

La Lettre de l'IDRIS

Institut du Développement et des Ressources en Informatique Scientifique

www.idris.fr

Édito

Est incorporé dans ce numéro de la Lettre de l'IDRIS un communiqué de presse paru en novembre dernier, annonçant le démarrage du projet DEISA au 1^{er} mai 2004. Je souhaite profiter de l'occasion qui m'est offerte pour ajouter quelques commentaires.

DEISA est l'un de deux grands projets d'infrastructures de recherches européennes basés sur les technologies de grilles. Son objectif est de créer un service de calcul de haute performance européen par l'intégration des services de calcul intensif nationaux. On peut donc voir DEISA comme une infrastructure (un centre de calcul virtuel européen) constituée d'infrastructures (les centres nationaux). Son architecture informatique a été définie très précisément pour ajouter de la valeur aux infrastructures nationales préexistantes. En tant qu'infrastructure de recherches, son objectif primordial est de pousser les limites de la connaissance dans tous les secteurs de la science et de la technologie tributaires de ressources informatiques extrêmes.

Sachant que l'essentiel de l'infrastructure sera opérationnel dans les délais prévus, en avril ou mai 2005, nous avons prévu son inauguration à l'occasion du Colloque DEISA qui se tiendra à Paris les 9 et 10 mai 2005, également annoncé dans ce numéro. L'incorporation de trois nouveaux partenaires d'envergure renforce énormément cette infrastructure, car elle englobe maintenant les plus grosses plates-formes de calcul en Europe. Il s'agit du centre de calcul de Stuttgart en Allemagne, qui dispose d'un système vectoriel NEC de 12 téraflops, du LRZ en Allemagne qui annoncera dans les jours qui viennent une plate-forme susceptible d'atteindre 50-60 téraflops en 2007 et du nouveau centre de Barcelone en Espagne qui dispose aujourd'hui du plus gros supercalculateur européen, un système Linux IBM de 33 téraflops.

Les téraflops s'accumulent, l'infrastructure émerge, les modalités de travail coopératif mûrissent et notre vision des applications susceptibles de bénéficier significativement de cette infrastructure élargie se précise. Le moment est donc venu de s'attaquer à l'essentiel : les nouvelles applications qui poussent les frontières actuelles et qui sont rendues possibles par l'infrastructure. Le Consortium DEISA a donc décidé de lancer dans les deux ou trois mois qui viennent une action scientifique vigoureuse à l'échelle européenne : la *Deisa Extreme Computing Initiative* qui sera mise en œuvre par une *Application Task Force* transnationale. Nous rendons publics assez rapidement tous les détails (accès aux ressources, gestion scientifique, évaluation, support) associés à cette initiative.

Victor Alessandrini

Vers une compréhension dynamique des étoiles : simulations 3-D de la turbulence et du magnétisme stellaires

Par Allan Sacha Brun^{1,2} et Jean-Paul Zahn²
¹SAP, CEA Saclay et ²LUTH, Observatoire de Paris-Meudon

La dynamique des fluides astrophysiques (AFD) est à un tournant historique, grâce notamment à l'avancée sans précédent des moyens informatiques, tel le supercalculateur IBM-SP4 Zahir de l'IDRIS, et des moyens observationnels au sol et dans l'espace auxquels les astrophysiciens ont accès. Pour le chercheur intéressé par l'étude de la turbulence et du magnétisme des étoiles, il est dorénavant possible de développer des programmes informatiques résolvant à plusieurs dimensions les équations complexes de la magnétohydrodynamique (MHD) et d'en déduire et/ou comprendre les processus physiques à l'origine des propriétés et des phénomènes dynamiques observés dans les étoiles, comme la convection thermique, leur rotation interne et leur activité magnétique.

Contexte scientifique

L'étude des étoiles, de leur intérieur, de leur structure, de leur composition chimique et de leur dynamique est cruciale pour notre compréhension de l'univers, car elles en constituent les briques fondamentales. La théorie de la structure et de l'évolution stellaire a été développée depuis fort longtemps (Eddington 1926, Hansen & Kawaler 1995), et sans cesse améliorée. Au milieu du siècle dernier, l'avènement des premiers calculateurs a permis la résolution numérique, à une dimension, des équations dites de la structure interne pour élaborer des modèles des différents types d'étoiles.

Suite page 2

Sommaire

Édito / Vers une compréhension dynamique des étoiles : simulations 3-D de la turbulence et du magnétisme stellaires	1
DEISA, communiqué de presse	7
UNICORE : chaînage de travaux sur une grille de machines hétérogènes	8
Grid'5000 à l'IDRIS	10
Nouveau serveur de fichiers à l'IDRIS	11
Colloque DEISA	11
HPC Europa : an 1	11
Informations	12

Vers une compréhension dynamique des étoiles (suite)

Grâce à sa proximité, le Soleil a de tout temps joué un rôle particulier en astrophysique et d'autant plus en évolution stellaire puisque tous les modèles d'étoiles sont calibrés par rapport au modèle du Soleil, dit « modèle standard » (Brun, Turck-Chièze et Zahn 1999, Brun et al. 2002). Ce modèle repose entre autres sur la théorie de la longueur de mélange (MLT) pour traiter à une dimension les zones convectives, qui transportent vers la surface la chaleur générée au centre par les réactions nucléaires. Bien évidemment la nature hautement turbulente de la convection thermique n'est que très grossièrement représentée par la MLT. Mais la montée en puissance continue des (super)ordinateurs fait qu'il est maintenant possible de s'attaquer directement à la modélisation multidimensionnelle (2-D ou 3-D) des étoiles, et de leurs zones convectives en particulier.

L'observation multi-longueurs d'onde, le diagnostic sismique (hélio ou astérosismologie) et même la détection des neutrinos produits dans les cœurs nucléaires, fournissent autant de données de plus en plus nombreuses et de plus en plus précises permettant de contraindre les propriétés des étoiles et du Soleil. Progressivement les modèles quasi-statiques laissent place à des modèles dynamiques basés sur les équations de la MHD et sur une description microscopique précise du plasma stellaire (opacités, équation d'état, etc.). Des programmes numériques performants sont développés, utilisant le C++ ou le Fortran 90/95, pour résoudre ce système d'équations sur des ordinateurs massivement parallèles comme l'IBM-SP4 Zahir de l'IDRIS.

Les équations de la magnétohydrodynamique et le code *Anelastic Spherical Harmonics* (ASH)

La magnétohydrodynamique (MHD) permet de décrire le comportement dynamique d'un fluide conducteur tel que le plasma (ou gaz ionisé) présent dans les étoiles. Elle repose sur les équations de conservation de la masse,

de la quantité de mouvement et de l'énergie, que l'on complète de l'équation d'induction déduite des équations de Maxwell de l'électrodynamique (en considérant que la vitesse du fluide est petite devant celle de la lumière) et par des relations ou des tables décrivant les propriétés atomiques et nucléaires du plasma. Pour appliquer ce système couplé d'équations aux dérivées partielles au cas des étoiles, il est nécessaire de prendre en compte les effets venant de la compressibilité, de la gravité, de la rotation et de la force de Laplace sur les mouvements.

Vu la complexité d'un tel système, une solution mathématique exacte (analytique) n'est pas accessible, et il faut donc recourir à des simplifications pour traiter le problème. On peut soit simplifier le système afin de le rendre traitable analytiquement, ce qui est le cas de la théorie du champ moyen développée en 1960-70 qui a obtenu un certain succès notamment sur les problèmes d'effet dynamo (Moffat 1978, Krause & Rädler 1980), soit approximer numériquement le système d'équations en développant des codes numériques performants, tel le code *anelastic spherical harmonic* (ASH) discuté ici (voir encadré et Clune et al. 1999, Miesch et al. 2000, Brun et al. 2004).

Le code ASH est un code mûr, qui a produit plus de 5 années de publications scientifiques dans des revues majeures, aussi bien dans le contexte des applications parallèles qu'en AFD ou en astronomie solaire/stellaire. Il a été développé à l'Université du Colorado, au milieu des années 1980 en version monoprocesseur pour étudier le Soleil, puis réécrit dans sa version moderne parallèle et Fortran 90 au milieu des années 90. Dans le cadre d'une collaboration franco-américaine impliquant entre autres J. Toomre, M. Miesch aux USA et S. Turck-Chièze et les 2 auteurs de l'article en France, le code a été étendu aux problèmes de MHD et à d'autres étoiles (étoiles de type A, soleils jeunes).

