

La session a débuté par une introduction de Roland Grappin sur le vent solaire suivie de plusieurs présentations sur ce thème et celui de la modélisation de la turbulence dans un plasma non-collisionnel (R. Grappin, A. Shekochihin, S. Galtier, V. Carbone et F. Sahraoui). Un des problèmes majeurs reste de comprendre la structure de la turbulence dans le vent solaire, en particulier aux échelles où l'approximation fluide n'est plus valable. De grandes avancées sont maintenant possibles dans le domaine des observations où les missions multi-satellites (comme la mission CLUSTER, cf la présentation de F. Sahraoui) permettent d'accéder pour la première fois à la structure spatio-temporelle de la turbulence. Du côté théorique, diverses approches analytiques et numériques ouvrent de nouvelles pistes de recherche (cf les présentations de R. Grappin, modèles fluides de l'atmosphère solaire; A. Shekochihin, modèle hybride fluide et cinétique; S. Galtier, modèle incluant l'effet Hall; V. Carbone).

**Roland Grappin** — Observatoire de Paris/Meudon, LUTH

Dans son introduction, R. Grappin pose le problème de la simulation de l'atmosphère solaire et de la transition chromosphérique: près de la surface, l'atmosphère froide et dense est peu magnétisée tandis que dans la couronne, très chaude, la dynamique est dominée par le champs magnétique. En particulier, le choix des conditions aux limites à la surface solaire — rigides ou transparentes — est délicate et influence grandement le résultat des simulations numériques. Puis, il contraste le modèle de Gudiksen & Nordlund (ApJ, 2005) (DNS de la base de la couronne solaire, avec chauffage par effet Joule) avec le modèle 1D de Suzuki & Inetsuka (ApJ, 2005), qui simule un domaine plus large et où le chauffage se fait par la dissipation visqueuse des chocs emportés par les ondes d'Alfvén. La réalité se situerait entre les deux et R. Grappin a ensuite présenté le modèle qu'il développe en collaboration avec J. Léorat dans le but de généraliser les calculs de Suzuki & Inetsuka à plusieurs dimensions et d'étudier en particulier comment les ondes sont filtrées par les couches successives de l'atmosphère solaire.

**Alexander Shekochihin** — DAMTP, University of Cambridge and Imperial College, London

La loi d'échelle en  $k^{-5/3}$  de K41 est observée dans de nombreux plasmas astrophysiques. Ce peut être expliqué par la théorie de Goldreich & Sridhar (1995) sur la turbulence alfvénique qui conduit à un spectre en  $k_{\perp}^{-5/3}$ ,  $k_{\parallel} \sim k_{\perp}^{2/3}$  et rend compte de l'anisotropie de la turbulence en présence d'un champs magnétique, qui est un phénomène observé en astrophysique et dans les DNS de turbulence MHD. Cette anisotropie ( $k_{\parallel} \ll k_{\perp}$ ), couplée avec les équations de la théorie cinétique des plasmas, permet de développer une série de modèles analytiques qui décrivent les échelles plus petites que le libre parcours moyen. Au delà du rayon de Larmor des ions, il est possible de construire un modèle hybride fluide/cinétique valide indépendamment du caractère collisionnel ou non du plasma. En deçà, la cascade turbulente prends la forme d'un cascade d'ondes d'Alfvén cinétiques suivant une loi en puissance  $k_{\perp}^{-7/3}$ ,  $k_{\parallel} \sim k_{\perp}^{1/3}$  d'après un argument à la K41/GS95.

*Références: astroph/0507686; astroph/0610810.*

**Sébastien Galtier** — IAS/Université Paris-Sud

S. Galtier décrit le spectre en  $E^b(f) \sim f^{-7/3}$  observé dans le vent solaire en deçà de la gyrofréquence des ions comme une seconde zone inertielle dont la loi de puissance peut être expliquée en introduisant l'effet Hall dans les équations de la MHD. D'une part, une approche perturbative de ces équations conduit à une loi d'échelles en  $E^b(k) \sim k_{\perp}^{-5/2} k_{\parallel}^{-1/2}$  (Galtier, J. Plasma Physics, 2006). D'autre part, des simulations numériques de turbulence forte utilisant un modèle en couche conduit à  $E^b(k) \sim k^{\alpha}$  avec  $\alpha$  compris entre  $-7/3$  et  $-11/3$  (Galtier & Buchlin, ApJ, 2007). Dans ces deux cas, le spectre se raidit aux petites échelles (par rapport à K41), comme ce qui est observé aux hautes fréquences, et l'approche Hall MHD semble

prometteuse.

