

Couplage de la physique LMDz Mars avec WRF

pour créer un modèle méso-échelle et un LES

Aymeric Spiga

Laboratoire de Météorologie Dynamique
Université Pierre et Marie Curie (Paris)

March 17, 2011

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

Préambule australien



[Site internet The Big Picture http://www.boston.com/bigpicture/2009/09/dust_storm_in_australia.html]

Préambule australien ... pendant une tempête de poussière !



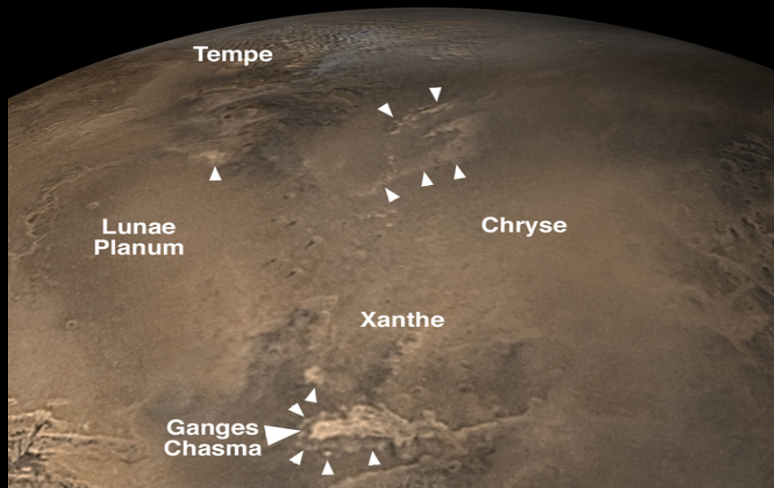
[Site internet The Big Picture http://www.boston.com/bigpicture/2009/09/dust_storm_in_australia.html]

Motivation

Pourquoi étudier les circulations atmosphériques sur Mars ?

- Météorologie dans un nouveau “laboratoire” naturel
- Support aux missions d’exploration de la planète
- Compréhension de la partie atmosphérique d’un système géophysique complet
- Application aux climats passés martiens
- Parallèles et contrastes avec l’environnement terrestre

Le “zoo” méso-échelle martien



[MGS/MOC imagery, Malin Space Science Systems, 02/2002]

Modèles méso-échelle martiens

- SwRI [USA] basé sur RAMS (2001)
- Cornell [USA] basé sur MM5 (2002)
- OSU [USA] basé sur MM5 (2002)
- FMI [FIN] basé sur HIRLAM (2006)
- LMD [FR] basé sur WRF (2009)

Planet WRF [USA] est basé sur WRF mais est un GCM (2008)

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

WRF: un coeur dynamique nouvelle génération

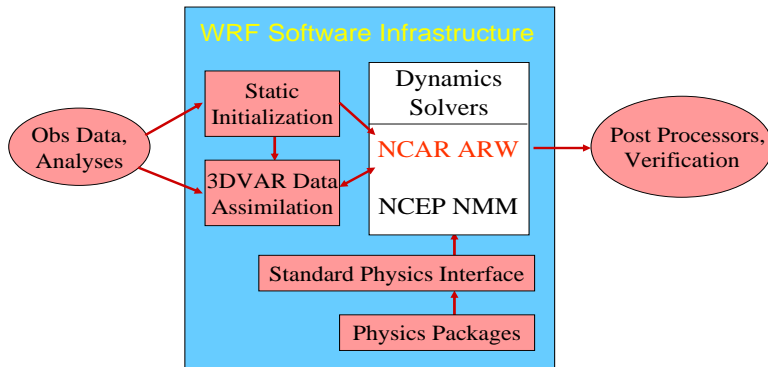
WRF-ARW

- Terrain-following hydrostatic pressure vertical coordinate
- Arakawa C-grid
- 3rd order Runge-Kutta split-explicit time integration
- Conserves mass, momentum, entropy, and scalars using flux form prognostic equations
- 5th order upwind or 6th order centered differencing for advection

