Base de données climatique Martienne

C. Hourdin, F. Forget, R. Fournier, F. Hourdin, F. Mathiot et O. Talagrand
Laboratiore de Météorologie Dynamique du CNRS, IPSL, Paris

S. Lewis, P.Read, M. Collins
Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, Oxford

Résumé.

Le Laboratoire de Météorologie Dynamique, en collaboration avec une équipe de l'université d'Oxford (Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics) et le soutien de l'Agence Spatiale Européenne (Contrat ESTEC 11369/95/NL/JG(SC)), a développé une base de données climatique Martienne. Les données sont issues de simulations numériques réalisées avec un modèle de circulation générale (MCG)développé au sein de ces deux laboratoires. Elles sont ensuite validées par comparaison avec les données actuellement disponibles (Mariner 9, Viking, Mars Pathfinder). Initialement orientée vers la préparation de missions spatiales (profils d'entrée dans l'atmosphère et environnement près de la surface), cette base de données peut s'avérer extrêmement utile pour l'ensemble de la communauté scientifique. Dans ce but, un serveur Web a été développé:

http://www.lmd.jussieu.fr/mars.html

Il permet de visualiser de manière interactive, en tout point de la planète, à n'importe quelle heure du jour et pour n'importe quelle saison, des cartes de vent, température, pression... On peut également récupérer les données correspondantes sous différents formats. Pour chaque champ, le logiciel fournit à la fois les valeurs moyennes et une estimation de la variabilité attendue autour de ces valeurs.

1. Principe de la Base de données

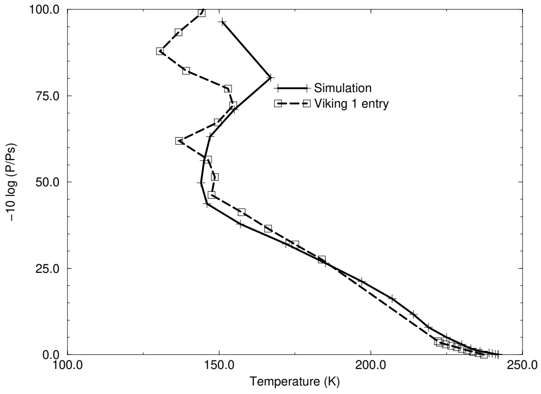
Les observations sur Mars sont beaucoup trop clairsemées à la fois dans le temps et dans l'espace pour permettre de construire directement une telle base de données, même après extrapolation. C'est pourquoi un MCG est nécessaire. Le modèle utilisé a été soigneusement validé et permet de reproduire les observations disponibles. Il permet en plus de fournir une description physique cohérente des conditions atmosphériques sur Mars pour des saisons et des conditions de poussières qui ne sont pas couvertes par les observations. Des simulations de plusieurs années sont effectuées au cours desquelles on stocke les données. A partir de ces données les valeurs moyennes des différents champs sont extraites, et des statistiques sont réalisées pour rendre compte de la variabilité autour des valeurs moyennes (voir paragraphe 3). Ce sont ces valeurs moyennes et de variabilité qui sont stockées dans la base.

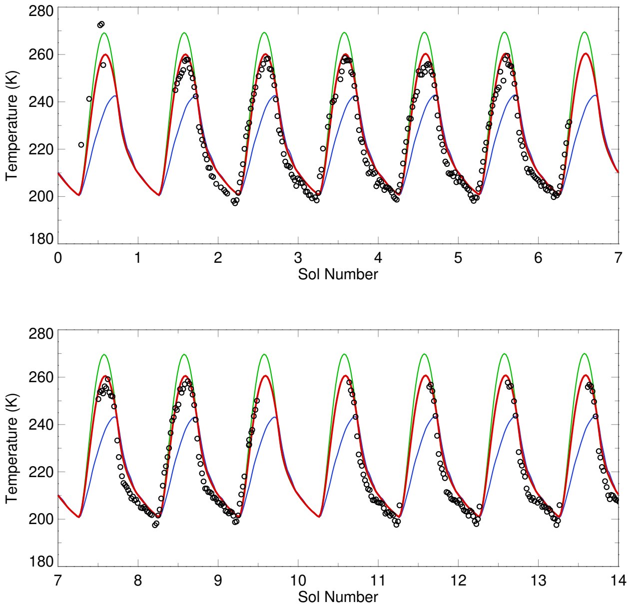
2. Description de la Base de données

La base de donnée comprend neuf variables sur une grille horizontale de 3.75^ox3.75^o (grille 96x48), et pour 25 niveaux "sigma" sur la verticale (de 5 m à 95 km d'altitude). Sigma est un système de coordonnées qui suit le relief; un logiciel est fournit pour convertir les coordonnées verticales en pression ou altitude et pour interpoller depuis la grille vers n'importe quel endroit souhaité. Les champs moyens sont stockés 12 fois par jour et pour 12 saisons martiennes afin de permettre une représentation complète des cycles diurne et annuel. Une année Martienne est découpée en 12 saisons, chaque saison représentant une variation de 30^o de Longitude Solaire (Ls), ce qui correspond à une durée allant de 50 à 70 jours.