**Vincenzo Carbone** — Università della Calabria

V. Carbone a présenté les résultats de simulations numériques obtenues grâce à un modèle en couche de la turbulence MHD dans le but de reproduire l'intermittence observée dans le vent solaire.

*Références: Bruno et al. (Space Science Reviews, 2006); Bruno & Carbone (http://www.livingreviews.org).*

**Fouad Sahraoui** — CETP, Vélizy

F. Sahraoui a présenté les derniers résultats de la mission CLUSTER sur la structure de la turbulence dans la magnétogaine. De telles mesures multi-satellites sont essentielles pour séparer les variations spatiales et temporelles de la turbulence dans les plasmas astrophysiques, pour lesquels l'hypothèse de Taylor n'est pas valable. Les observations montrent que la turbulence est compressible, fortement anisotrope et suit de nouvelles lois d'échelles (différentes de K41 ou IK) qu'il reste à expliquer (Sahraoui *et al.*, PRL, 2006). D'autres mission spatiale de ce genre sont programmées ou en cours de préparation.

**Barbara Bigot** — Observatoire de Nice

B. Bigot a présenté une étude numérique de l'anisotropisation de la turbulence en présence d'un champs magnétique à grande échelle  $B_0$ . Au début de la simulation, de l'énergie est injectée de façon isotrope aux grandes échelles; au fur et à mesure que la turbulence décline, on observe une élongation des structures parallèlement à  $B_0$  et la formation de petites échelles uniquement dans les directions perpendiculaire à  $B_0$ .

**Franck Plunian** — LEGI, Grenoble

F. Plunian a introduit un nouveau modèle en couche de la turbulence MHD qui prend en compte la possibilité d'interactions non locales entre nombres d'onde. Ce modèle a été appliqué à l'étude des spectres et des transferts d'énergie pour différentes valeurs du nombre de Prandtl magnétique. L'influence des interactions non locales est plus importante pour  $P_m \gg 1$ .

**Germain Rousseaux** — Université de Nice-Sophia Antipolis

G. Rousseaux nous a proposé une dérivation des équations de la MHD à partir des équations de propagation des potentiels (formulation de Riemann-Lorenz). Cette approche permet de retrouver les deux limites galiléennes de l'électromagnétisme — électrique et magnétique — et de démontrer que la condition de Jauge de Coulomb correspond à la limite magnétique de celle de Lorenz.

*Références: Rousseaux (Europhys. Lett., 2005); de Montigny & Rousseaux (Eur. J. Phys., 2006).*

**Sacha Brun** — CEA, Saclay

S. Brun a présenté les résultats de simulations MHD anélastiques de la zone radiative et de la tachocline solaire. Il a étudié le développement et la saturation d'instabilités non-axisymétriques du champs magnétique ( $m \sim 40$  pour  $B_{pol}$ ,  $m \sim 1$  pour  $B_{tor}$ ) ainsi que l'influence de la rotation et du cisaillement à grande échelle sur celles-ci. Pour  $B_{pol}$ , l'instabilité se présente à plus haut  $m$  en présence de rotation; sans rotation, elle se développe dans l'ensemble du domaine sphérique. L'effet du cisaillement est de concentrer l'instabilité de  $B_{tor}$  près des pôles. Contrairement aux idées avancées par Spruit, aucun effet dynamo n'a été observé dans la zone radiative.

*Références: Brun & Zahn (A&A, 2006).*

**Mariana Huerta** — LEGI, Grenoble

L'étude de l'évolution temporelle d'un mode de Fourier de la vorticité dans un expérience de turbulence dans un jet d'air permet d'identifier une dynamique "rapide", dependante de l'échelle ( $\tau_c(k) \sim 1/(kU_L)$ , en accord avec l'effet de sweeping) et une dynamique "lente", indépendante de  $k$  (Chevillard *et al.*). Des simulations numériques utilisant les modèles GOY et SABRA permettent de retrouver ces deux dynamiques mais sans effet de sweeping pour la dynamique "rapide" ( $\tau_c(k) \sim \epsilon^{1/3}k^{-2/3}$ ) qui n'est pas reproduit par de tels modèles en couche. On observe aussi des corrélations temporelles non négligeables entre différents modes, en accord avec un cascade directe d'énergie. La dynamique "lente" serait due à quelque chose qui se produit au niveau de l'injection d'énergie et qui est ressenti à toutes les échelles, au cours de la cascade.