

## Simulation numérique et astrophysique

### ACTUALITÉS

La section 14 (Système solaire et univers lointain) du CNRS avait entrepris en l'an 2000 une enquête sur la simulation numérique en astrophysique. Cette initiative a été poursuivie dans le but de faire un état des lieux et d'envisager les moyens à mettre en œuvre pour encourager et soutenir le développement de cette activité. L'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers) et l'IDRIS ont encouragé cette initiative et ont accompagné le travail de réflexion. En particulier, l'IDRIS a toujours déployé une politique de support de haut niveau en direction des communautés scientifiques, en complément à la mise à disposition des moyens de calcul.

Un comité a été mis en place, composé de Victor Alessandrini (IDRIS), Gérard Chanteur (CETP et CP4), Pierre-François Lavallée (IDRIS), Hervé Le Treut (LMD, représentant la section 13), Fabrice Mottez (CETP), Guy Pelletier (LAOG, section 14), Alain Roux (CETP, ex-section 14), Chantal Stehlé (DASGAL, section 14), Michel Tagger (CEA Saclay, section 14), Pierre Valiron (LAOG, CP4 et INSU) et Jean-Claude Vial (IAS, président de la section 14).

Ce comité a organisé les 14 et 15 juin 2001 à l'IDRIS deux journées sur la simulation numérique en astrophysique qui ont été un grand succès : plus de 80 participants, tous très motivés pour présenter l'état de la simulation dans leur domaine, discuter des conditions dans lesquelles s'exerce leur métier et envisager de manière prospective l'avenir de leurs travaux. L'INSU et l'IDRIS (qui soutenaient matériellement ces journées) y étaient représentés, ainsi que les sections 13 et 07. Afin d'assurer une couverture maximale des activités très diverses de notre discipline nous avons choisi de croiser les approches : nous avons invité des orateurs pour 9 exposés thématiques par grand domaine scientifique, et des animateurs pour 6 tables rondes par grand type de code. La réunion avait commencé par des exposés introductifs de J.C. Vial (Section 14), V. Alessandrini (IDRIS) et P. Valiron (INSU/CSA), ainsi que d'A. Roux rapportant les résultats de l'enquête menée par la section 14.

Les situations des équipes de simulation dans le domaine de l'astrophysique sont très diversifiées. Certains groupes sont amenés, par les outils et les enjeux, à adopter une approche quasi industrielle. D'autres équipes ont une approche plus artisanale et locale, un chercheur isolé étant parfois amené à récupérer « sur étagère » un code existant. Certains codes tournent sur des stations (ou fermes de stations) locales, d'autres nécessitent les ressources des grands centres (à commencer par l'IDRIS), d'autres encore, nécessitent des cartes à base de processeurs hyper-spécialisés dans le calcul à n-corps. Un premier bilan permet toutefois de relever une certaine convergence des préoccupations : nous sommes à un tournant où la simulation numérique se complexifie et se spécialise très fortement (algorithmique de plus en plus complexe, évolution des architectures, des processeurs et des paradigmes de programmation, augmentation des volumes de données générées, modélisation plus fine via une extension de la physique prise en compte). De plus en plus d'astrophysiciens y ont recours. Il est donc nécessaire d'obtenir la reconnaissance des besoins spécifiques propres à la simulation numérique.

La plupart des simulateurs ont exprimé leur satisfaction par rapport aux moyens de calcul, en particulier ceux mis à leur disposition par les grands centres nationaux (IDRIS et CINES).

Fig. 1

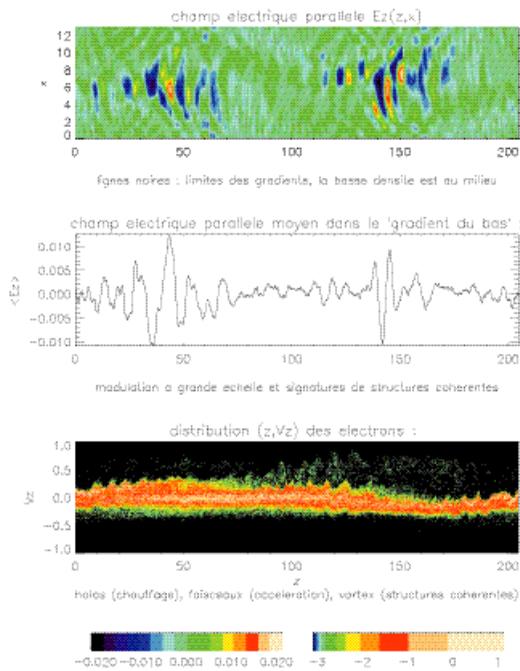


Fig.1 – Étude des processus d'accélération des plasmas de la magnétosphère de la Terre. Simulation numérique de la propagation d'une onde de basse fréquence le long d'un gradient de densité, pour la modélisation des processus d'accélération dans la zone aurorale de la Terre. L'onde, initialement en propagation parallèle au champ magnétique, ne produit pas de champ électrique aligné avec celui-ci.