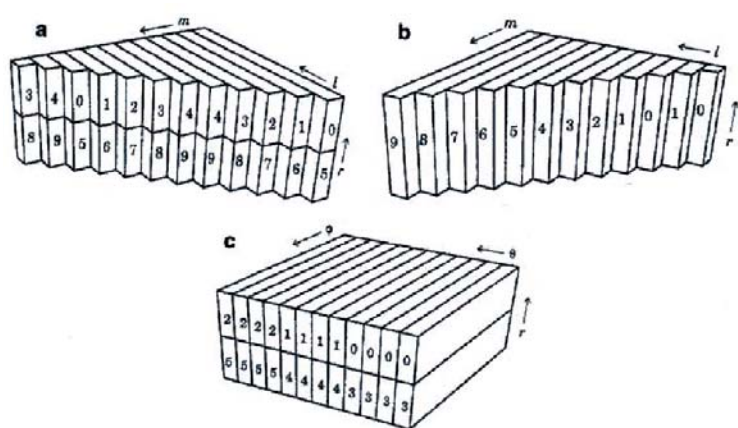
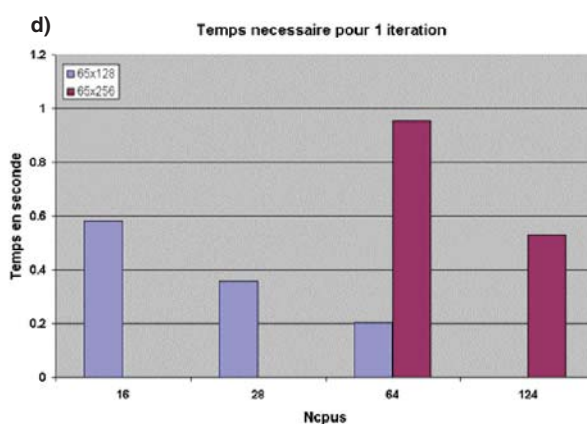


Figure 1 :

- (a) Configuration primaire (l en processeur, m et r distribués). Les nombres correspondent au rang du processeur (cas $N_{rad}=2$, $N_{ang}=4$, $N_{l0}=1$).
- (b) Configuration pour le solveur implicite (m et r en processeur, l distribué).
- (c) Configuration dans l'espace physique (φ en processeur θ et r distribués, cas $N_{rad}=2$, $N_{ang}=3$, $N_{\theta}=12$).



- (d) Test de « scalabilité » sur Zahir, pour deux résolutions $N_{rx}N_{\theta}xN_{\varphi}$ de $65x128x256$ et $65x256x512$ et de 16 à 124 processeurs (un seul cpu I/O).

Le code a été porté puis optimisé sur Zahir à l'IDRIS (avec le concours de P.-F. Levallée et I. Dupays) et il donne entière satisfaction quant à ses performances (cf. encadré). Le code repose sur MPI pour son aspect parallèle. ASH produit quantité de données, de l'ordre de 100 Go par « run », sachant qu'il faut plusieurs « runs » pour obtenir une solution mature. Une simulation peut produire jusqu'à quelques To par « run » en mode haute résolution (1000³ ou au-delà). Les données ainsi produites nécessitent un ordinateur puissant et rapide pour les traiter efficacement, et déduire les propriétés statistiques d'un problème d'AFD ainsi qu'un système de stockage massif performant. La visualisation 3-D (passage obligé pour analyser et comprendre la complexité de telles simulations) nécessite aussi un ordinateur puissant avec une carte graphique disposant de beaucoup de

mémoire pour la texture et le rendu. Les services graphiques de l'IDRIS, notamment T. Goldmann, participent au développement d'outils nécessaires pour visualiser ces données pléthoriques et volumineuses stockées principalement sur le système Gaya de l'IDRIS.

Le développement actuel de ASH consiste à en améliorer le contenu physique (nouvelles conditions initiales (hydro et MHD), équation d'état non idéale, conditions aux limites plus réalistes) ainsi que le fonctionnement numérique (ajout de nouveaux traitements sous maille, stratégie I/O basée sur plusieurs cpus, extension au traitement de la singularité géométrique à $r=0$). Une version 1.2 développée et validée en France, entre autres sur les ordinateurs de l'IDRIS, vient d'être mise à disposition de la collaboration.

Le code ASH

Le code global ASH résout, dans une coquille sphérique tridimensionnelle en rotation, les équations de Navier Stokes, de continuité, d'énergie et d'induction dans l'approximation anélastique. Les variables thermodynamiques, les trois composantes du flux de masse et du champ magnétique (s'il est inclus) sont projetées sur les harmoniques sphériques $Y_m(\theta, \varphi)$ pour leur structure horizontale et sur les polynômes de Chebyshev $T_n(r)$ pour leur structure radiale. Cette décomposition en harmoniques sphériques a l'avantage de permettre une résolution spatiale homogène si tous les multiplets « m » pour un degré « l » donné sont conservés (troncature dite triangulaire). L'approximation anélastique est utilisée afin de conserver les importants effets de la stratification en densité sans avoir à résoudre les ondes sonores. Le flux de masse et le champ magnétique restent à divergence nulle par l'utilisation d'une représentation « poloïdale/toroïdale ». La discrétisation temporelle est semi implicite, utilisant un Crank-Nicholson implicite d'ordre 2 pour les termes linéaires et un Adams-Bashforth explicite d'ordre 2 pour les termes non linéaires, les forces de Coriolis et de Laplace. Le code ASH utilise une approche de type LES (*Large Eddy Simulation*) avec comme traitement sous maille (SGS) soit des diffusivités effectives turbulentes ou une hyperviscosité (i.e Δ^{2n} , avec $n>1$), avec la possibilité d'introduire des formulations plus complexes basées sur différentes méthodes de fermeture des équations du mouvement (modèles alpha-LANS, dynamique, ...). Avec le code ASH toutes les transformées spectrales sont appliquées à des données locales

pour chaque processeur avec des transformations inter-processeurs si nécessaire. La communication inter-processeurs utilise MPI (*Message Passing Interface*) et SHMEM (*SHared MEMory*). Bien qu'une bonne performance par processeur ait été atteinte pour les transformations (Fourier, Chebyshev, Legendre) ainsi que la partie implicite, la contrainte d'avoir les transformations locales et la représentation non triviale des données dans l'espace spectral empêchent toute distribution simple des données et de la charge par processeur (tel que $N_{cpus} = N_{rad} \times N_{ang} + N_{i/o}$, cf. figure 1 (gauche) et Clune et al. 1999, pour une discussion plus complète). La stratégie a donc été d'utiliser des pointeurs, des tables d'accès et une allocation dynamique de la mémoire pour morceler les données en blocs pouvant chacun être manipulé efficacement par un processeur et de distribuer ces blocs intelligemment à partir d'une évaluation préalable de la charge que chacun représente. Pour les gros problèmes, la transformée de Legendre domine le temps de calcul et un effort particulier a été fait pour en améliorer les performances (prise en compte de la symétrie équatoriale, bloc tenant dans la mémoire cache processeur et réutilisation des tableaux). L'utilisation de routines numériques spécifiques de la machine comme la bibliothèque ESSL sur Zahir et les bibliothèques numériques de types LAPACK maximise l'efficacité. Le code ASH a démontré une bonne portabilité et une bonne « scalabilité » (environ un facteur 1,75 d'accélération pour un doublement du nombre de processeurs, cf. figure 1d) sur les Cray T3E, avec des chiffres similaires sur IBM SP-3, SP-4 (comme Zahir à l'IDRIS). Les performances peuvent atteindre plus de 900 MFlops/PE pour des problèmes allant jusqu'à un degré $l=680$ & $N_r=256$.

Applications numériques en dynamique des fluides stellaires

Le cas du Soleil

L'étude des nombreux phénomènes dynamiques observés à la surface du Soleil (cf. figures 2 et Stix 2002), tels que ses mouvements convectifs turbulents, son cycle de 22 ans et son activité magnétique (éjections de masse coronale, protubérances, taches solaires, ...) et ses écoulements moyens (rotation différentielle et circulation méridienne) est fascinante, mais elle demande des moyens lourds tant observationnels qu'informatiques. Ici nous présentons les résultats de simulations du Soleil obtenus avec ASH. L'objectif à moyen terme est de mieux décrire et comprendre la dynamique et l'activité solaire et l'interaction entre le Soleil et la Terre.