MM5

- Terrain-following height (sigma-z) vertical coordinate
- B-grid
- 1st order (time-filtered) Leapfrog time integration
- Advective formulation (no conservation properties)
- 2nd order centered differencing for advection

Structure du modèle



Dessine-moi un modèle méso-échelle martien



Construction (2007)

- Mise en commun des constantes
- Définition d'un calendrier spécifique
- Interface: coeur WRF et physique LMDz
- Préparation des conditions aux limites à partir d'un run GCM
- Définition de champs statiques (topographie, etc...)
- Réglage des filtres acoustiques, diffusion, ...

Dessine-moi un modèle méso-échelle martien



Amélioration (2008)

- Tests en mode idéalisé [LES, GW, ...]
- Passage au mode calcul parallèle
- Adaptations pour domaines emboîtés
- Schéma d'insolation sur les pentes
- Gestion des traceurs
- Scripts pour chaîne d'exécution complète

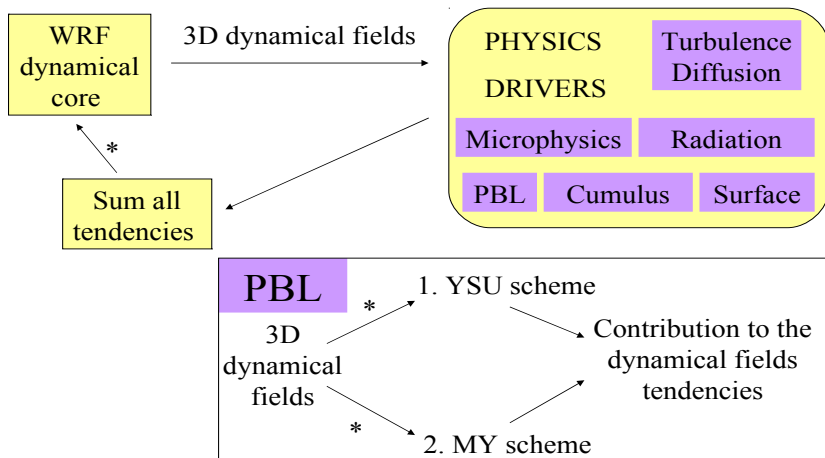
Dessine-moi un modèle méso-échelle martien



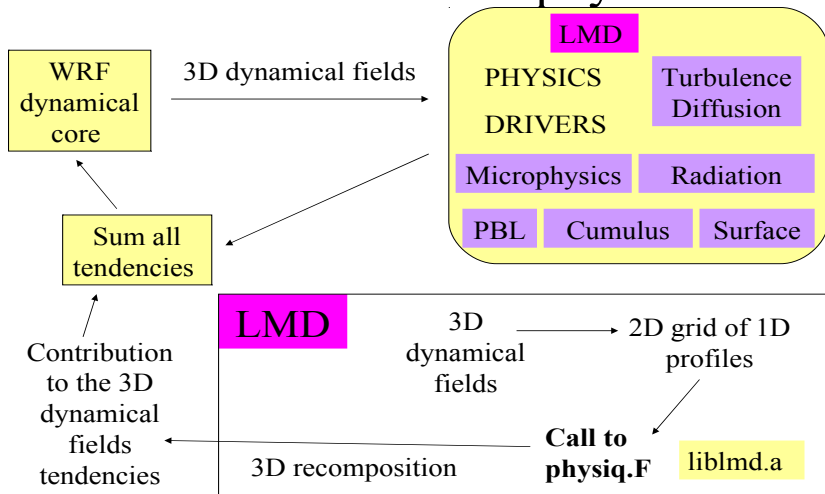
Consolidation (2009-2011)

