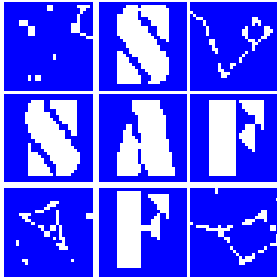


L'APPARITION 2005 DE LA PLANETE MARS

PARTIE III : L'ACTIVITE ATMOSPHERIQUE SUR MARS

EN 2005

*Christophe Pellier, Coordinateur section Mars et planètes telluriques
Commission des observations planétaires, SAF*



De très intéressants phénomènes atmosphériques ont été observés au cours de l'apparition 2005. Un important épisode de tempêtes de poussière survient dans la deuxième moitié du mois d'octobre (Ls 305-320) et constitue un exemple intéressant de tempête « trans-équatoriale » (III.1).

L'activité des nuages de vapeur d'eau, très importante avant octobre, est marquée par une rupture saisonnière au moment des tempêtes de poussière et le retour à la normal ne survient que courant décembre 2005, peu de temps avant l'équinoxe de janvier 2006.

III.1 L'épisode de tempêtes en Ls 305-320 : un cas qui interroge les modèles

Au cours de l'opposition 2005, un bel épisode de tempêtes de poussières a pu être observé depuis la Terre. Débutant à la mi-octobre vers Ls 306, trois semaines avant l'opposition, cette activité a été extrêmement bien couverte par les amateurs et les documents qu'ils ont produits autorisent un excellent suivi du déroulement du processus¹.

Le déclenchement de l'activité : une descente de poussière depuis Mare Acidalium

Face à la question de savoir comment la tempête a été déclenchée, l'auteur privilégie comme facteur explicatif le déplacement d'un petit nuage de

poussière à partir de Nilokeras, sous le voile polaire nord, vers Chryse puis l'hémisphère sud martien.

La façon dont débute l'activité à la mi-octobre peut être analysée au regard du modèle des tempêtes « *cross-equatorial* » (voir **encadré**) qui trouvent leur origine dans une descente de front depuis le voile polaire nord hivernal. Ce mécanisme qui a été identifié à partir des données de la sonde MGS donne des éléments pour comprendre de ce qui s'est passé.

Selon le modèle développé par Wang, Richardson, Wilson, Zurek, Ingersoll et Toigo², durant l'automne et l'hiver de l'hémisphère nord, un système constitué par une dépression quasi-stationnaire située au niveau de Mare Acidalium et des hautes pressions au sud-ouest peut entraîner, à certains moments et sous certaines conditions, des descentes de fronts de poussières vers le sud. Ces tempêtes peuvent éventuellement descendre encore plus au sud où elles ont une chance de provoquer une activité plus importante au niveau de Chryse et au-delà (cf. encadré). Comment l'activité 2005 s'inscrit-elle dans ce schéma ?

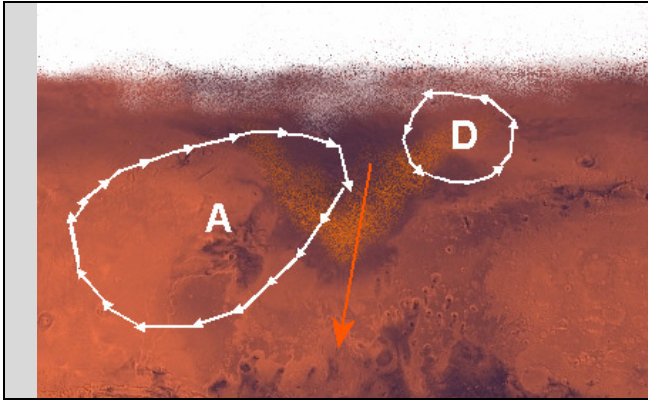
Le modèle des tempêtes trans-équatoriales

Dans un article publié en 2003 dans Geophysical Research Letters, Wang, Richardson, Wilson, Zurek, Ingersoll et Toigo tentent de modéliser un type d'activité nouvellement identifié lors de la première année de cartographie martienne de la sonde MGS (1999-2000), en partant de certaines propriétés atmosphériques de la région polaire nord. Selon ce modèle, le vortex du voile polaire nord est déstabilisé par deux ondes stationnaires qui entraînent deux systèmes dépressionnaires permanents aux environs de Mare Acidalium et d'Utopia. Le premier système est le plus important, grâce à la topographie particulière d'Acidalia Planitia, une vaste plaine située en contrebas du plateau de Tharsis.