(nombre de Reynolds $Re=VL/\nu=1013$ avec V et L une longueur et vitesse caractéristiques du flot et ν la viscosité cinématique) et possède un large spectre d'échelles spatiales et temporelles allant de quelques cm (dissipation visqueuse) à 2×10^8 m ou 200 Mm (cellules géantes) et de quelques minutes (temps de retournement des granules) à quelques mois (trous coronaux), le Soleil tournant sur lui-même en moyenne en 28 jours. Vu les 8 à 9 ordres de grandeur séparant les plus petites et les plus grandes échelles, le problème numérique est dit raide, difficulté numérique que la plupart des problèmes d'AFD partagent. Nous avons donc fait le choix d'une approche dite LES-SGS (cf. encadré) pour traiter ce problème et ne nous intéressons qu'aux propriétés globales de la zone convective solaire. Le modèle repose sur une description simplifiée de cette zone : le flux de chaleur F, la vitesse angulaire Ω_0 , la masse M et le rayon R, correspondent aux valeurs solaires, et un gaz parfait contenu dans une coquille sphérique de $r=0.7$ à $0.98 R$, est considéré. La surface partiellement ionisée où la granulation est présente est encore hors de portée ($l_{max}=4000$) des simulations sphériques globales comme celles calculées avec ASH, mais on s'en rapproche lentement.

La zone convective solaire

La zone convective du Soleil s'étend sur les 30% les plus externes en rayon pour seulement 2% de la masse totale ; elle est turbulente par nature

Suite page 4

Vers une compréhension dynamique des étoiles (suite)

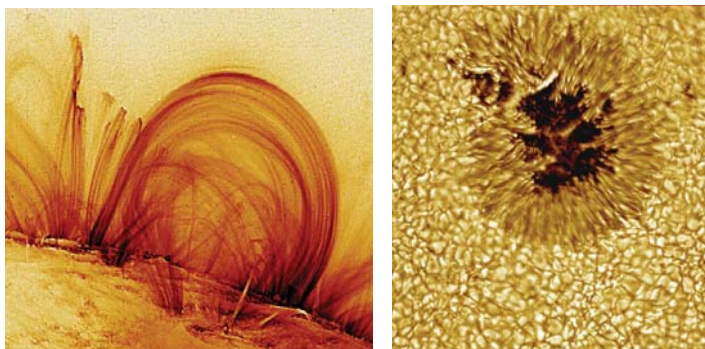


Figure 2 :
Boucles magnétiques à la surface du Soleil (satellite Trace), Granulation convective (chaque granule fait ~1000 km) de surface et tache solaire (Swedish Solar Telescope).

La figure 3 représente la vitesse radiale et les fluctuations de température près du haut du domaine à un temps donné dans notre simulation purement hydrodynamique la plus turbulente ($l_{\max}=680$ & $N_r=256$, $Re\sim 4000$). Les mouvements convectifs possèdent plusieurs échelles spatiales et temporelles, les flots descendants étant concentrés dans de fines lignes autour des larges flots montants. Des tubes de vortex intenses sont présents à l'intersection du réseau de flots descendants, tournant respectivement dans le sens (contraire) des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud (nord), i.e. cyclonique. Les plus vigoureux de ces tubes de vorticité ou 'panaches' traversent tout le domaine. Ces panaches constituent des structures cohérentes enfouies dans un flot chaotique et leur inclinaison le long de l'axe de rotation et hors du plan méridien se traduit par de fortes corrélations dans le champ de vitesse ou tenseurs de Reynolds.

Ces tenseurs de Reynolds sont à l'origine de l'accélération équatoriale observées dans la simulation en redistribuant de manière continue vers l' quateur le moment cinétique contenu dans la coquille convective (cf. figure 4 et Brun & Toomre 2002). Nous pensons qu'un processus équivalent est à l'oeuvre dans le Soleil permettant d'expliquer le profil de rotation bien particulier que l'héliosismologie a permis de révéler. Nos résultats commencent à reproduire quantitativement les observations (cf. figure 4), ce qui est fort encourageant. Proche de la surface les fluctuations de température atteignent 6 degrés Kelvin, avec une alternance de bandes relativement chaudes et froides de l' quateur aux pôles en partie liée à la présence d'un vent thermique interne. Les structures respectivement froides (chaudes) sont fortement corrélées avec les flots descendants (montants), ce qui se traduit par un transport de la chaleur vers l'extérieur. Le flux convectif domine mais doit s'opposer à un transport vers la base de la zone convective de l'énergie cinétique (venant de l'asymétrie entre flots montants et descendants en milieu stratifié), non anticipé par la MLT. On voit donc l'intérêt de traiter directement le problème d'AFD que représentent les étoiles, car on obtient de manière auto-consistante, le transport d'énergie, la redistribution du moment cinétique et les écoulements moyens présents dans les zones convectives.

 troitement lié à la dynamique de la zone convective solaire, l'activité magnétique solaire est multiple et variée. Une question en particulier qui a attiré beaucoup d'attention dans la littérature spécialisée est celle de savoir *pourquoi et comment un système aussi turbulent que le Soleil possède un cycle magnétique aussi régulier de 22 ans ?*

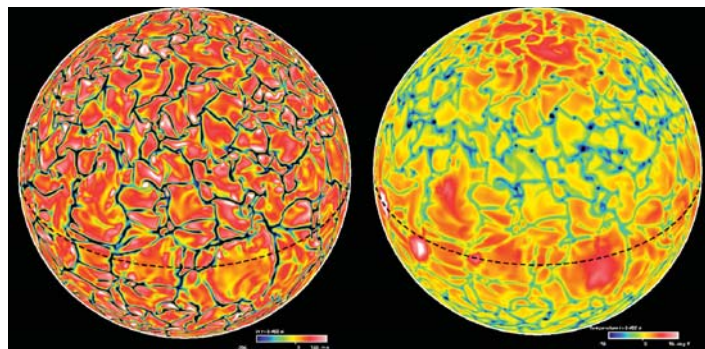


Figure 3 : projection orthographique de la vitesse radiale (gauche, +/- 200 Ms) et des fluctuations de température (droite, +/- 8 deg K) près du haut du domaine d'une simulation de convection turbulente ($N_r \times N_\theta \times N_\phi = 257 \times 1024 \times 2048$) avec le code ASH. Le rouge/blanc représente les flots montants et les écarts positifs de température. La ligne en tiret représente l' quateur.

L'ajout d'un champ magnétique dans nos simulations de convection turbulente peut nous permettre d'aborder certains aspects du problème dit de la dynamo solaire.

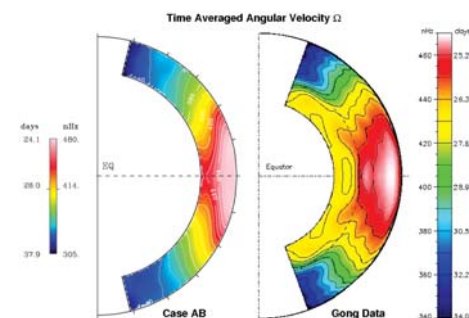


Figure 4 : vitesse angulaire Ω , obtenue à partir d'une simulation de convection sous l'influence de la rotation avec le code ASH, accompagnée du profil observé et inversé à partir des données héliosismiques du réseau sol GONG. La simulation est capable de reproduire l'accélération équatoriale, le fort contraste pôles- quateur et une certaine constance le long des lignes radiales à mi-latitude de Ω .

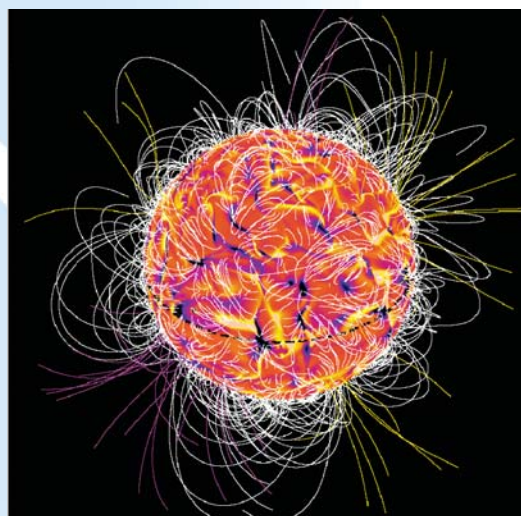


Figure 5 : reconstruction du champ coronal (extrapolation potentielle)   partir d'une simulation 3-D de convection turbulente sous l'influence de la rotation et du champ.

