

Grands défis applicatifs

Résumés

5 novembre 2008

Introduction

Dans le cadre de l'installation et de la procédure de recette du supercalculateur JADE (SGI Altix 8200 EX) une des dernières phases visait à valider pendant une durée de 2 mois le bon fonctionnement de la solution dans des conditions les plus proches possibles de la future production.

Cette période est une opportunité idéale pour certains chercheurs de disposer de larges ressources de calcul (pouvant aller jusqu'à l'intégralité des 12288 cœurs de calcul) pour réaliser via des grands défis des avancées scientifiques majeures.

Elle est aussi pour GENCI, le CINES et SGI une période de validation et de stress de tous les éléments matériels et logiciels qui composent.

Suite à un appel à candidatures mené par GENCI auprès de ses associés en juin dernier, 9 grands défis issus de domaines scientifiques très variés ont été retenus.

Vous trouverez ci-joint un résumé des enjeux et réalisations de chaque défi avec lorsque cela a été possible une copie du poster tel qu'il a été présenté lors du colloque « Grands défis ».

Pour plus de renseignements, nous vous invitons à contacter directement les auteurs.

I. Transport turbulent et collisions dans les plasmas de fusion

Auteurs : V. Grandgirard, Ch. Passeron, G. DifPradalier, Y. Sarazin, P. Angelino, X. Garbet, Ph. Ghendrih - CEA, IRFM

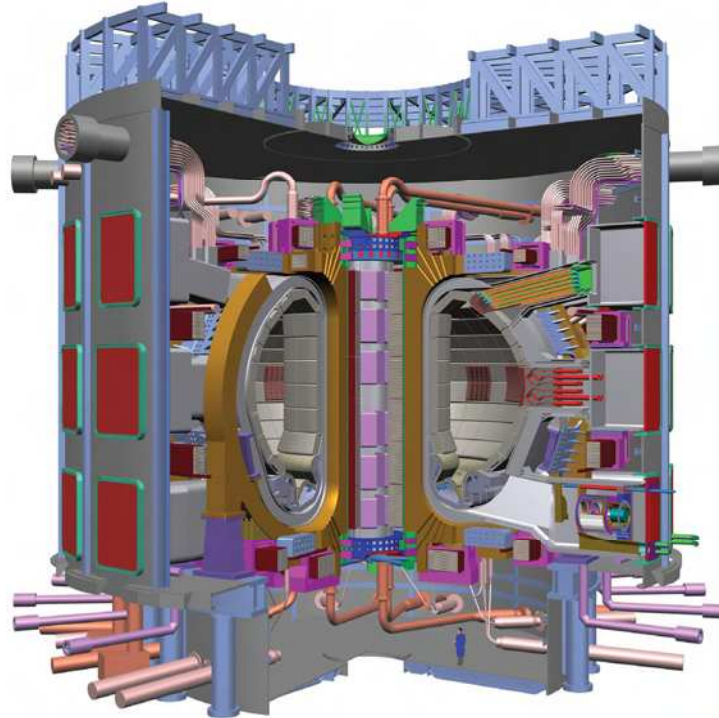
Informations : <http://www-fusion-magnetique.cea.fr/>

Les travaux menés par les auteurs visent à prédire la température d'un plasma de fusion par confinement magnétique tel qu'attendu dans ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor est un projet international de prototype de réacteur nucléaire à fusion actuellement en construction à Cadarache). L'objectif est la fiabilisation du dimensionnement des réacteurs du futur. Une voie possible consiste à utiliser un principe de similitude analogue à celui utilisé en dynamique des fluides.

Un paramètre important est le taux de collisions entre particules, qui diminue avec la taille du plasma du fait de l'élévation de température. Il s'avère que les lois de la physique prédisent

dans ces conditions une diminution du transport turbulent ionique, et donc une amélioration du confinement.

Cette prédiction importante n'avait pas été encore validée par les simulations gyrocinétiques de transport turbulent, en raison des ressources numériques qu'un tel exercice implique.



Vue éclatée du réacteur ITER

Les simulations réalisées au CINES sur le supercalculateur JADE pendant le grand défi ont permis de caractériser pour la première fois le confinement de plasmas magnétisés de la taille d'ITER avec des taux de collision réalistes.

Transport et collisions dans les plasmas de Tokamak

Code GYSELA 5D



V. Grandgirard, Ch. Passeron, G. Dif-Pradalier, Y. Sarazin, P. Angelino, N. Crouseilles†, X. Garbet, M. Haefele, Ph. Ghendrih, G. Latu†, E. Sonnendrücker†



Association EURATOM-CEA
 CEA / DSM / Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique
 13108 St-Paul-lez-Durance, France
 †IRMA - Université de Strasbourg et INRIA Lorraine, France



Contexte physique :

Comprendre et prédire la physique dans ITER

Prédire densité et température dans les plasmas de fusion par confinement magnétique est crucial pour comprendre la physique dans ITER et pouvoir dimensionner un réacteur futur.