L'enquête de la section 14 a mis en évidence une dispersion des efforts menant parfois à des duplications sur des travaux de développement de code. Et pourtant, les simulateurs soulignent souvent qu'ils passent trop de temps à faire du développement de code et que cela limite le temps qu'ils passent à faire de la physique. D'autre part, des souhaits ont été émis pour des actions de formation (ateliers, cours) dans des domaines spécifiques à la simulation en astrophysique, à la visualisation et aux mathématiques appliquées. De nombreux participants se sont montrés favorables à la création d'une action incitative qui permettrait aussi d'encadrer des clubs d'utilisateurs/développeurs et mettrait en relation des développeurs de codes et des chercheurs moins expérimentés en simulation qui souhaiteraient utiliser un code hors de son domaine d'application initial. Une demande a été déposée cet automne auprès de l'INSU, afin d'organiser les prémices de ce que pourrait être cette action incitative.

Des discussions au cours de ces journées ont montré que quelques équipes constituées d'un ou deux chercheurs, d'un ou deux ingénieurs, d'étudiants, et éventuellement d'un technicien, sont fertiles en résultats scientifiques originaux, mais cette taille critique dépend fortement des thématiques et des types de codes. Le rôle des ingénieurs est capital : ce sont souvent des ingénieurs performants en mathématiques appliquées. Ils ne cherchent pas nécessairement à inventer de nouveaux algorithmes mais savent utiliser ceux qui existent à bon escient. Malheureusement, le nombre des équipes qui dispose d'ingénieurs pour la simulation est très faible, alors que leur besoin se fait ressentir dans presque tous les domaines. Pour sa part, l'IDRIS a récemment chargé un ingénieur d'assurer l'interface avec l'astrophysique. Des coopérations sont en cours sur des problèmes d'algorithmique, dans les domaines de la cosmologie et des plasmas astrophysiques. Il est vraisemblable qu'une seule personne ne parviendra pas à résoudre tous les problèmes de la communauté et nous souhaitons que cet effort soit développé (éventuellement en interaction avec l'INSU, l'IDRIS n'ayant pas des moyens humains illimités).

Les besoins humains dans le domaine de la visualisation ont aussi été évoqués. Notons à ce sujet que l'IDRIS a une équipe dédiée au support en visualisation, service qui est peu utilisé par la communauté astrophysique.

Le recrutement de post-doctorants sur des périodes longues (2 ou 3 ans) permettant de travailler sur le développement de codes originaux a souvent été évoqué. Il serait souhaitable d'identifier des possibilités de financement (contrats européens)...

Enfin, certains participants ont mentionné le besoin de travailler en « projet » à l'instar des projets spatiaux à l'américaine, où, après un appel d'offres, des projets de grande ampleur sont sélectionnés et où des moyens financiers et humains (en particulier en ingénieurs) sont fournis. Ce type d'organisation n'est pas souhaité par tous les participants, mais pourrait convenir à certains projets qui demandent beaucoup de ressources et pour lesquels la compétition internationale est particulièrement rude. C'est en effet face à des groupes américains et japonais organisés de cette façon que nous devons parfois travailler. À l'heure actuelle, les institutions scientifiques françaises ne paraissent pas adaptées à ce genre d'organisation, du moins dans le domaine de la simulation.

Fabrice Mottez, pour le Comité d'Organisation.

Fig.1 (suite) L'interaction de cette onde avec le gradient de densité produit un champ aligné, dont la modulation à grande échelle (faible, d'amplitude .003) est visible sur la figure du milieu. Ce champ engendre du chauffage (élargissement de la distribution en vitesse des électrons visible sur la figure du bas) puis des faisceaux. Les faisceaux sont instables, leur instabilité engendre des structures cohérentes visibles sous forme de vortex (figure du bas) dont la contrepartie électrique (figures du haut et du milieu) consiste en des ondes solitaires (ici de forte amplitude, par exemple pour  $z=140$ ). Ce modèle permet l'interprétation des données des sondes aurorales de moyenne et haute altitudes et peut expliquer les structures fines des aurores boréales et australes [Génot et al., 2001].