Le paradigme actuel est de considérer qu'il y a en fait deux dynamos différentes dans le Soleil, une à petite échelle associée aux mouvements turbulents convectifs expliquant l'activité magnétique irrégulière, et l'autre à grande échelle certainement localisée à la base de la zone convective solaire dans une région de fort cisaillement en vitesse appelée tachocline (cf. section suivante et figure 5), expliquant l'éruption régulière des taches solaires (ou diagramme papillon) et le renversement tous les 11 ans de la polarité du champ poloidal solaire moyen.

Une fois la graine de champ magnétique introduite dans une simulation de convection turbulente, la croissance de l'énergie magnétique va dépendre de la capacité qu'aura l'écoulement à amplifier le champ magnétique plus que la diffusion ohmique ne le dissipera. Nos simulations indiquent que le mécanisme dynamo se déclenche au-dessus d'un nombre de Reynolds magnétique $Rm=VL/\eta$ de 300 (avec η la diffusivité magnétique, voir Brun et al. 2004). Au-delà de ce seuil, l'énergie magnétique croît jusqu'à s'approcher de l'équipartition avec l'énergie cinétique. Cependant cette croissance de l'amplitude du champ magnétique se traduit par un effet retour sur l'écoulement via la force de Laplace et peut modifier les propriétés d'étirement, de pliage et de torsion de celui-ci. Il est donc nécessaire d'étudier le problème non linéairement (dynamo dynamique versus cinématique) afin de s'assurer de l'auto-consistance du champ dynamo avec l'écoulement considéré, ce qui est le cas avec le code ASH mais pas en théorie du champ moyen qui ne peut donner que le taux de croissance à Rm infini. De plus nos simulations globales de convection magnétisée sous l'influence de la rotation en géométrie sphérique permettent de modéliser l'interaction auto-consistante entre la rotation différentielle et le champ magnétique (ou tenseur de Maxwell), processus crucial dans le mécanisme dynamo. Figure 5 nous représentons le champ magnétique radial ainsi que l'extrapolation potentielle des lignes de champ magnétique dans la couronne. Les boucles possèdent selon les endroits une connectivité locale ou globale pouvant couvrir la moitié de la circonférence. Les champs magnétiques et de vitesses horizontales présentent très peu de corrélations mais par contre la composante radiale de B est bien corrélée avec les flots descendants, en partie par le fait qu'une cellule convective a tendance à balayer le champ B_r vers les lignes de flots descendants. Nos simulations possèdent des renversements de la polarité du champ magnétique comme observé avec le Soleil, mais sur des temps trop courts (400 jours au lieu de 11 ans) car elles n'incluent pas encore une tachocline.

La tachocline et l'intérieur radiatif solaire

La tachocline est la zone de transition entre la rotation différentielle de surface et celle, solide, de la zone radiative du Soleil. Son existence n'a été mise en évidence par l'héliosismologie que depuis la fin des années 80. Elle joue un rôle crucial dans la dynamo solaire puisqu'elle est vraisemblablement à l'origine du stockage (sur plusieurs années) et de la forte amplification du champ magnétique toroïdal (sous forme de structures allongées par effet Ω) qui ensuite peut émerger (via flottaison magnétique) sous la forme de régions bipolaires (taches solaires) à la surface, sur des échelles de temps comparables aux observations (~11 ans). Cependant plusieurs interrogations sur la structure même de cette couche limite restent à résoudre : pourquoi est-elle si fine (seulement 20000 Km), comment le champ magnétique interne interagit avec le champ dynamo, quels types de circulations (lentes ou rapides) et de turbulence (isotrope ou anisotrope) possède-t-elle ?

Nous avons donc entrepris de modéliser dans un premier temps la zone radiative du Soleil entre $r=0.3$ et $0.7 R$ en utilisant le code ASH, car jusqu'à présent seules des études 2-D avaient été considérées.

Figure 6 (gauche) représente la vitesse angulaire $\Omega(r,\theta)$ obtenue dans une zone radiative quand on impose au haut du domaine une condition aux limites en vitesse cisailée de la forme (approximant le profil solaire observé Thompson et al. 2003): $\Omega(r_{top},\theta)=A+B \cos^2 \theta +C \cos^4 \theta$:

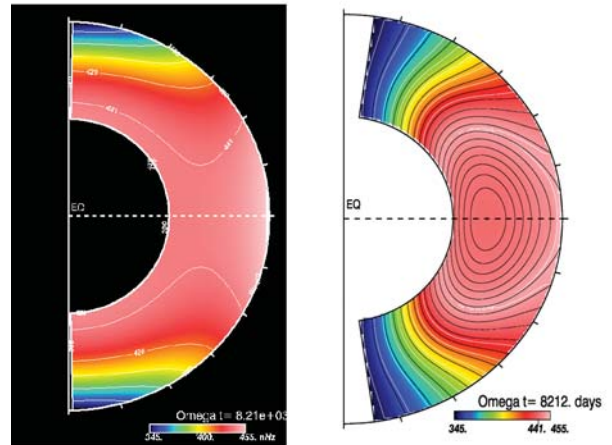


Figure 6 : vitesse angulaire Ω , obtenue à partir de simulations de l'intérieur radiatif solaire avec le code ASH. Effet d'un champ magnétique (image de droite) sur la propagation de la tachocline dans l'intérieur solaire.

Ce cisaillement se propage dans toute la zone de manière visqueuse ou thermique selon la valeur du nombre de Prandtl considéré, si rien n'est fait pour l'en empêcher. On voit bien qu'afin de réconcilier l'épaisseur déduite par l'héliosismologie (<20000 km), il est nécessaire de trouver un processus limitant. Spiegel & Zahn (1992) ont proposé que la forte stratification plus la présence de panaches turbulents pénétrant dans le haut de la zone radiative génère une turbulence anisotrope qui pourrait confiner la tachocline à une fine couche. D'autres auteurs ont proposé que le même résultat puisse être obtenu par un champ magnétique dipolaire faible, en s'opposant à la diffusion thermique par une diffusion magnétique opposée. Figure 6 (droite) représente le premier calcul 3-D d'une telle configuration MHD du traitement de la tachocline pour le même temps que pour la figure 6 (gauche). On y voit de nouveau la vitesse angulaire (contours couleurs) ainsi que les lignes du champ magnétique poloidal (en noir). Vers l'équateur le champ magnétique s'oppose bien à la propagation de la tachocline, mais vers les pôles il en facilite la pénétration, car la vitesse angulaire tend à être constante le long des lignes de force du champ poloidal (loi de Ferraro), lesquelles sont ancrées dans la zone convective en rotation différentielle. La situation est donc plus complexe qu'anticipée ; certainement l'ancrage des lignes de force dans la zone convective est moins efficace en présence de turbulence, et des valeurs plus réalistes des diffusivités (visqueuses, thermiques et magnétiques) pourraient modifier les résultats. Nous espérons pouvoir résoudre cela dans un futur proche, ainsi que traiter simultanément et de façon auto-consistante les zones radiatives et convectives avec ASH.

Extension à d'autres étoiles

Pour finir nous présentons brièvement des résultats récents obtenus entre autre à l'IDRIS sur la convection turbulente et l'effet dynamo dans les cœurs d'étoiles massives. Nous avons ajouté à ASH une source d'énergie permettant de simuler la production d'énergie nucléaire par le cycle CNO présent dans les étoiles plus massives que le Soleil. Ici nous considérons le cas d'étoiles A de 2 masses solaires, tournant jusqu'à 8 fois plus vite que le Soleil. Nous omettons juste les 2% les plus centraux de l'étoile et modélisons le cœur convectif et un tiers de la zone radiative, permettant ainsi une étude couplée des deux zones faisant usage des deux domaines de Chebyshev.