Selon les auteurs, des fronts arctiques peuvent descendre de cette dépression et traverser l'équateur martien vers l'hémisphère sud sous les conditions suivantes :

- *La saison martienne est comprise soit entre Ls 210 – 230° ou entre Ls 310 – 350°. Aux alentours du solstice (Ls 270) les vents du nord ne sont plus suffisamment forts.*
- *Le centre dépressionnaire est situé à 0° de longitude.*
- *L'heure locale au méridien 35°W (en plein dans Mare Acidalium) est comprise entre 9H et 19H, les vents soufflants vers le sud (méridionaux) ne rencontrant pas alors de flux zonal contraire (vers l'ouest).*

Si ces conditions sont réunies, une « porte de marée » (tidal gate) est alors ouverte et les fronts peuvent descendre vers le sud. Ces conditions sont favorisées au niveau d'Acidalia, Utopia et Arcadia qui sont des régions où le retour de la cellule de Hadley est plus fort, ce qui entraîne un courant-jet plus puissant.



Modélisation de la théorie des tempêtes trans-équatoriales

Un anticyclone occupe toute la partie est de Tharsis. Une dépression est située sur le méridien zéro ; entre les deux, un flux de nord s'installe provoquant la descente de fronts.

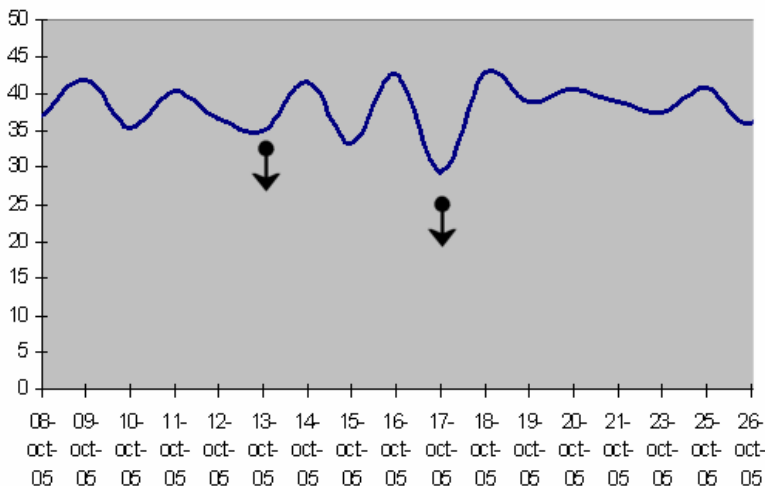
L'oscillation du voile polaire d'Acidalium

Avant de parler des tempêtes proprement dites, on peut remarquer que l'analyse des images et leur comparaison avec les données MGS semble démontrer l'existence d'une sorte d'oscillation en latitude du voile polaire au niveau de Mare Acidalium. En effet, à certains moments, le bord sud du voile semble descendre vers le sud, puis remonter, et redescendre à nouveau, les deux « phases » de l'oscillation se produisant chacune à un sol d'intervalle environ. Le déclenchement de tempêtes semble se produire en « phase 2 » au moment où le front atteint son avancée la plus australe. A chacune de ces deux phases correspond, sur les images, un aspect différent du voile, celui correspondant à la phase « basse » prenant une forme assez caractéristique de « V » très allongé dont la pointe se trouve presque toujours dans la petite région de Nilokeras juste à l'ouest de Mare Acidalium.. C'est cet endroit précis

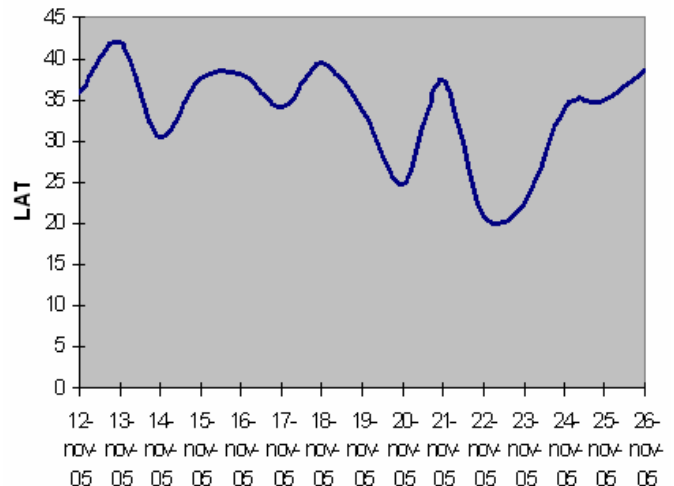
qui semble abriter de nombreux petits nuages de poussières si l'on en croit les images MGS, ainsi que certaines images amateurs de 2005.