- Amélioration du post-processing
- Tests en projection polaire
- Elevation du toit du modèle
- Portage sur CICLAD, GNOME, etc...
- Remplacement par la nouvelle physique martienne
- Simplification de l'interfaçage GCM/meso (libf commun + flags)

WRF call to physics



WRF call to LMD physics



WRF Preprocessing System adapted to Mars

- 1 Generate WPS input files from GCM outputs (diagfi.nc, ...)
- 2 Define domain(s) and map projections
- 3 Interpolate static data from datasets at various resolutions (e.g. MOLA)
- 4 Interpolate GCM meteorological fields to the chosen resolution to generate initial state and specified boundary condition

LMD Mars Mesoscale Model

WRF dynamical core

integration of conservation laws for momentum, mass, energy, tracers

LMD Mars physics

radiative transfer (dust and CO₂), soil model, vertical mixing, microphysics (H₂O and CO₂), lifting/sedimentation, chemistry

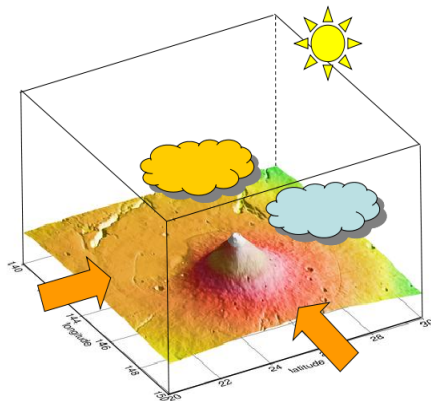
LMD Mars GCM fields

initial and boundary conditions

MGS hi-res dataset

topography, thermal inertia, albedo, dust

Grid spacing $\sim 10 - 1$ km



[Spiga and Forget, JGR 2009]

LMD Mars Large-Eddy Simulations [LES]

WRF dynamical core

integration of conservation laws for momentum, mass, energy, tracers

LMD Mars physics

radiative transfer (dust and CO₂), soil model, vertical mixing, microphysics (H₂O and CO₂), lifting/sedimentation, chemistry

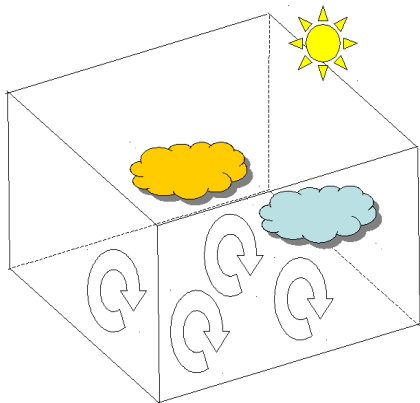
LMD Mars GCM fields

initial profiles only [periodic boundaries]

MGS hi-res dataset

topography, thermal inertia, albedo prescribed dust scenario

Grid spacing $\sim 100 - 10$ m

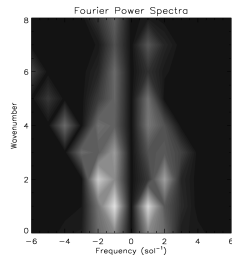
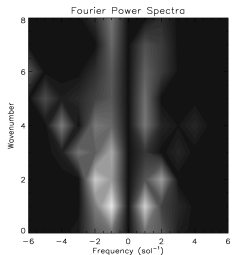
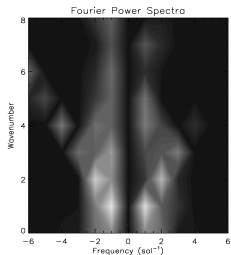
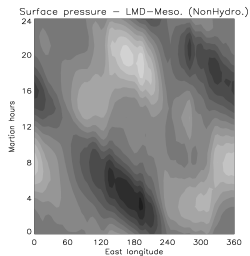
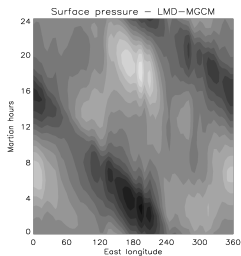
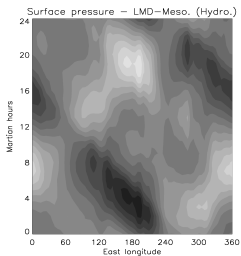


