

Simulations d'ELM pour ITER

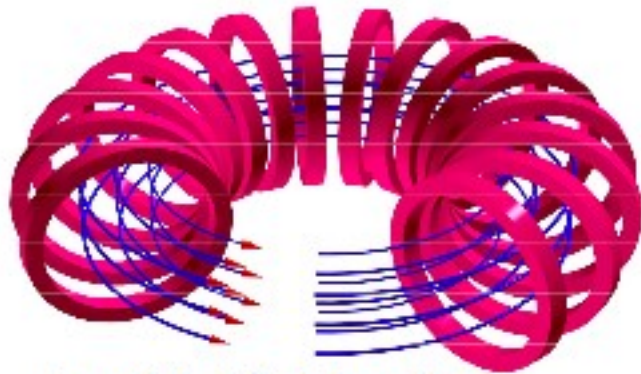
Date

INSTITUT NATIONAL
DE RECHERCHE
EN INFORMATIQUE
ET EN AUTOMATIQUE

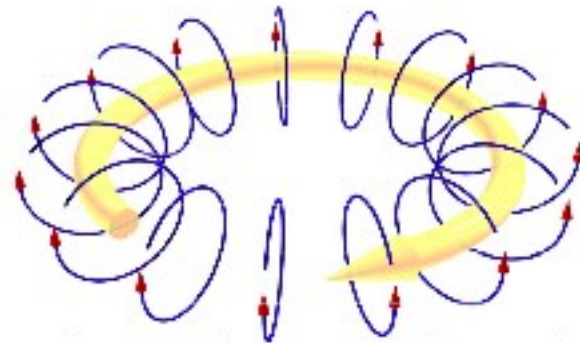


R. Abgrall, M Ricchiuto, B, Nkonga, P. Ramet, O. Coulaud
Projet ScAIApplix, INRIA Centre de Bordeaux

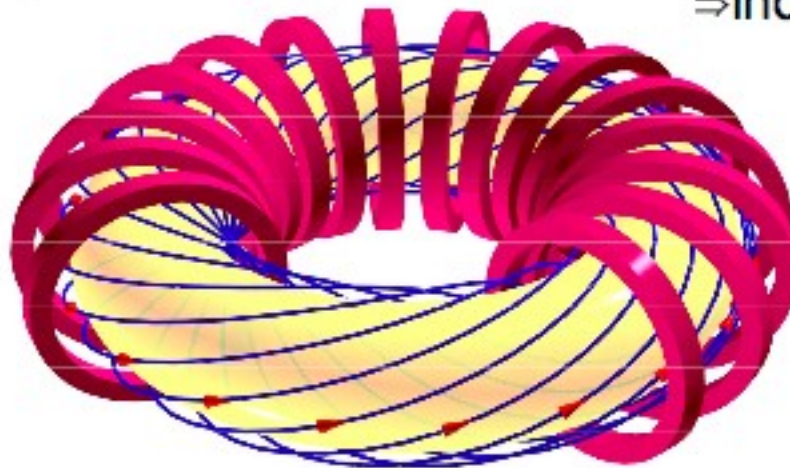
Tokamak



toroidal field coils for
main magnetic field



plasma is secondary ring
of a transformer
⇒ induces toroidal current



total helical field
winding number $\sim 1/q$

Temps caractéristiques

- Normalisation momentum equation:

$$v = v_0 \psi = \frac{a}{t_0} \psi \quad t = t_0 \tau \quad \rho = \rho_0 \phi \quad B = B_0 \mathcal{B} \quad p = \frac{B_0^2}{\mu_0} \mathcal{P} \quad J = \frac{B_0}{a\mu_0} \mathcal{J}$$

$$\frac{\rho_0 a}{t_0^2} \phi \frac{d\psi}{d\tau} = -\frac{B_0^2}{\mu_0 a} \nabla \phi + \frac{1}{\mu_0} \mathcal{J} \times \mathcal{B} \quad t_0 = \frac{a\sqrt{\mu_0\rho_0}}{B_0} \quad \text{Alfvén time}$$

$$B_0 = 5.3 \text{ T}$$

$$\rho_0 = 10^{20} \times (1.67 \times 10^{-27}) \times 2 \text{ kg/m}^3$$

$$a = 2 \text{ m}$$

$$t_A = 2.4 \times 10^{-7} \text{ s}$$

$$V_A = 8.2 \times 10^6 \text{ m/s}$$

- Ohms Law: $\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B} + \eta \mathbf{J}$