- **Certitude** : La turbulence limite les valeurs maximales accessibles de n et T
 - Génère des pertes de chaleur et de particules
 - Les propriétés de confinement de la configuration magnétique

Etude de la turbulence dans les plasmas de tokamak

Etude des lois d'échelle en ρ^* et ν^*

→ 2 paramètres adimensionnels qui jouent un rôle très important dans le confinement d'un plasma de fusion

$\rho^* = \rho / \rho_0 \sim \frac{R^2}{a^2} \frac{B^2}{\mu_0 n T}$

$\nu^* = \nu / \nu_0$

Très peu d'études non-linéaires de la dépendance en ν^* et en particulier de son impact sur le transport turbulent

Description gyrocinétique à 5 dimensions

- Besoin d'une étude cinétique (car plasmas faiblement collisionnels)

Prédire le mouvement : Essentiel de connaître position ET vitesse

- Espace des phases à 6D :
 - 3D en espace : (r, θ, φ)
 - 3D en vitesse : $(v_r, v_\theta, v_\parallel)$
- Mouvement de gyration très rapide → réduction gyrocinétique

problème non-linéaire gyrocinétique 5D

Code gyrocinétique GYSELA 5D :

Un projet d'envergure national

Lancement du développement GEM en 2001

Collaborations gyrocinétiques :

- Théorie
- Schémas numériques
- Parallélisation & Visualisation

Projets :

- Projet "G-Challenge" Tera19 (2006)
- Projet "G-Challenge" CCRT (2007)
- Projet ANR-EGYPT (depuis 2007)
- Projet CALVA INRIA (2004)
- Fédération de Recherche FCM (2007)
- AEN INRIA (2009)

Compétitif sur le plan international

- Possède tous les ingrédients minimums requis pour les codes gyrocinétiques du futur (taille + Gemetrix global + Collisions)
- Seul code basé sur une méthode numérique Semi-Lagrangienne

Codes PIC vs Codes Eddington

Parallélisation : une très bonne scalabilité

- Parallélisation hybride OpenMP/MPI [Latu-Crouseilles '06 et '07]

Simulation CCRT
 Projet Grand Challenge été 2007
 maillage 5D = $(r, \theta, \varphi, v_r, v_\parallel, \mu)$
 $(512 \times 128 \times 256 \times 16 \times 32)$
 0.6 milliards de points

Efficacité 93% sur 2048 proc.
 Efficacité 83% sur 4096 proc.

Test de scalabilité en cours sur jade → Objectif 10.240 processeurs.

Grand Challenge CINES (2008) :

Caractérisation du confinement pour la 1^{ère} fois avec des taux de collisions réalistes

Cas CCRT (plasma)

$\rho^* = 1/128 = 4 \rho_0^{*ITER}$
 $\nu^* = 10^{-1} = 10^4 \nu_0^{*ITER}$

size complet
 $(256 \times 256 \times 128 \times 128 \times 8) = 8.4$ milliards
 256 processeurs → 5 jours (~60.000 h)

Cas CINES (gde)

$\rho^* = 1/256 = 2 \rho_0^{*ITER}$
 $\nu^* = 5 \cdot 10^{-1} = 50 \nu_0^{*ITER}$

semi-size
 $(512 \times 512 \times 128 \times 128 \times 8) = 34.3$ milliards
 1024 processeurs → 16 jours (~400.000 h)

Cas ITER en préparation

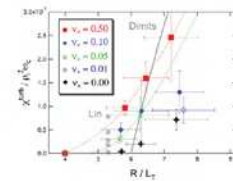
quart size ($\rho^* = 1/512$)
 $(1024 \times 1024 \times 128 \times 128 \times 8) = 137.4$ milliards
 4096 processeurs
 + de 3 semaines (> 2 millions d'heures)

Simulation unique au monde

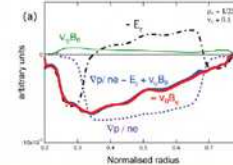
Bilan : + de 1.4 millions d'heures de calculs réalisées
 ~ 1 Toctet de résultats 2D et 3D à analyser (~ 20.000 fichiers)

Analyse des résultats en cours

Dépendance du confinement En fonction de ν^*



Equilibre des forces



Ce travail, en tant que partie du projet ANR-EGYPT, a bénéficié du support financier de "l'Agence Nationale de la Recherche" française.