[Spiga et al., QJRMS 2010]

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications**
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

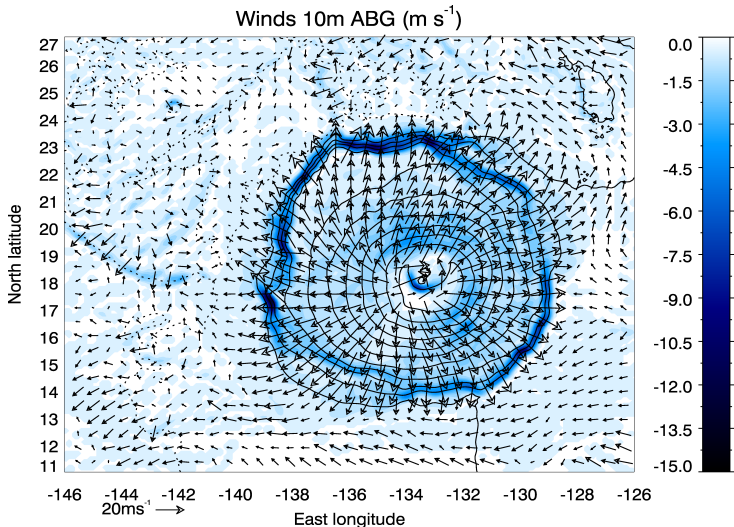
Thermal tides in GCM and “channel mesoscale”



[Spiga and Forget, JGR 2009]

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications**
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente**
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

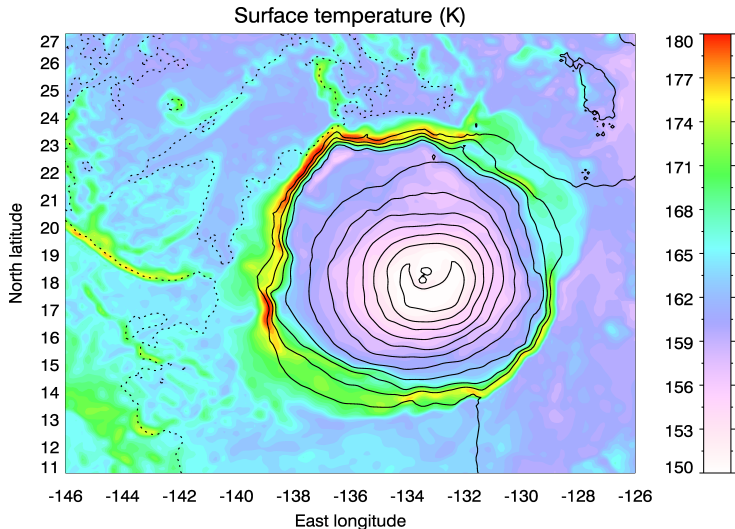
Katabatic winds in Olympus Mons and Lycus Sulci



LT = 02:00am / Ls = 173° / dx = 6km [single] / Uniform TI = $85 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-0.5} \text{ K}^{-1}$

[Spiga and Forget, JGR 2009; Spiga et al., Icarus 2011]

Nighttime “warm katabatic ring”

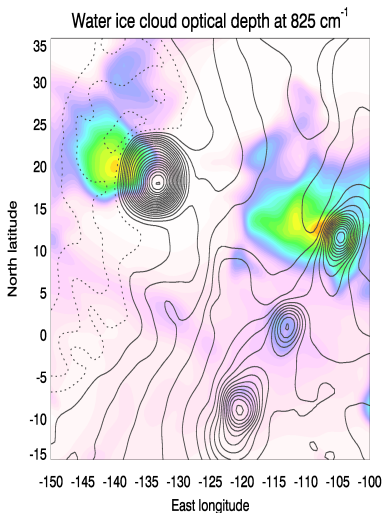


LT = 02:00am / Ls = 173° / dx = 6km [single] / Uniform TI = 85 J m⁻² s^{-0.5} K⁻¹