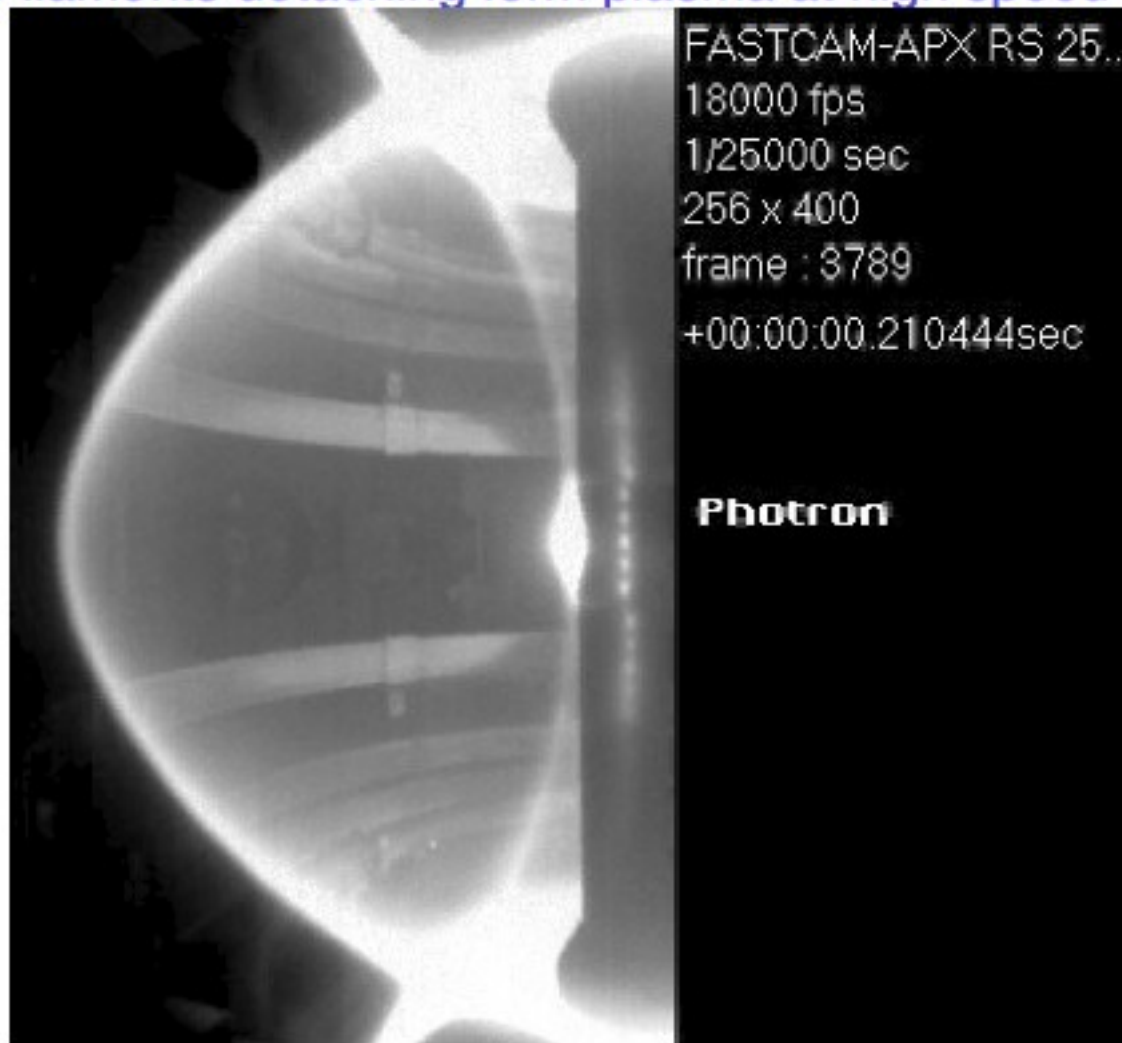
$$E = (V_A B_0) \mathcal{E} \quad \eta = (\mu_0 a V_A) \mathcal{R} \quad \mathcal{R} = \frac{1}{S}$$

$$\eta = 10^{-9} \text{ Ohm m (at } T=10\text{keV)}$$

$$\text{magnetic Reynolds number : } S = 2 \times 10^{10}$$

ELMs

- ELMs observed with a fast camera in MAST (A.Kirk, UKAEA):
 - Filaments detaching from plasma at high speed (~several km/s)



Temps caractéristiques

- Les instabilités MHD localisées au bord du plasma peuvent causer d'importantes pertes d'énergie (1MJ dans le JET) en moins de 200 micro secondes.

Non Linear MHD Instabilities

- Difficulties MHD simulations :
 - Large variation of time scales:
 - Fast waves : frequency varies from order 1 Alfvén times to infinity
 - Instabilities are relatively slow 10^{-3} a 10^{-2} Alfvén times.
 - Equilibrium evolution 10^6 - 10^8 Alfvén times
 - Large variation in spatial scales:
 - MHD Instabilities are quasi singular
 - High (magnetic) Reynolds numbers $S \sim 10^8$ - 10^{10}
 - Anisotropy of energy transport parallel and perpendicular to magnetic field ($\sim 10^{10}$)
 - The exact geometry of the magnetic field is essential.

ELMs open questions

Edge Localised Modes (ELMs) can cause large energy losses, possibly leading to damage to the first wall.