MARS PATHFINDER TEMPERATURES

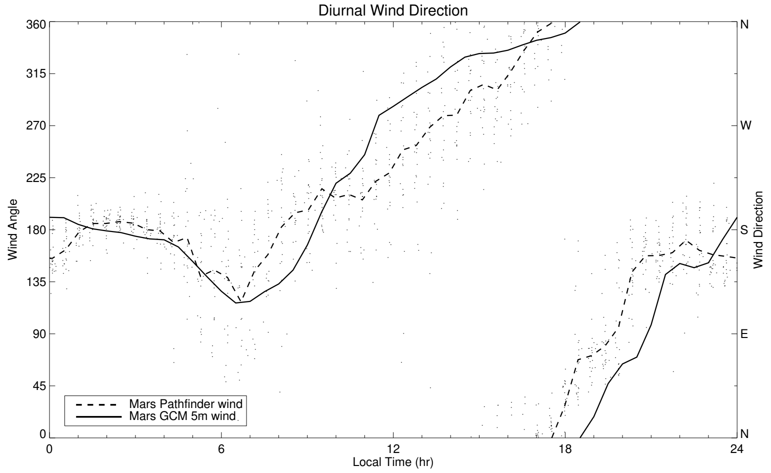
VIKING TEMPERATURE





Températures mesurées à 1 m sur le mât de Pathfinder (cercles), température de surface du MCG (courbe basse), température atmosphérique à 5 m du MCG (courbe haute) et interpolation linéaire (courbe centrale).

MARS PATHFINDER WIND



MARS PATHFINDER SURFACE PRESSURE

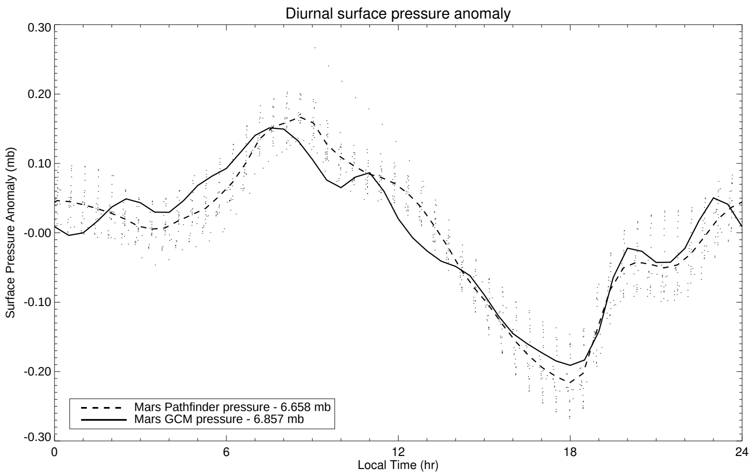


Figure 1: *Comparaisons entre la base de données et les observations issues des missions Viking et Pathfinder. La base de données, construite avant l'atterrissage de Pathfinder, a raisonnablement prédit les conditions observées par la nouvelle sonde.*

Variable	symbole	unité	2-D or 3-D
Pression de surface	ps	Pa	2-D
Température de surface	tsurf	K	2-D
Glace de CO_2	co2ice	$kg\ m^{-2}$	2-D
Emissivité de la surface	emis	none	2-D
Température de l'atmosphère	t	K	3-D
Vent zonal (est-ouest)	u	$m\ s^{-2}$	3-D
Vent méridien (nord-sud)	v	$m\ s^{-2}$	3-D
Densité de l'atmosphère	rho	$kg\ m^{-3}$	3-D
Energie cinétique turbulente	q2	$m^2\ s^{-2}$	3-D

3. Représentation de la variabilité

En plus de la variabilité saisonnière et diurne directement échantillonnée dans la base, d'autres formes de variabilité doivent être prises en compte.

3.1 Variablilité de grande échelle

La première information sur la variablilité residuelle jour à jour et intra-saisonnière contenue dans le modèle, par exemple celle liée aux ondes baroclines, qui a disparu à cause de la moyenne en temps, est donnée pour chacun des champs par un écart-type stocké dans une variable portant le même nom que le champ, et précédée du préfixe *sd* pour Standard-Deviation (par exemple pour "ps" le champ pression de surface, l'écart-type est stocké dans la variable "sdps").