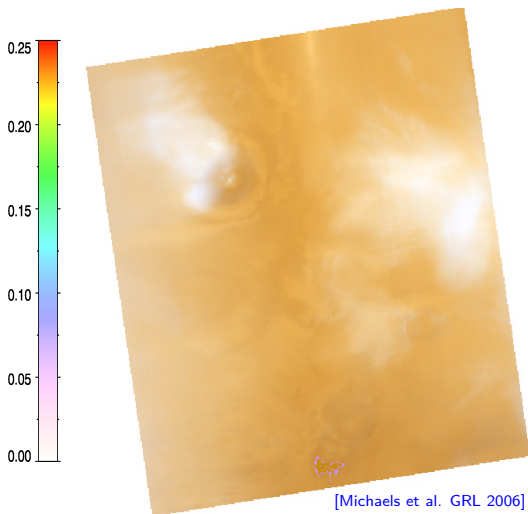
[Spiga et al., Icarus 2011]

Tharsis summer topographical clouds

Modèle



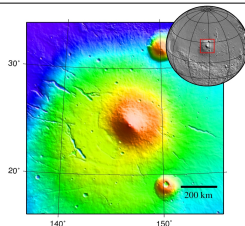
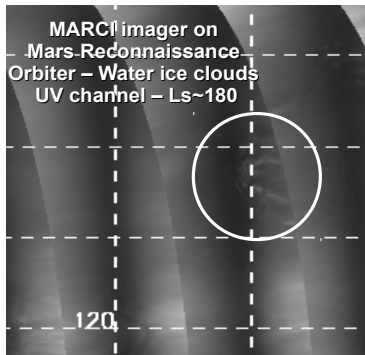
Observations



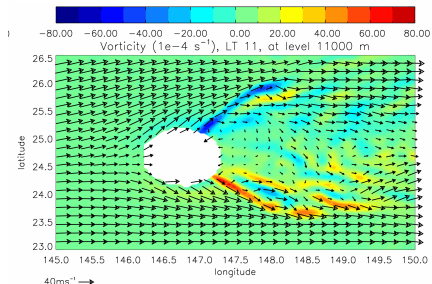
- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications**
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage**
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

Elysium Wake

Northern Fall Jet-stream

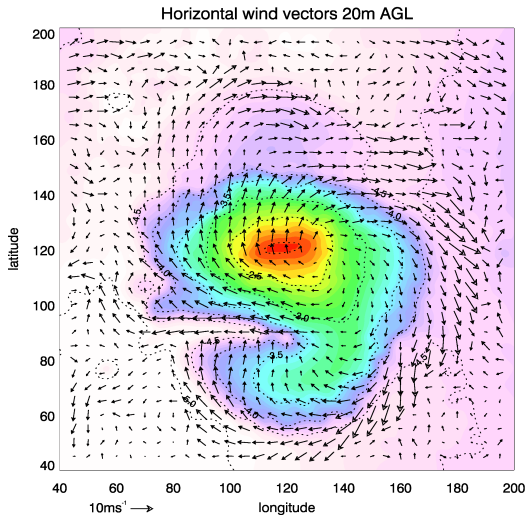


Spiga PhD 2008

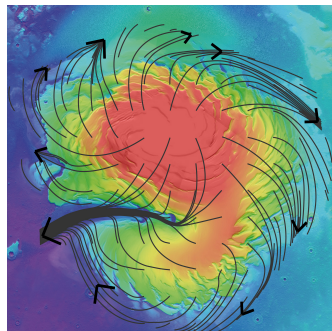


- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications**
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire**
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