Suite page 6

Vers une compréhension dynamique des étoiles (suite)

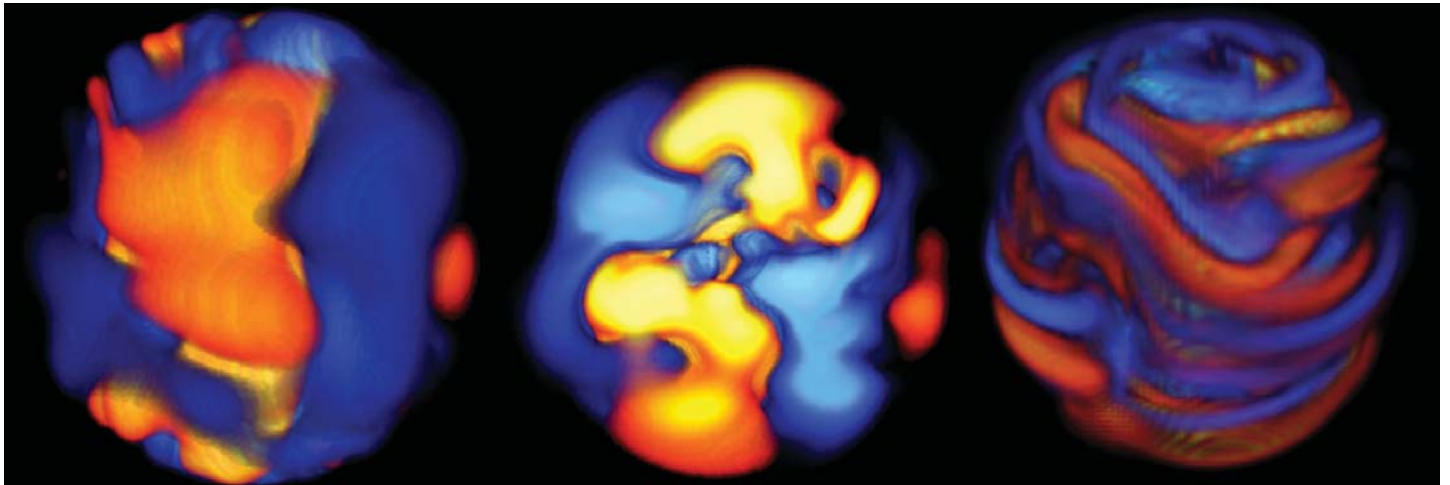


Figure 7 : rendu 3-D de la vitesse radiale (et d'une coupe équatoriale de celle-ci) et du champ magnétique toroïdal dans une simulation d'un cœur convectif avec ASH. On y voit l'aspect large échelle et connecté de la convection et l'enroulement et le vrillage des lignes de champs magnétiques.

La résolution est $l_{\max}=170$ et $N_r=49+33=82$, donc moins gourmande que pour le cas solaire.

En figure 7, nous représentons une visualisation 3-D de la vitesse radiale, accompagnée d'une coupe dans le plan équatorial permettant de voir les parties centrales et le champ magnétique toroïdal généré par effet dynamo après avoir introduit une graine de champ dipolaire dans le calcul purement hydrodynamique (Browning, Brun & Toomre 2004, Brun, Browning & Toomre 2005). Les vitesses et l'intensité du champ magnétique dans la zone radiative entourant le cœur convectif sont trop faibles pour que ceux-ci soient visibles. Les motifs convectifs dans ces cœurs sont beaucoup plus étendus et ne présentent pas de fortes dissymétries entre flots montants et descendants comme dans le cas solaire car le contraste de densité n'est que de 2-3. Ces cœurs sont très efficaces pour amplifier l'énergie magnétique, et des valeurs moyennes proches de 100% de l'énergie cinétique obtenues

plus facilement que dans le cas solaire. Le champ toroïdal ressemble à une grosse « boule de laine », les lignes de champs ayant été enroulées et entremêlées par l'action conjuguée de la rotation et de la convection.

Conclusions et perspectives

Les calculs MHD tridimensionnels présentés ici, obtenus, grâce aux ordinateurs massivement parallèles comme Zahir à l'IDRIS, constituent une première étape vers une modélisation réaliste des étoiles. Ils ne permettent aujourd'hui que de modéliser sur des temps relativement courts certains aspects de leur dynamique, alors que le programme ambitieux que se sont fixé les physiciens stellaires est de calculer l'évolution complète de l'étoile depuis sa formation jusqu'à sa mort. La diversité et la richesse des résultats déjà obtenus nous promettent encore de belles années de science fascinante en dynamique des fluides astrophysiques et en physique stellaire.

Références

- Browning, M., Brun, A.S. & Toomre, J., 2004, *ApJ*, **601**, 512-529
- Brun, A.S. 2004, *Solar Physics*, **220**, 333-345
- Brun, A.S., Antia, H.M., Chitre, S.M. & Zahn, J.-P. 2002, *A&A*, **391**, 725-739
- Brun, A.S., Browning, M., & Toomre, J., 2005, *ApJ* sous presse
- Brun, A.S., Miesch, M.S., & Toomre, J., 2004, *ApJ*, **614**, 1073-1098
- Brun, A.S. & Toomre, J., 2002, *ApJ*, **570**, 865-885
- Brun, A.S., Turck-Chièze, S. & Zahn, J.-P. 1999, *ApJ*, **525**, 1032-1041
- Clune, T.L. et al. 1999, *Parallel Comput.*, **25**, 361
- Eddington, A.S. 1926, *The Internal Constitution of the Stars*, Cambridge Univ. Press
- Hansen, C.J. & Kawaler, S.D. 1995, *Stellar Interiors: Physical Principles, Structure, and Evolution*, Springer-Verlag
- Krause, F. & Rädler, K.-H. 1980, *Mean-Field Magnetohydrodynamics and Dynamo Theory*, Akademie-Verlag
- Moffat, H.K. 1978, *Magnetic Field Generation in Electrically Conducting Fluids*, Cambridge Univ. Press
- Miesch, M.S. et al. 2000, *ApJ*, **532**, 593
- Spiegel, E.A. & Zahn, J.-P. 1992, *A&A*, **265**, 106
- Stix, M. 2002, *The Sun, an introduction*, 2nd edition, Springer
- Thompson, M. et al. 2003, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **41**, 59

DEISA

Communiqué de presse



Une infrastructure européenne de calcul distribué de haute performance est en train de naître

Parmi les plus importantes initiatives pour déployer des infrastructures de recherches destinées à faire avancer la recherche scientifique et technologique en Europe, plusieurs grands centres européens ont conçu une stratégie novatrice pour déployer un service de calcul intensif de très haute performance d'envergure continentale. Son nom est Infrastructure Européenne Distribuée pour les Applications de Calcul Intensif : DEISA (*Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications*).

Dirigé par l'IDRIS-CNRS (France), le projet DEISA a démarré ses activités en mai 2004 avec huit partenaires : FZJ et RZG en Allemagne, CINECA en Italie, EPC et ECMWF au Royaume-Uni, CSC en Finlande et SARA en Hollande. Le projet est en partie financé par la Commission européenne dans le 6^e programme cadre, en tant qu'élément majeur d'une initiative vigoureuse visant la mise en place d'infrastructures de production pour une recherche de qualité en Europe, basées sur les technologies des grilles.

L'objectif principal du projet DEISA est de renforcer la découverte scientifique à travers un large spectre de sciences et de technologies, par la mise en place et l'exploitation d'un environnement de calcul de production de haute performance, stable et de classe mondiale. Ceci devient possible par une intégration étroite des plates-formes déjà existantes au niveau national, étroitement couplées par un réseau dédié et équipées des technologies logicielles innovantes. Des stratégies concertées d'exploitation ont été identifiées et agréées, qui devraient rendre l'infrastructure globale plus performante que la somme des éléments qui la composent.

Cette puissance de calcul intégrée est nécessaire pour améliorer la compétitivité de l'Europe dans les secteurs scientifiques d'avant-garde qui nécessitent des performances extrêmes. La fourniture de ressources de calcul de haute performance aux chercheurs a traditionnellement été l'objectif et la mission des grands centres de calcul nationaux en Europe. Cependant, la compétition croissante entre l'Europe, les États-Unis et le Japon induit des demandes sans cesse grandissantes pour des ressources de calcul au plus haut niveau de performance, aussi bien que des besoins d'innovation rapide. Pour rester compétitif, des investissements majeurs sont nécessaires tous les deux ans - un cycle d'innovation qu'il est difficile de suivre même pour les pays les plus prospères.