Cette variabilité est également décrite de manière plus précise en la modélisant à partir de techniques statistiques aujourd'hui largement utilisées en analyse des données météorologiques: l'analyse en EOF (North 1984, Mo and Ghil 1987). Soit $D(z)$ le profil vertical moyen d'une variable de la base de données. On ajoute une série de fonctions à ce profil vertical moyen,

$$D(z) \ = \overline{D}(z) \ + \ \sum_{n=1}^{N} \ p_i e_i(z) \tag{1}$$

où les fonctions e_i sont des vecteurs propres de la matrice de covariance des profils modelisés (les EOFs), et p_i les amplitudes des fonctions (les composantes principales)(Collins *et al.* 1996).

3.2 Variablilité de petite échelle

La résolution du MCG Martien n'est pas suffisante pour simuler nombre de mouvements de petite échelle, tel que la propagation des ondes de gravité, qui peuvent avoir une rétro-action sur la circulation atmosphérique de grande échelle. Pour prendre en compte cette variablité de petite échelle, un modèle simulant les perturbations de densité, température et vent est inclu dans la base de données. Ce modèle est basé sur les schémas de paramétrisation utilisés dans le MCG (Collins *et al.* 1997).

3.3 Variablilité interannuelle

Pour une distribution de poussière donnée, la variabilité interannuelle est très faible. En revanche au cours des différentes missions Martiennes, de fortes variabilités interannuelles de l'atmosphère ont été observées. Elles sont essentiellement dues à la quantité et à la distribution de poussière suspendue dans l'atmosphère. Pour reproduire ce phénomène, la base de données intègre différents scénarios de poussière:

• Un scénario "Viking" où la poussière varie au cours des saisons comme observé au cours des missions Viking (hors tempête de poussière) (Jaquin *et al.*, 1986).

• Un scénario "clair" avec peu de poussière, une distribution uniforme ($\tau = 0.1$) et une coupure à 30 km d'altitude, correspondant à des observations plus récentes où Mars est apparue plus claire et plus froide.

• Deux scénarios "tempête de poussière" avec des opacités beaucoup plus importante ($\tau_{max} = 2$ et $\tau_{max} = 5$), la distribution variant comme le scénario viking. Les données sont fournies pour les saisons correspondant aux tempêtes de poussière ($Ls = 210^o - 300^o$).

4. Modèle Martien - Comparaison aux observations

Les simulations à l'origine de la base de données ont été réalisées avec un modèle issu de la mise en commun des MCGs développés respectivement par le LMD et le AOPP. La base de données a été validée par comparaisons aux observations obtenues au cours des différentes missions Martiennes. On peut voir, par exemple, figure 1, le profil de température de l'entrée dans l'atmosphère de la sonde viking, et le profil donné par la base de données pour la même date et au même endroit. La base de données a été validée avec les observations des missions viking (pression de surface, température), mais également avec les températures de l'instrument IRIS de Mariner 9.

De nombreuses nouvelles observations (Mars Global Surveyor, Mars Climate Orbiter) seront bientôt disponibles. Les données nouvellement disponibles (celles de Pathfinder) ont été comparées à la base de données (voir figure 1).

5. Utilisation de la base de données

L'accès aux moyennes et aux écart-types des différentes variables, dans une grande variété de formats y compris la visualisation directe de cartes ou de profils, est possible directement via le serveur Web (voir adresse dans le résumé).

L'accès fortran à la base de données nécessite environ 0.9 GB pour une installation complète, ce qui est recommandé si l'on souhaite avoir accès à l'ensemble des modèles de variabilité. Les données sont fournies dans un format binaire portable, et sont accessible via une interface complète, via l'ecriture de programmes qui appellent des "subroutines" fournies avec les données ou via une gamme d'outils de visualisation de données tel que GrADS. (Contacter chourdin@lmd.jussieu.fr).

6. Développements futurs

Bien que le MCG produise une des meilleures estimations des conditions sur Mars, de grandes incertitudes persistent dans notre compréhension et représentation de l'environnement Martien, en partie à cause du peu d'observations disponibles. Tout particulièrement, la topographie Martienne n'a jamais été mesurée de façon très précise, et la distribution de poussière est peu connue. Cette situation devrait nettement changer avec l'arrivée des données des nouvelles missions Martiennes. Après analyse de ces nouvelles donnnées, le MCG Martien sera amélioré et la base de donnée mise à jour.

Références

1. Colburn D.S.*et al.*, Icarus, 79,159-189 (1989)
2. Jaquin F.*et al.*, Icarus, 68,442-461 (1986)
3. North G.R., J. Atmos. Sci., 41,879-887 (1984)
4. Mo K.C. and Ghil M., J. Atmos. Sci., 55,877-901 (1987)
5. Collins M. *et al.*, E.S.A, SP-392,323-327 (1996)
6. Collins M. *et al.*, Adv. Space Res., 44,1395-1409 (1997)