L'oscillation ne semble pas permanente tout au long de la saison. Une analyse partielle des images disponibles pour l'apparition 2005 semble montrer une oscillation importante en octobre et novembre, mais pas pour la période qui précède (septembre, un exemple entre Ls 284 et 288) ni pour celle qui suit (décembre, exemple ici entre Ls 342 et 348), toutefois, les périodes considérées sont plus courtes que dans les deux principaux mois de l'opposition. Il existe peut-être d'autres éléments qui créent les conditions d'une « déstabilisation » du courant-jet au-dessus de Mare Acidalium, entraînant l'apparition d'une activité frontale qui va être à certains moments plus importante qu'à d'autres. C'est seulement dans de telles conditions qu'une tempête aurait des chances de se produire.

OCTOBRE 2005 : Ls 303 - Ls 313

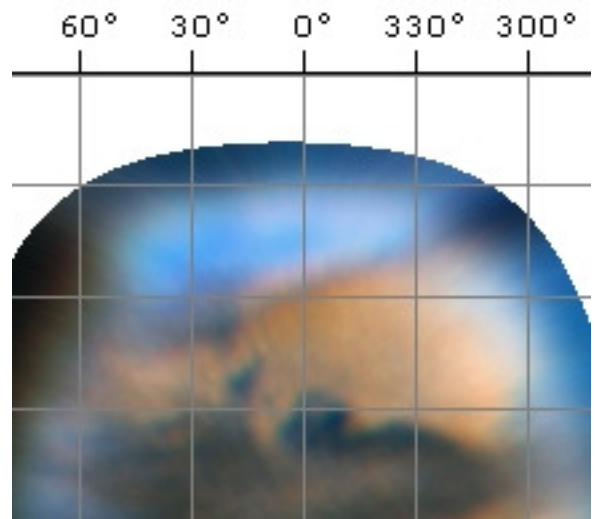
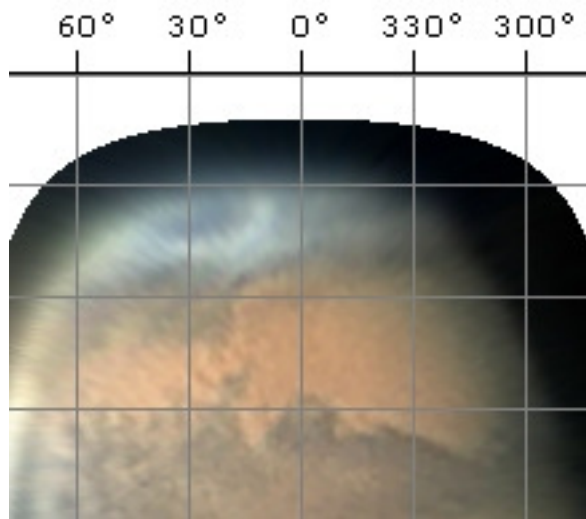


NOVEMBRE 2005 : Ls 323 - Ls 330



Graphiques 1 et 2 : l'oscillation du voile polaire nord au niveau de Mare Acidalium en octobre et novembre 2005

L'avancée maximale du voile polaire vers le sud est mesurée à la longitude 35° sur un laps de temps le plus long possible. Ces mesures quasi diurnes révèlent une « oscillation » relativement régulière sur environ deux sols. C'est visiblement la phase « basse » qui favorisent le déclenchement de tempêtes (flèches sombres) : elle correspond en effet à la descente d'un front en flux de nord. Latitude en ordonnées.