L'architecture de l'environnement de calcul de DEISA a été conçue suivant un certain nombre de besoins stratégiques : la nécessité de fonctionner de manière transparente et sans rupture comme une couche au-dessus des services nationaux existants, le souhait de cacher la complexité des technologies de grilles aux scientifiques utilisateurs et le besoin de garantir la stabilité et la portabilité des applications scientifiques, puisqu'elles sont une part essentielle de la richesse des organismes de recherche.

L'infrastructure de calcul DEISA est constituée de deux couches. Au premier niveau, des plates-formes de calcul semblables (mêmes architecture et système d'exploitation) sont réunies pour créer un « super calculateur distribué virtuel ». La plate-forme résultante est une super grappe de nœuds de calcul qui sont situés dans quelques endroits de différents pays, mais qui

apparaissent aux utilisateurs finaux comme un système unique. Dans la première phase du projet, quatre supercalculateurs IBM en Allemagne (FZJ et RZG), en France (IDRIS) et en Italie (CINECA) sont en cours d'intégration de cette façon. Le système résultant sera composé de plus de 4000 processeurs, d'un espace mémoire énorme et d'une puissance de calcul globale de plus de 22 téraflops. Dans la seconde phase, d'autres systèmes IBM (en particulier le système finlandais) seront ajoutés à cette super-grappe.

La technologie clé du supercalculateur distribué (en plus du réseau lui-même) est la possibilité de partage efficace des données à travers un réseau étendu, fournie par un système global de fichiers (dans ce cas, le Système Global de Fichiers d'IBM ou GPFS). La valeur ajoutée élevée de cette plate-forme intégrée résulte de la possibilité de redistribuer les charges de calcul en déplaçant les travaux à travers les frontières nationales, dans le but de libérer sur un site d'énormes ressources pour une application spécifique.

Au niveau supérieur de l'infrastructure DEISA, la super-grappe d'IBM sera fédérée avec d'autres plates-formes de calcul d'avant garde pour constituer une grille hétérogène de super calculateurs qui inclura des plates-formes vectorielles et des grappes Linux. La première plate-forme à être intégrée dans la grille sera le supercalculateur SGI ALTIX de SARA qui fournira 416 processeurs Itanium. La grille hétérogène DEISA offrira un certain nombre de services utiles à la communauté scientifique : gestion de flux des travaux basée sur le logiciel UNICORE (applications complexes qui utilisent plusieurs plates-formes pour exécuter une application), gestion de bases de données globales de haut niveau dans toute la grille (partage de données entre différentes applications, applications qui accèdent à des données distribuées), applications de grilles qui tournent sur plusieurs plates-formes simultanément, et enfin des portails et des interfaces web pour dissimuler les environnements complexes aux utilisateurs.

L'infrastructure DEISA exploitera complètement la bande du réseau fournie par le réseau de recherche européen GEANT et les réseaux de recherche nationaux (aujourd'hui DFN en Allemagne, RENATER en France et GARR en Italie). Elle dépendra aussi de manière critique de l'évolution soutenue prévue pour ces organismes européens et pour d'autres afin d'augmenter les performances du réseau.

« Le concept DEISA est basé sur la conviction que le débit du réseau deviendra, d'ici la fin de cette décennie, un produit relativement banalisé au même titre que la puissance de calcul brute l'est devenue au début des années 90 », dit le professeur Victor Alessandrini de l'IDRIS-CNRS, directeur du projet. « Un environnement de calcul intensif européen étroitement intégré est impératif pour partager les ressources de calcul extrêmes nécessaires à des rendements et des performances exceptionnels. C'est la voie qu'est en train d'ouvrir DEISA. »

DEISA peut s'étendre horizontalement par ajout de nouveaux systèmes, architectures et partenaires, augmentant ainsi les capacités et l'attrait de l'infrastructure sans amener de rupture. Récemment un accord a été conclu avec trois organismes majeurs en Europe (HLRS et LRZ en Allemagne, et BSC, le nouveau centre de calcul intensif à Barcelone en Espagne) pour rejoindre le consortium DEISA et des négociations détaillées sont en cours. Avec cet

Suite page 8

DEISA (suite)

élargissement, pratiquement toutes les principales plates-formes de calcul en Europe seront dans la grille DEISA. De plus DEISA sera ouvert à toute collaboration avec d'autres centres HPC d'Europe et à toute initiative mondiale en rapport, comme TeraGrid aux États-Unis ou bien l'autre projet d'infrastructure de recherches européen, EGEE, mené par le CERN.

En résumé, DEISA est centré sur l'avancement de la science en Europe. DEISA collabore avec les principaux groupes de recherche européens, initialement dans plusieurs disciplines scientifiques et industrielles (sciences des matériaux, astro-physique, fusion, sciences de la vie, dynamique des fluides et sciences de l'environnement).

Les chercheurs vont démontrer que DEISA rendra possible de nouveaux résultats de la recherche et améliorera les résultats scientifiques de plusieurs manières différentes. Au fur et à mesure de la consolidation de son infrastructure, DEISA lancera de nouvelles initiatives scientifiques énergiques pour permettre de nouvelles activités de recherche qui ne pourraient pas voir le jour autrement.

Pour plus d'informations, voir www.deisa.org
Contacts presse dans tous les pays européens, voir :
www.deisa.org > Press Corner > Press Contacts

Glossaire :

IDRIS-CNRS : Institut du développement et des Ressources en Informatique Scientifique, Centre National de la Recherche Scientifique, France.

FZJ : Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Allemagne

RZG : Rechenzentrum Garching der Max Planck Gesellschaft, Garching, Allemagne

CINECA : CINECA Interuniversity Consortium, Casalecchio, Bologne, Italie

EPC : Edinburgh Parallel Computing Centre, Edinburgh, Royaume-Uni

CSC : Finish Information Technology Centre for Science, Finlande

SARA : SARA Computing and Networking Services, Amsterdam, Pays-Bas

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecast, Royaume-Uni.

HLRS : High Performance Computing Centre, Stuttgart, Allemagne

LRZ : Leibniz Computing Centre, Munich, Allemagne

BSC : Barcelona Supercomputing Centre, Espagne

Paris, le 5 novembre 2004

UNICORE : chaînage de travaux sur une grille de machines hétérogènes

Résumé

UNICORE a été conçu pour préparer, soumettre et suivre le déroulement d'un travail sur une grille composée de sites disposant de machines hétérogènes. Il fournit, de plus, une vue d'ensemble des sites et de leurs machines et permet le chaînage de travaux et le transfert sécurisé des fichiers entre les différents sites, indépendamment des gestionnaires de travaux et des commandes propres aux systèmes d'exploitation des machines cibles.

Introduction

Il arrive de plus en plus que des projets scientifiques importants nécessitent des ressources de calcul, de stockage de données et de post-traitement réparties sur plusieurs sites distants (en général, des centres de calcul) sans compter le site local hébergeant l'équipe participante à ce projet, qui peut lui aussi disposer de ressources propres.

Dans un tel cas, chaîner des travaux pour exécuter des programmes et transférer leurs résultats entre les machines peut constituer une opération certes indispensable, mais inévitablement lourde et délicate si l'utilisateur doit construire cet enchaînement en se basant sur les gestionnaires de travaux et les commandes de transferts locaux aux machines cibles.

La construction ainsi que la soumission et le suivi de tels travaux sur une grille de machines serait aujourd'hui plus aisés avec l'utilisation d'UNICORE (*UNiform Interface to COmputing REsources*). Considéré comme logiciel libre sous licence BSD, la source et la documentation sont maintenus

par le centre de recherche de Jülich en Allemagne, qui assure sa diffusion via le site <http://unicore.sourceforge.net>.