Relevant linear MHD Stability limits are well known:

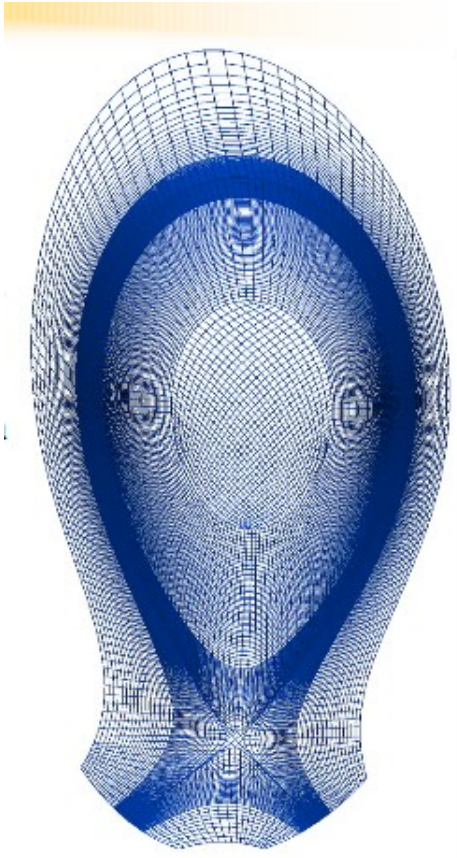
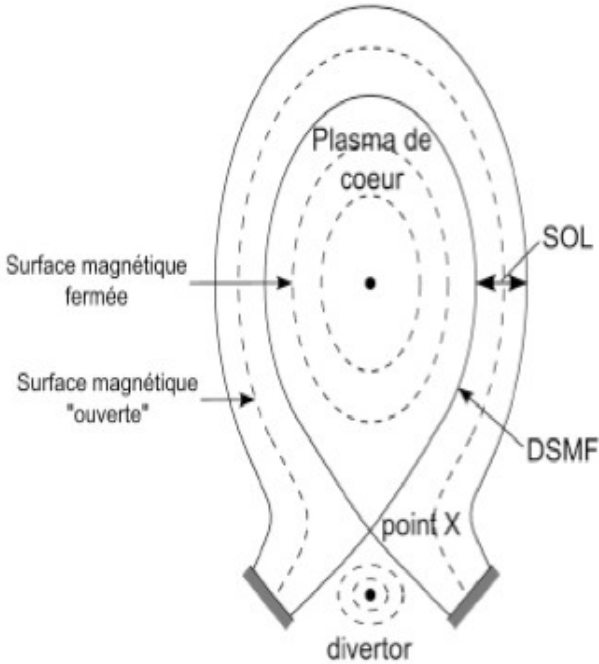
- Ballooning modes driven by edge pressure gradient
- External kink modes driven by edge current

Main open question : What determines the size of an ELM?

- How far can one cross the MHD stability boundary?
 - What is the noise level for the ideal MHD mode in stable plasma?
- What determines the final state after the ELM?
 - Is there a correlation with the width of the linear eigenmode?
- What is the relaxation mechanism?
 - Why not a saturated instability but a discrete event?

⇒ Non-linear MHD simulations in full geometry including open and closed field lines, X-point and separatrix.

Numérique



Méthode/programme de travail/problèmes

- Schéma numérique

- " Maillages non structurés
- " MHD compressible conservatif, termes résistif
- " Approximation : schémas distribuant le résidu (implicite, potentiellement d'ordre arbitraire), maillages conformes ou non conformes
- " Div $B=0$: Munz et al. (Sonnendrücker)
- " Implicite en temps (différents temps caractéristiques, Préconditionnement faible mach ?
- " Comparaison FluidBox/Jorek (CEA) échange de module
- " Adaptation (conforme/non conforme, Bézier/NURBS)

- Solveur :

- " PASTIX/HIPS
- " Upgrade : prise en compte de l'hétérogénéité du graphe (raffinement local)
- " Re-calcul du graphe ? Quelle fréquence ? Hiérarchique ?

- Simulations : maillage 2D/périodique

- " Millions de points/degrés de liberté
- " Adaptation dynamique
- " Machines ? : IDRIS, CINES, CEA, ???
- " Visualisation

Méthode/programme de travail/problèmes

- Schéma numérique

- " Maillages non structurés
- " MHD compressible conservatif, termes résistif
- " Approximation : schémas distribuant le résidu (implicite, potentiellement d'ordre arbitraire), maillages conformes ou non conformes
- " Div $B=0$: Munz et al. (Sonnendrücker)
- " Implicite en temps
- " Comparaison FluidBox/Jorek (CEA) échange de module
- " Adaptation (conforme/non conforme, Bézier/NURBS)

- Solveur :

- " PASTIX/HIPS
- " Upgrade : prise en compte de l'hétérogénéité du graphe (raffinement local)
- " Recalcul du graphe ?

- Simulations : maillage 2D/périodique

- " Millions de points/degrés de liberté
- " Adaptation dynamique
- " Machines ? : IDRIS, CINES, CEA, ???
- " Visualisation

Besoins

- Actuellement : ANR CIS (1 doctorant, 1 post doc qui a été sollicité)
- Futur :
 - " Accompagnement
 - " Doctorants/post docs/ingénieurs : thèmes schémas et solveurs, validation du code, faire de la physique (avec le CEA)
 - " Calculs