

expliquer l'existence de structures à très grande échelle spatiale, comme les bandes zonales, la Grande tache rouge dans l'atmosphère de Jupiter ou encore les cyclones sur Terre, est un problème ancien qui semble contredire les principes de la mécanique des fluides.

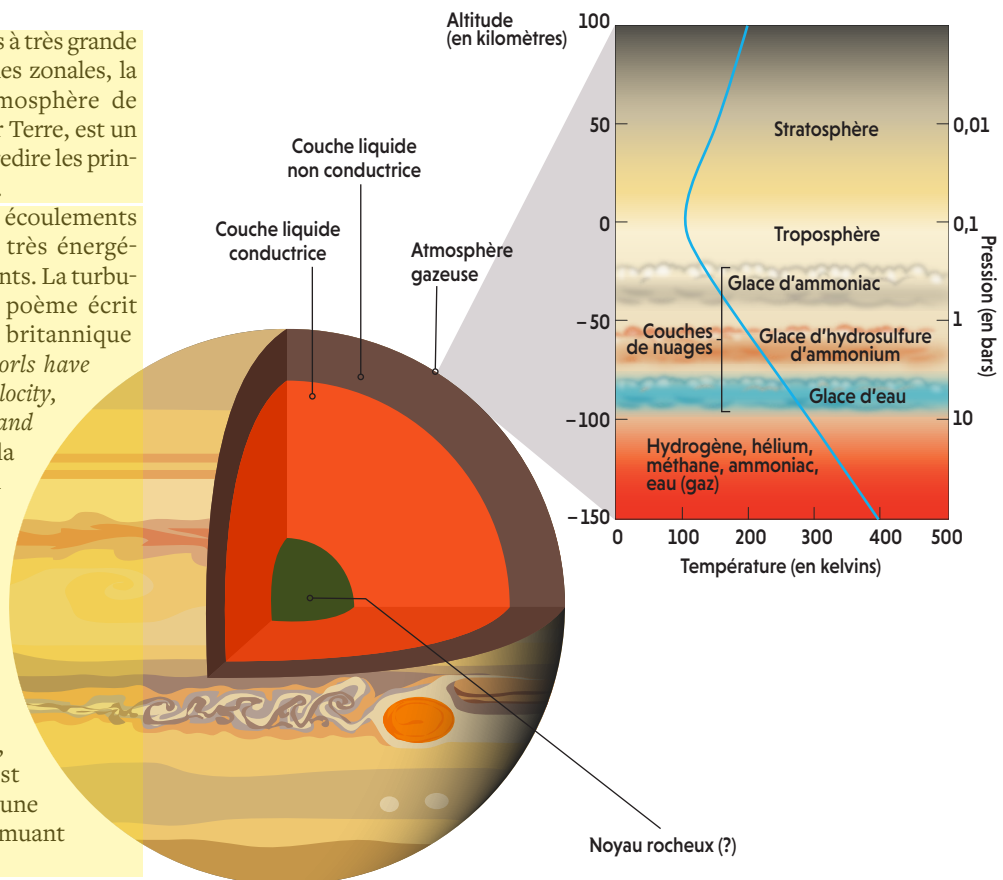
Le point commun de tous ces écoulements atmosphériques est qu'ils sont très énergétiques et donc forcément turbulents. La turbulence est bien résumée par ce poème écrit en 1922 par le mathématicien britannique Lewis Fry Richardson: «*Big whorls have little whorls, which feed on their velocity, and little whorls have lesser whorls and so on to viscosity*». Autrement dit, la turbulence est constituée d'un grand nombre de structures tourbillonnaires qui interagissent de façon à créer continuellement des tourbillons de plus en plus petits, jusqu'à ce que la viscosité du fluide, c'est-à-dire l'ensemble des phénomènes internes au fluide qui s'opposent à son mouvement, agisse et dissipe l'énergie. C'est ainsi par exemple qu'on mélange une goutte de lait dans son café en remuant rapidement le liquide.

Ce phénomène de «cascade turbulente» est au cœur de nombreux phénomènes en mécanique des fluides. On voit donc qu'un écoulement turbulent à grande échelle se déstabilise et tend à créer des structures de plus en plus localisées, et pas du tout des grandes structures cohérentes comme on en observe à la surface de Jupiter!

UNE TURBULENCE QUASI BIDIMENSIONNELLE

Cependant, si cette cascade turbulente (et donc l'impossibilité d'obtenir des grandes structures) est observée dans des volumes, des espaces tridimensionnels, il se passe exactement l'opposé si l'on considère un écoulement turbulent en deux dimensions, c'est-à-dire si le fluide est autorisé à bouger uniquement sur une surface. Dans ce cas, les tourbillons deviennent de plus en plus grands: on observe une cascade dite inverse (voir l'encadré page 50) par opposition à la cascade «directe» obtenue dans le cas tridimensionnel. Ainsi, à partir d'un écoulement vigoureux à petite échelle, on engendre des écoulements encore plus intenses à très grande échelle cette fois-ci (et qui ressemblent fortement aux cyclones et anticyclones de l'atmosphère terrestre!), exactement ce dont nous avons besoin pour expliquer en partie la formation des jets zonaux sur Jupiter.

Mais comment invoquer ce mécanisme bidimensionnel (2D) pour étudier l'atmosphère de Jupiter qui est intrinsèquement



Jupiter est majoritairement composée d'hydrogène et d'hélium. Son atmosphère gazeuse présente plusieurs couches nuageuses dont la composition leur donne des couleurs différentes. En profondeur, avec l'augmentation de la pression, les gaz forment un brouillard, puis un manteau liquide. À environ 7000 kilomètres sous la couche des nuages, l'hydrogène s'ionise et forme une couche conductrice dont les mouvements sont responsables du champ magnétique intense de Jupiter. Les données recueillies par la sonde *Juno* devraient apporter une réponse à la question de l'existence ou non d'un noyau rocheux.

tridimensionnelle (3D)? Plusieurs modèles existent et font débat depuis plusieurs décennies.

Le premier modèle, dit de couche mince, a été proposé dans les années 1950 et 1960, notamment par les Américains Seymour Hess et Hans Panofsky, puis par Andrew Ingersoll et Jeffrey Cuzzi, en s'inspirant du cas de l'atmosphère terrestre. L'idée repose sur un confinement géométrique de l'écoulement: dans un domaine 3D dont une dimension est beaucoup plus petite que les autres, les mouvements du fluide sont naturellement bloqués dans cette direction. Par exemple, la couche atmosphérique de Jupiter qui englobe les nuages de surface a une épaisseur de l'ordre de 100 kilomètres, à comparer à des dimensions latérales de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres. Les mouvements verticaux sont négligeables et l'on peut considérer la dynamique atmosphérique comme quasi 2D. Il serait donc possible dans ces conditions d'avoir une cascade inverse avec la formation de grandes structures (voir l'encadré page suivante).