

Une plongée dans les fines échelles de la dynamique atmosphérique martienne.

Aymeric Spiga¹, François Forget¹, Ehouarn Millour¹, Luca Montabone¹ and Jean-Baptiste Madeleine¹,
¹Laboratoire de Météorologie Dynamique, Université Pierre et Marie Curie, France (spiga@lmd.jussieu.fr)

Enjeux Les missions vers Mars ont révélé que l’atmosphère de la planète rouge est traversée d’intenses événements météorologiques à toutes les échelles. La moisson d’observations récentes (orbitales et in-situ) a permis de décrire une atmosphère originale et active à méso-échelle : fronts secs, soulèvements de poussière régionaux, vents catabatiques et anabatiques, ondes orographiques de sillage, nuages topographiques, rues de nuages, « dust devils ». Or la plupart des modèles existants, construits pour simuler la circulation atmosphérique globale sur Mars, ne possèdent ni la résolution ni la formulation nécessaires pour l’étude de ces phénomènes méso-échelle.

Modélisation Un modèle météorologique fonctionne en couplant deux entités : les intégrations des équations d’évolution du fluide atmosphérique autour de la sphère planétaire sont réalisées par le *coeur dynamique* et les forçages exercés sur ce fluide (transfert radiatif, échanges de chaleur latente, échanges surface/atmosphère, phénomènes dynamiques sous-maille, sources et puits de traceurs) sont calculées par des *paramétrisations physiques*. Pour construire notre nouveau modèle méso-échelle martien [1], nous avons capitalisé sur les paramétrisations physiques de l’environnement martien développées depuis deux décennies dans le modèle de circulation globale du LMD, tout en nous dotant d’un coeur dynamique haute résolution à aire limitée bénéficiant des derniers progrès de la modélisation méso-échelle sur Terre.

Validation Le modèle méso-échelle martien ainsi constitué a été testé sur des sites où pression, vent et température avaient été mesurés in-situ (par exemple, Chryse Planitia avec les sondes Viking et Pathfinder) ou étudiés par des simulations indépendantes réalisées par les autres équipes. Les résultats sont en accord satisfaisant avec ces références, ce qui permet de décrire l’intensité de la circulation méso-échelle sur Mars [voir 1, pour détails]. Le modèle rend ainsi compte des mécanismes dynamiques responsables de la formation de nuages topographiques de glace d’eau en été au sommet des grands volcans martiens.

Couche limite convective A plus petite échelle, le modèle peut être employé en configuration idéalisée

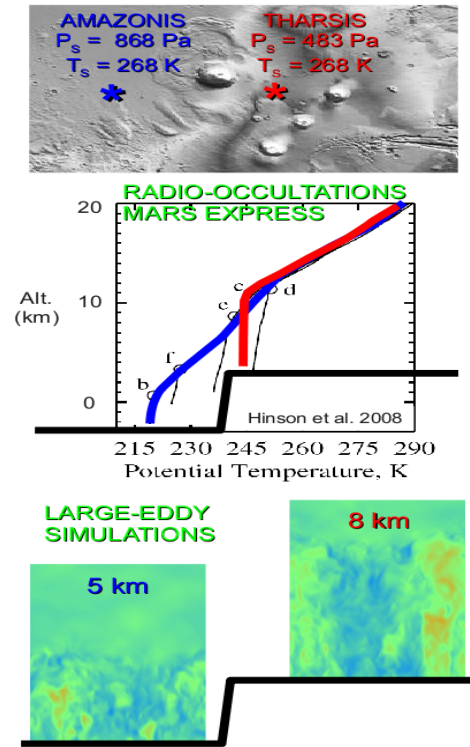


FIG. 1 – Les profondeurs de couche limite l’après-midi ont été évaluées par les occultations radio à bord de l’orbiteur européen Mars Express, qui permettent d’obtenir des profils verticaux de température. Dans les basses latitudes, la hauteur de la couche limite est plus étendue dans les hauts plateaux (terrains volcaniques de Tharsis, 8 km) que dans les basses plaines (Amazonis Planitia, 5 km) bien que la température de surface soit identique dans ces régions (Figures du haut : carte topographique montrant les régions de Tharsis et Amazonis et profils verticaux de température potentielle obtenus par radio-occultations Mars Express). Par des simulations aux grands tourbillons, il nous a été possible de reproduire cette variabilité régionale (Figure du bas : coupe verticale de vitesse verticale simulée par Large-Eddy Simulations de résolution 50 m dans les deux types de régions avec la hauteur de la couche limite indiquée dans chaque cas) et de la lier au forçage radiatif dominant de la couche limite convective.

« aux grands tourbillons » (Large-Eddy Simulations) pour résoudre le mélange convectif de couche limite l’après-midi. Les profondeurs de couche limite convective ont pu être récemment évaluées par les occultations radio à bord de l’orbiteur européen Mars Express qui fournissent des profils verticaux de température (Figure

1). Dans les basses latitudes, la hauteur de la couche limite est plus étendue dans les hauts plateaux (terrains volcaniques de Tharsis, 8 km) que dans les basses plaines (Amazonis Planitia, 5 km) bien que la température de surface soit identique dans ces régions. Par des simulations aux grands tourbillons, il nous a été possible de reproduire cette variabilité régionale et de la lier au forçage radiatif dominant de la couche limite convective [2], une situation bien différente des terrains arides terrestres [3].