Description

UNICORE est une application client/serveur. Le client est une interface graphique (figure 1) permettant à l'utilisateur de décrire et de gérer des travaux soumis sur l'ensemble des machines des sites auxquels il a accès. Le serveur, quant à lui, est composé d'un ensemble de modules répartis sur les

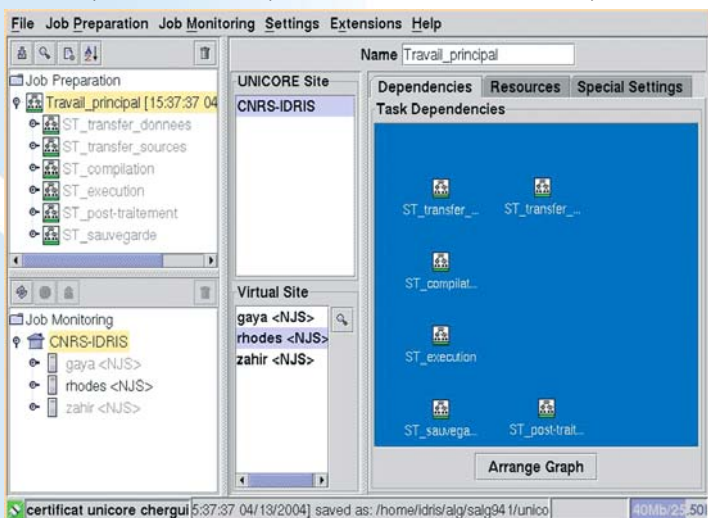


Figure 1 : interface graphique du client UNICORE

machines cibles et dont le rôle essentiel, comme toute application client/serveur, est de traiter les requêtes du client.

Brièvement, l'interface graphique d'UNICORE est une fenêtre telle que celle représentée sur la figure 1. Elle est composée essentiellement de cinq parties distinctes selon leur intitulé :

Job Preparation est la partie permettant à l'utilisateur de décrire et construire l'ensemble des travaux et des tâches qui doivent être accomplis par un travail principal donné (ici travail_principal).

Job Monitoring est la partie permettant à l'utilisateur de suivre sur l'ensemble des sites (ici CNRS-IDRIS) le statut de ses travaux une fois soumis.

Unicore Site est la partie affichant l'ensemble des sites accessibles par l'utilisateur (ici le seul site CNRS-IDRIS).

Virtual Site est une partie dans laquelle est affichée la liste des machines accessibles par l'utilisateur sur un site sélectionné.

Task Dependencies est une partie dans laquelle l'utilisateur définit un graphe d'exécution décrivant les dépendances (ordre d'exécution) entre les travaux.

Chaînage de travaux

C'est une opération indispensable sitôt que plusieurs machines sont sollicitées pour le déroulement d'une application donnée. Un exemple type de chaînage de travaux, assez répandu dans un centre de calcul tel que l'IDRIS, consiste à mettre en œuvre les étapes indiquées sur le schéma de la figure 2 où plusieurs machines (ici rhodes pour le graphique, zahir pour le calcul et gaya pour le stockage) sont sollicitées.

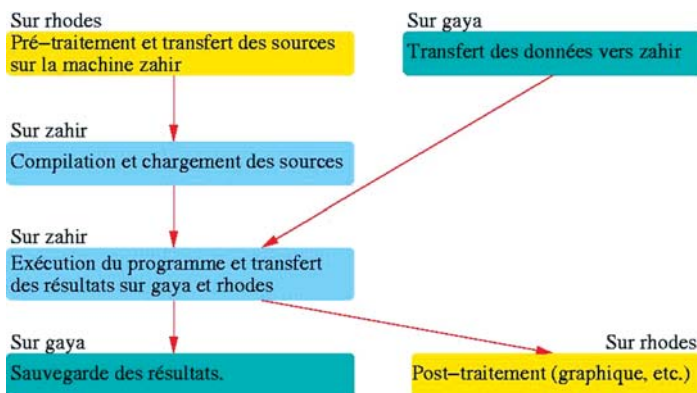


Figure 2 : répartition et dépendances schématiques des travaux d'une application

Le graphe d'exécution, défini sous UNICORE et présenté sur la figure 3, a été complété (par rapport à celui présenté sur la figure 1) afin de tenir compte des dépendances entre les travaux composant le travail principal.

Remarque enfin la similarité de ce graphe UNICORE avec celui schématisé en avant projet sur la figure 2 !

Tout travail du graphe (figure 3) est constitué d'un ensemble de tâches que l'utilisateur aura pris soin de définir. Une tâche peut être associée à un script

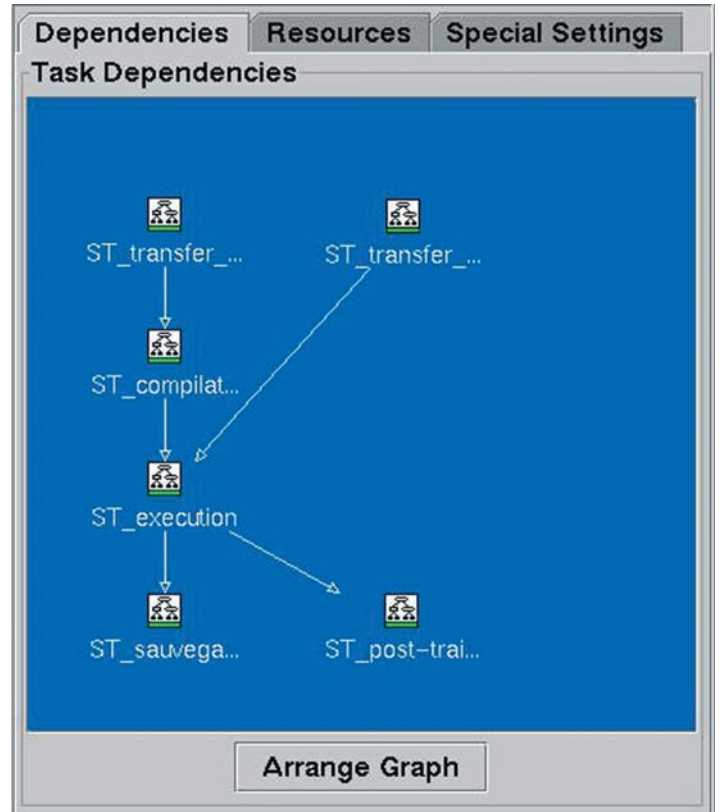


Figure 3 : dépendances entre les travaux

écrit en langage shell dont le rôle est typiquement de compiler des sources ou d'exécuter un programme (figure 4) ou encore d'effectuer un traitement quelconque sur des fichiers de données. Des tâches plus spécifiques pour la copie de fichiers d'un espace disque vers un autre ou pour le transfert de fichiers d'une machine vers une autre (figure 5) sont aussi prédéfinies dans UNICORE. Elles présentent pour l'utilisateur l'avantage de masquer les commandes de transfert et de s'appuyer sur un protocole optimal de transmission de données sécurisée que les administrateurs système et réseau auront pris soin de mettre en place.

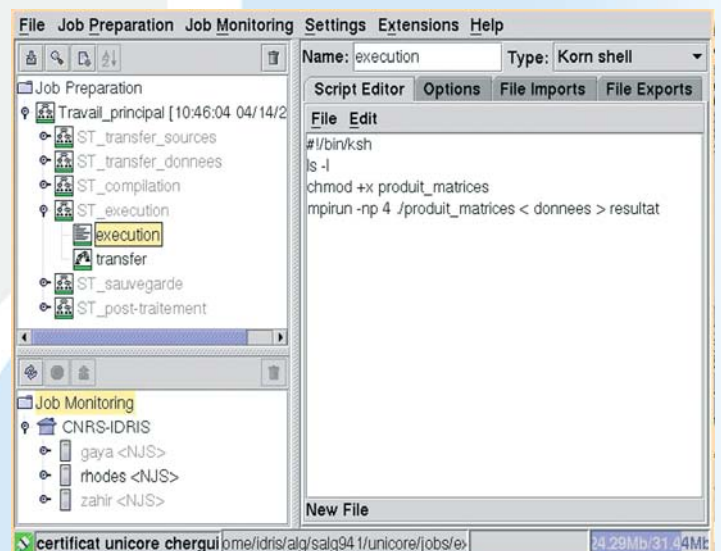


Figure 4 : tâche script

UNICORE : chaînage de travaux sur une grille de machines hétérogènes (suite)

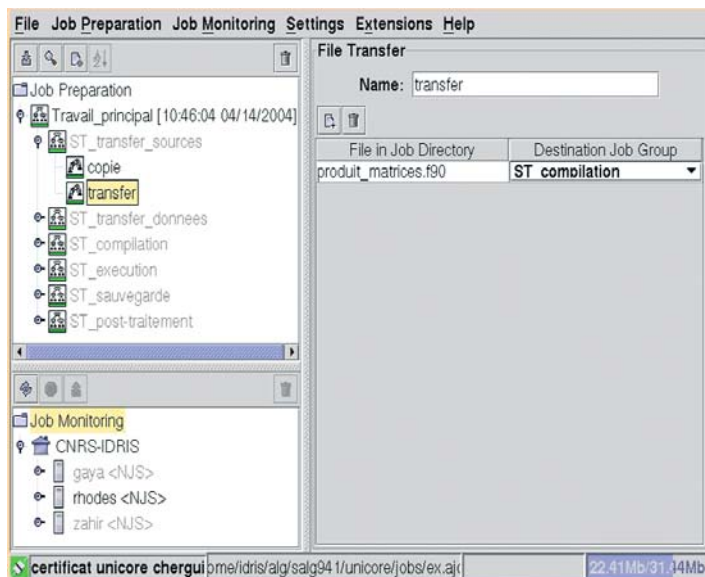


Figure 5 : tâche transfert

La construction d'un tel enchaînement de travaux et de tâches ne nécessite à aucun moment d'introduire explicitement le nom d'une machine cible. En réalité, comme il est indiqué plus haut, l'association entre le travail et sa machine d'exécution est définie dynamiquement à l'aide de la souris sitôt le graphe d'exécution terminé.