Near-surface winds in polar regions



[Mesoscale modeling at $L_s \sim 100^\circ$; model: Spiga and Forget, 2009]

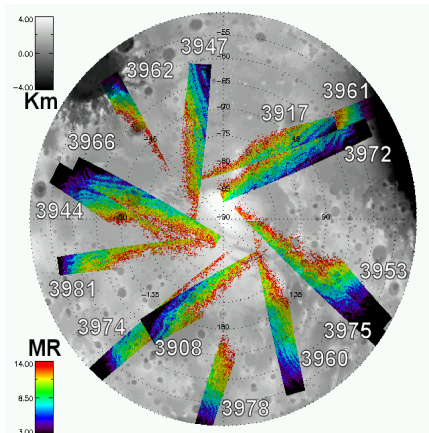


[Geological features; data: Howard et al. 2000;
picture: M. Massé]

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - **Etude d'ondes de gravité**
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons

Further studies of gravity waves

OMEGA observations

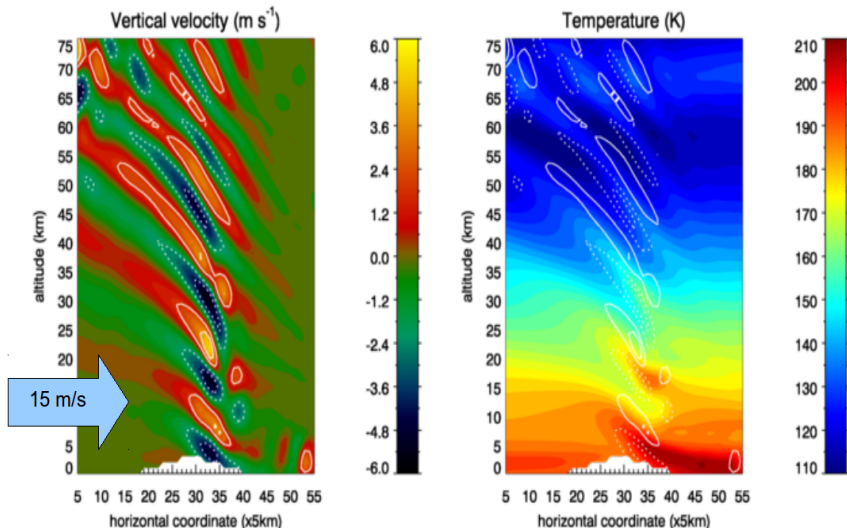


Mesoscale polar modeling

[Altieri et al., GRL, in revision]

2D Idealized Mesoscale Modeling

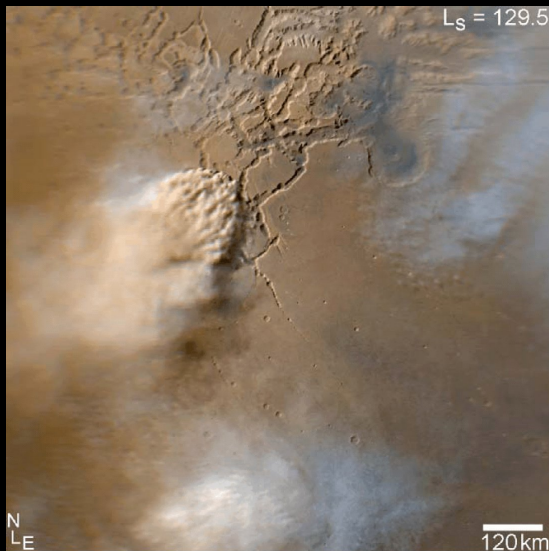
with the full Martian physics including radiative transfer up to 150 km



[Collaboration with IAA, Granada]

- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications**
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives**
 - Simulations aux grands tourbillons

Tempêtes de poussière locales



[Malin et al. Icarus 2008]