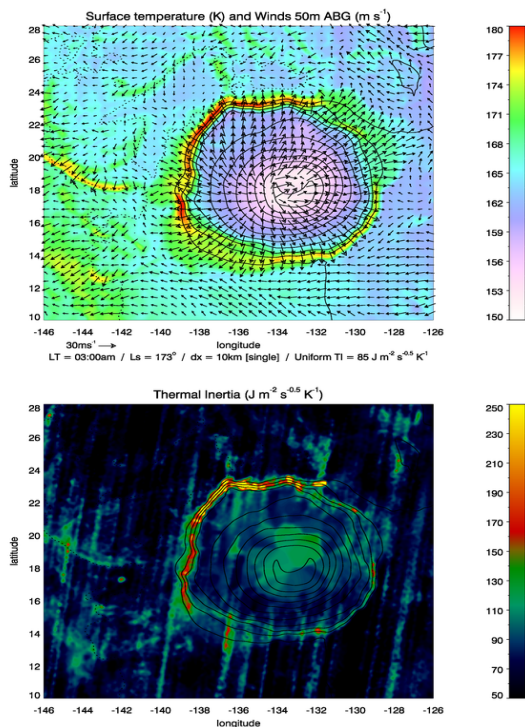


FIG. 2 — Les mesures de spectrométrie thermique infrarouge montrent que la nuit la surface des pentes du volcan Olympus Mons apparaît 20 K plus chaude que les terrains environnants, ce qui avait été interprété jusqu’ici par de forts contrastes d’inertie thermique du sol (Figure du bas : inertie thermique dans la région d’Olympus Mons, obtenue par analyse indirecte du champ de température de surface mesuré par spectrométrie infrarouge à bord de Mars Global Surveyor). L’emploi du modèle méso-échelle avec des propriétés thermophysiques de surface uniformes a permis de montrer qu’en fait, le réchauffement des surfaces inclinées résulte de la dynamique atmosphérique et du chauffage de l’atmosphère par la compression adiabatique causée par les intenses courants catabatiques qui descendent les pentes du volcan (Figure du haut : contours colorés de température de surface prédite par le modèle méso-échelle martien supposant l’inertie thermique constante, avec vents horizontaux superposés dans la région d’Olympus Mons dont la topographie est indiquée par des contours simples).

Vents catabatiques Un autre exemple d’application du modèle a consisté à réinterpréter les champs de température de surface nocturne acquis par spectrométrie thermique infrarouge (Figure 2). La surface des pentes du volcan Olympus Mons apparaît notamment 20 K plus chaude que les terrains environnants, ce qui avait été interprété jusqu’ici par de forts contrastes d’inertie thermique du sol [4, et article en préparation]. L’emploi du modèle méso-échelle avec des propriétés thermophysiques de surface uniformes a permis de montrer qu’en fait, le réchauffement des surfaces inclinées résulte de la dynamique atmosphérique et du chauffage de l’atmosphère par la compression adiabatique causée par les intenses courants catabatiques qui descendent les pentes du volcan. Les mesures indirectes d’inertie thermique utilisant la température de surface sont donc entachées d’erreurs au-dessus des terrains inclinés (le phénomène ne se cantonne pas à Olympus Mons), ce qui présente des conséquences importantes en géologie où l’inertie thermique est utilisée pour déterminer la nature des sols et leur histoire géologique.

Perspectives Le modèle méso-échelle martien permet de mieux connaître l’environnement martien et son histoire et, plus généralement, d’enrichir les connaissances de physique et de dynamique de l’atmosphère par l’étude d’un environnement extra-terrestre original. L’expérience de la « famille » multi-échelle de modèles martiens pourrait s’avérer utile pour d’autres environnements planétaires (Vénus, Titan, planètes géantes).

Références

- [1] A. Spiga and F. Forget. A new model to simulate the Martian mesoscale and microscale atmospheric circulation : Validation and first results. *Journal of Geophysical Research (Planets)*, 114(E13) :2009–+, 2009. doi : 10.1029/2008JE003242.
- [2] A. Spiga, F. Forget, S. R. Lewis, and D. P. Hinson. Structure and dynamics of the convective boundary layer on mars as inferred from large-eddy simulations and remote-sensing measurements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 136 :414–428, 2010.
- [3] A. Spiga. Elements of comparison between martian and terrestrial mesoscale meteorological phenomena : Katabatic winds and boundary layer convection. *Planetary and Space Science*, in press, 2010.
- [4] A. Spiga, S. R. Lewis, F. Forget, E. Millour, L. Montabone, and J.-B. Madeleine. The Impact of Katabatic Winds on Martian Thermal Inertia Retrievals. In *Lunar and Planetary Institute Science Conference Abstracts*, volume 41 of *Lunar and Planetary Inst. Technical Report*, pages 1533–+, 2010.