Une fois que l'étape de préparation du travail est jugée finie et que chacun des travaux a été associé à sa machine d'exécution, la soumission du travail principal se fait d'un simple clic de la souris.

Le déroulement d'un travail sitôt soumis peut être suivi dans la partie *Job Monitoring* en y sélectionnant à la souris la machine initiale de soumission (ici rhodes). Ainsi, l'utilisateur peut connaître, à tout moment, le statut (en attente, en queue, en exécution, terminé, etc.) de chacun des travaux et des tâches qui les composent.

Pour plus de détails, le lecteur est invité à consulter l'article de référence situé à l'adresse <http://www.idris.fr/data/publications/unicore.pdf> et/ou le support de présentation à l'adresse <http://www.idris.fr/data/publications/unicore/>.

Jalel Chergui

GRID'5000 à l'IDRIS



Dans le cadre du projet national GRID'5000 qui a pour objectif de créer une plate-forme de recherche dans le domaine du calcul distribué, le LRI d'Orsay a commencé l'installation dans la salle machines de l'IDRIS des processeurs qui constitueront le cluster du LRI dans ce projet. A ce jour, 432 processeurs sont opérationnels. A terme, 648 processeurs Opteron seront disponibles.

Ces processeurs ont une performance efficace de 2,31 Gflops soit une puissance crête totale de 1,6 Tflops environ.

Il faut ajouter à la configuration actuelle 32 processeurs de type Xéon pour le réseau et, à terme, les 648 processeurs de calcul seront épaulés par 48 processeurs de type Xéon pour le réseau et 8 processeurs pour le système.

Dans une seconde phase le LRI espère porter cette configuration à 1000 processeurs avec un réseau dédié (Myrinet, Infiniband, Quadrics ou SCI) sur une partie des nœuds de calcul.

Ce cluster est un ensemble IBM livré, installé et maintenu par la société Serviware.

Nouveau serveur de fichiers à l'IDRIS



La mise en place de la nouvelle configuration scalaire Zahir a fortement accru la charge du serveur de fichiers Gaya de l'IDRIS. Pour y faire face, l'IDRIS a procédé à une opération majeure de mise à niveau de cette infrastructure de services si importante à l'IDRIS pour le bon fonctionnement des architectures de calcul intensif.

Une réflexion en interne a permis d'élaborer un cahier des charges très détaillé couvrant les évolutions à venir et a conduit au changement du serveur de fichiers fin octobre 2004. Moins d'un mois a été nécessaire aux équipes de l'IDRIS pour assurer le remplacement de l'architecture existante.

Le nouveau serveur de fichiers est un ordinateur SGI Origin 3900 avec 12 processeurs MIPS R16000 (8 R10000 avant), 32 Goctets (6 Goctets sur l'ancien serveur) de mémoire et un cache disque de 30 Toctets (1,7 Toctets avant). Le nouveau serveur de fichiers reste associé aux trois robots de stockage STK d'une capacité bandes de plus d'1 Petaoctets.

L'augmentation du cache permet aux fichiers utilisateurs de rester plus longtemps sur disque. Par ailleurs, les petits fichiers inférieurs à 16 Moctets ne nécessitent plus de montage bandes pour être accessibles car ils sont en permanence sur un cache disque particulier.

Colloque DEISA



Le premier colloque international organisé par le projet européen DEISA se déroulera à Paris (Palais des Congrès, Porte Maillot) les 9 et 10 mai 2005. Ce colloque sera l'occasion de lancer officiellement le projet DEISA dont la

plate-forme de production devrait être opérationnelle en mars ou en avril 2005. Vous serez tenus informés du contenu du colloque sur le site de DEISA (www.deisa.org) et celui de l'IDRIS (www.idris.fr).

HPC-Europa : an 1



HPC-Europa termine sa première année d'activité avec plus de 180 séjours de chercheurs financés (dont les premiers visiteurs étrangers reçus à IDRIS mais aussi les premiers chercheurs français invités hors de la métropole).

Dans le cadre du déploiement de ce programme européen de collaboration scientifique nous allons, comme nos homologues étrangers, publier sur le site web de HPC-Europa la liste des laboratoires de la région parisienne qui utilisent les ressources de l'IDRIS. Les chercheurs étrangers intéressés

pourront ainsi identifier et contacter aisément les laboratoires susceptibles de les accueillir pour une collaboration scientifique.

Les directeurs de laboratoires qui désiraient exclure leur Unité de cette liste sont priés de se faire connaître auprès du secrétariat de l'IDRIS.

Pour vous informer sur HPC-Europa, suivre le lien sur le site web de l'IDRIS ou directement www.HPC-Europa.org

Informations

Calendrier des formations IDRIS programmées d'ici le printemps 2005

• Calcul parallèle : MPI-1	MPI-1	17-19/01/2005	10-12/05/2005
• Calcul parallèle : OpenMP	OpenMP	20-21/01/2005	05-06/04/2005
• Fortran 95 de base	F95-1	25-27/01/2005	24-26/05/2005
• Introduction générale à l'IDRIS	Intro	01/02/2005	31/05/2005
• Unix : utilisation	Unix_u	02-03/02//2005	01-02/06/2005
• Calcul parallèle : MPI-2	MPI-2	15-16/03/2005	14-15/06/2005
• Fortran : apports des normes 90/95	F95-2	22-24/03/2005	21-23/06/2005
• Le langage C	C	07-11/03/2005	06-10/06/2005

Ces dates vous sont communiquées à titre d'information et sont susceptibles d'être mises-à-jour. Pour une information récente et plus complète, veuillez consulter la rubrique « Cours » de notre serveur web :

<http://www.idris.fr>

Vous y trouverez le catalogue complet des formations et pourrez vous pré-inscrire en utilisant la sous-rubrique « Prochains cours ».

Nous vous rappelons que les formations IDRIS sont gratuites pour les personnes appartenant au CNRS ou à l'éducation nationale. Elles sont aussi accessibles au personnel d'entreprises publiques ou privées via CNRSFormation Entreprises ; les conditions d'inscription sont alors consultables sur le site web suivant :

<http://cnrsformation.cnrs-gif.fr>

Demande d'abonnement

Si vous êtes utilisateur de l'IDRIS, vous recevez La Lettre systématiquement.
Sinon, envoyez-nous vos coordonnées postales par messagerie à : La-Lettre@idris.fr

Directeur de la publication : *Victor Alessandrini*

Rédacteur en chef : *Thierry Goldmann*

Rédactrice-adjointe : *Geneviève Morvan*

Comité de rédaction : *Sylvie Brel, Hervé Delouis, Serge Fayolle, Denis Girou*

Conception graphique, réalisation, impression : *Atome Graphic Tél. 01 69 41 00 73 - www.atomegraphic.com*

IDRIS - Institut du Développement et des Ressources en Informatique Scientifique

BP 167, Bâtiment 506, 91403 ORSAY Cedex - Fax : +33 (0)1 69 85 37 75 - www.idris.fr

Secrétariat : + 33 (0)1 69 85 85 05 - secretariat@idris.fr

Support utilisateurs : +33 (0)1 69 35 85 55 - assist@idris.fr