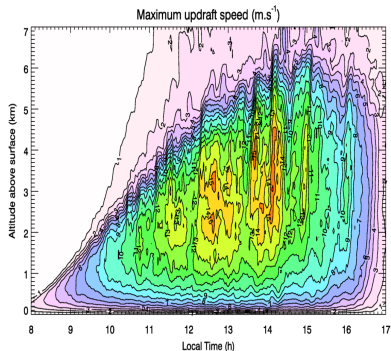
Tempête régionale $\tau = 10$ avec $\tau_{\text{background}} = 0.5$

Coupe altitude/latitude à la longitude de Terra Meridiani. $L_s \sim 237^\circ$.

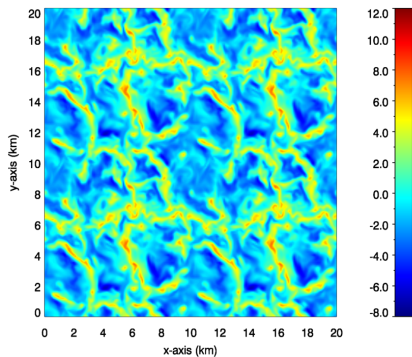
- 1 Introduction et motivation
- 2 Développement
- 3 Applications**
 - Canal longitudinal
 - Vents de pente
 - Dynamique de sillage
 - Météorologie polaire
 - Etude d'ondes de gravité
 - Tempêtes de poussière explosives
 - Simulations aux grands tourbillons**

Simulations 3D de couche limite convective

Vertical

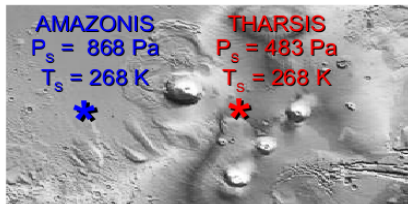


Horizontal



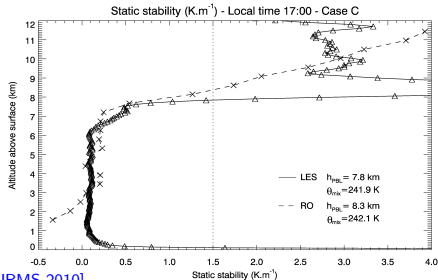
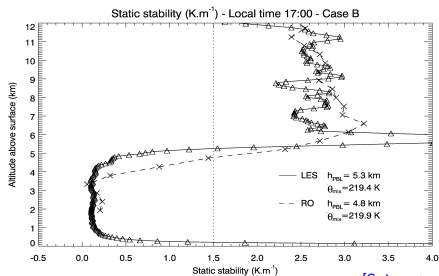
[cas typique Meridiani, Exomars risk assessment]

BL depth variability: observations vs. models



Lower plains [Amazonis]

Higher plateaus [Tharsis]



[Spiga et al., QJRMS 2010]

Message à emporter

- Mars certes, mais démarche météorologique
- Connaissance en profondeur de l'outil WRF
- Construction du modèle : le meilleur des deux mondes
- Science martienne : exploration et découvertes



Spiga, A. (2011).

Elements of comparison between martian and terrestrial mesoscale meteorological phenomena: Katabatic winds and boundary layer convection.
Planetary and Space Science, in press.



Spiga, A. and Forget, F. (2009).

A new model to simulate the Martian mesoscale and microscale atmospheric circulation: Validation and first results.
Journal of Geophysical Research (Planets), 114:E02009.



Spiga, A., Forget, F., Lewis, S. R., and Hinson, D. P. (2010).

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.



Spiga, A., Forget, F., Madeleine, J. B., Montabone, L., Lewis, S. R., and Millour, E. (2011).

The impact of martian mesoscale winds on surface temperature and on the determination of thermal inertia.
Icarus, accepted.



Spiga, A. and Lewis, S. (2010).

Mesoscale and microscale wind variability of relevance for dust lifting.
Mars, 5:146–158.