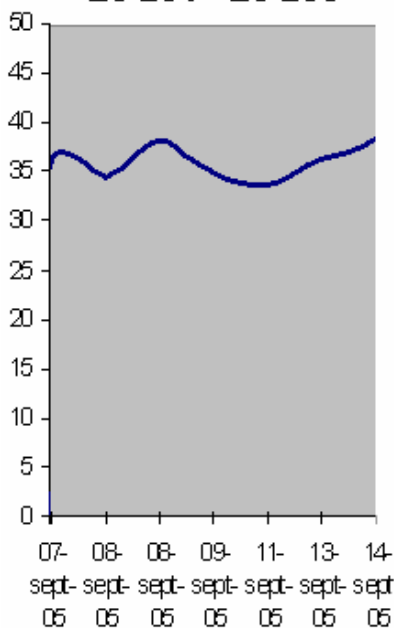


Figures 1 et 2 : Images du voile polaire au niveau d'Acidalium en phase « haute » et en phase « basse »

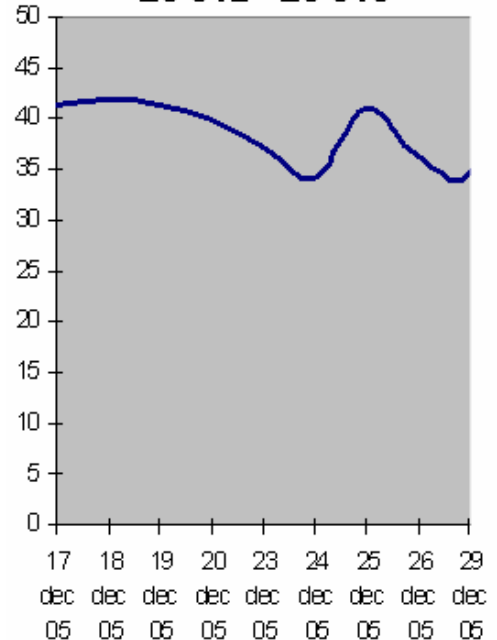
Deux cartographies du voile polaire : à gauche une image de Cristian Fattinanzi (16/10/2005) en phase « haute » et à droite l'image de Ralf Vanderbergh du 23/11/2005 qui enregistre la plus forte poussée australe du voile pour l'apparition 2005, qui atteint ici la latitude de 15-20°N. Sur Terre, cela correspondrait au sud du Sahara.

La limite australe moyenne du voile polaire au niveau d'Acidalium est de 40°N ; partout ailleurs sur la planète (exceptée l'autre zone dépressionnaire qu'est Utopia) il est confiné à une latitude de 60°N environ. *Cartographie WinJupos.*

**SEPTEMBRE 2005 :
Ls 284 - Ls 288**



**DECEMBRE 2005 :
Ls 342 - Ls 348**



Graphiques 3 et 4 : oscillation du voile polaire au-dessus de Mare Acidalium, septembre et décembre 2005

La longitude n'est visible que durant des périodes de temps plus restreintes en raison de la plus courte durée d'observation en-dehors des périodes d'opposition (de plus, moins d'observateurs sont actifs ce qui accroît le risque de « trous » dans la couverture des jours). On observerait néanmoins sur ces deux périodes un plus grand calme dans le voile polaire (ces données restent sujettes à discussion). Elles correspondent à l'entrée et à la sortie de l'hiver au nord, ce qui signifierait que l'activité est plus faible durant les transitions de saison.

