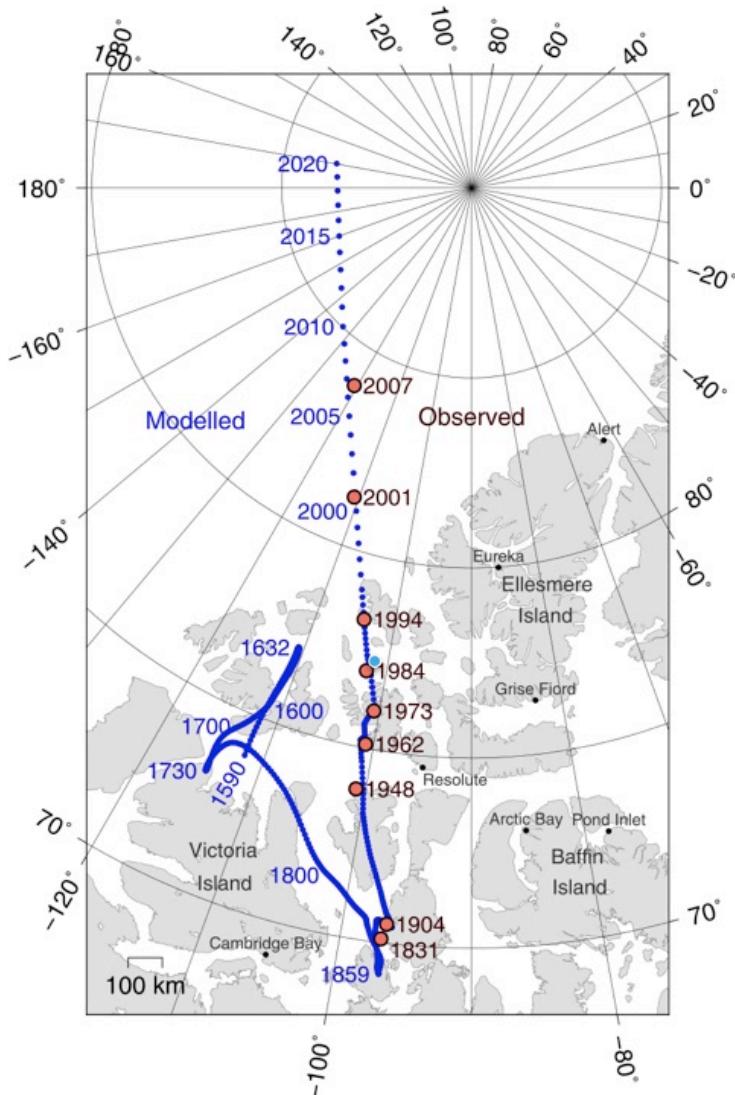
évolution idéale

diffusion



[Glatzmaier & Roberts, Nature 1995]

# Où était le pôle nord magnétique quand vous êtes nés?



# Les plasmas très chauds sont “gelés” dans le champ magnétique

- A. True
- B. False

La spirale de Parker est une solution de

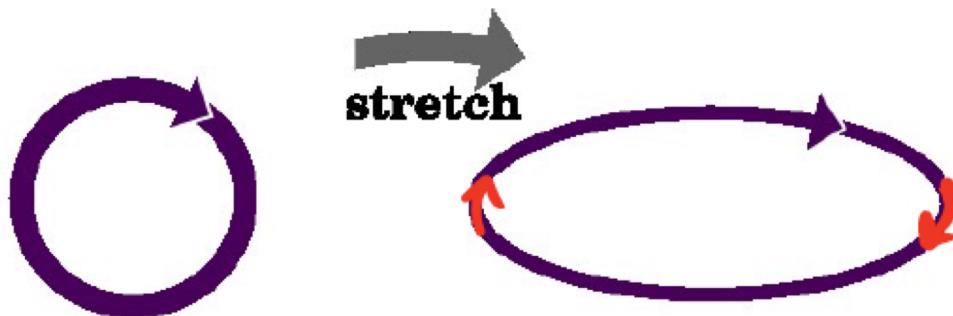
A.  $\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times (u \times B) + \frac{\eta}{\mu_0} \nabla^2 B$

B.  $\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times (u \times B)$

✓ C.  $0 = \nabla \times (u \times B)$



Si on étire un tube de plasma ideal, le champ **B** à l'intérieur...



A. est conservé

B. augmente

C. diminue

# La reconnexion magnétique modifie la topologie de **B**