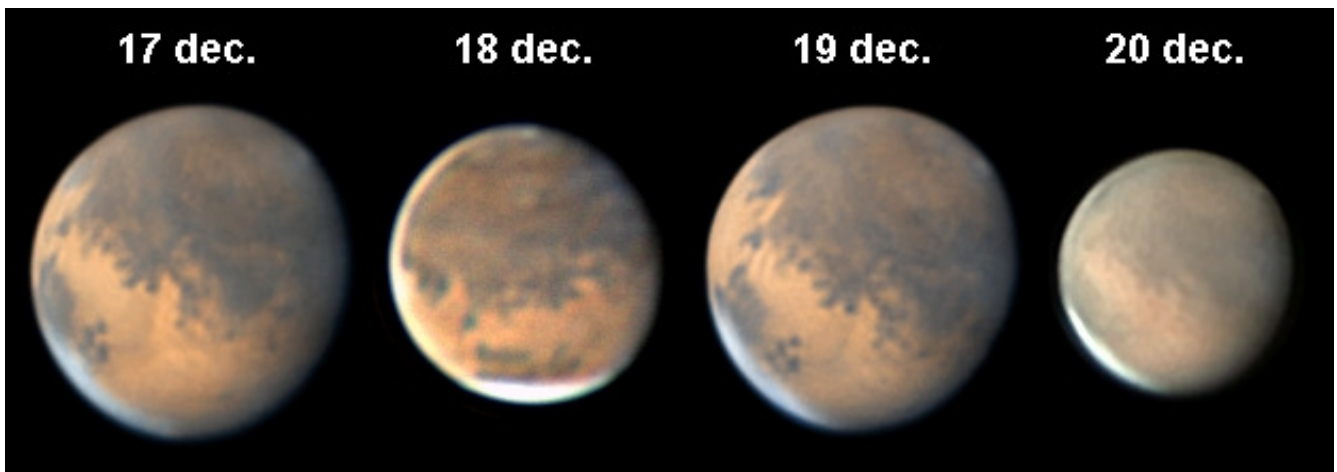


Figure 3 : images du voile polaire durant la période calme de décembre 2005

Les images montrent clairement une « stabilité » apparente du voile qui semble se maintenir jour après jour à la même latitude. Images D.Peach (17, 19 décembre), C.Pellier (18 décembre) et C.Fattinnanzi (20 décembre).

Le « couloir de tempêtes » de Nilokeras : une pente qui favorise la constitution de fronts nuageux

Un bref regard à la façon dont s'organise le relief martien sur cette zone qui nous intéresse est également nécessaire à la compréhension de l'activité. Sur tout le flanc ouest de la plaine d'Acidalia se trouve une pente marquée qui mène dans cette direction vers les boucliers volcaniques de Tharsis. Cette topographie élevée de Tharsis peut créer un cisaillement vertical (onde stationnaire) dans l'atmosphère qui entraîne la création de fronts froids polaires. Quand le front se déplace vers l'est par les vents dominants, l'air froid plus dense passe sous l'air plus chaud et ce soulèvement d'air chaud condense la vapeur d'eau à cause du refroidissement adiabatique. Nous avons ici un mécanisme très classique. Il explique très bien pourquoi la région de Mare Acidalium apparaît en permanence occupée par d'importants nuages blancs : les différents fronts, inlassablement portés par le courant-jet qui souffle dans les saisons « froides » à ces latitudes élevées, provoquent une importante condensation quand ils descendent du plateau de Tharsis vers la plaine d'Acidalia.

La région de Nilokeras peut être facilement identifiée comme étant située immédiatement sur la pente la plus abrupte, juste au bord de Tharsis. On peut être tenté d'en conclure que cette situation joue un rôle dans l'apparition régulière de petits nuages

de poussières à cet endroit, comme on le voit les images de la sonde MGS³ (il est probable que cette activité soit à la limite de résolution des télescopes amateurs). Nous verrons plus bas que c'est là que le premier nuage de poussière des tempêtes semble être apparu. La région de Nilokeras peut ainsi être identifiée comme un véritable « couloir de tempêtes ».

L'activité de 2005 au regard du modèle de tempête « cross-equatorial »

On peut à présent esquisser le champ de pression autour de la région de Mare Acidalium qui gouverne le système local d'activité atmosphérique. On a vu que le modèle des tempêtes cross-equatorial demande la présence d'un anticyclone au-dessus de Mare Acidalium et d'une dépression au nord-est, sur le méridien zéro. En figure III.2.1, on trouvera une proposition de simulation du champ de pression qui explique l'oscillation du voile polaire, inspiré des images MGS et des données de Wang et Ingersoll. Au jour 2, une poussée anticyclonique en direction du nord-ouest d'Acidalia crée les conditions d'une poussée australe des vents dominants, donnant au front polaire sa forme en « V » caractéristique. Ici au jour 3/1bis, l'anticyclone dégonfle et se déplace vers l'est, fermant le passage au front polaire.

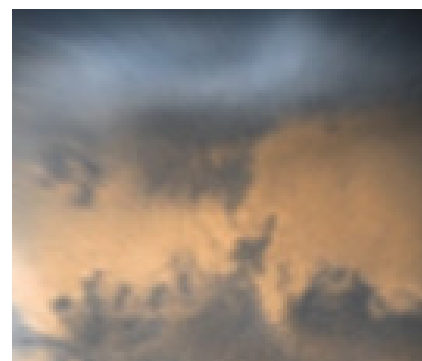
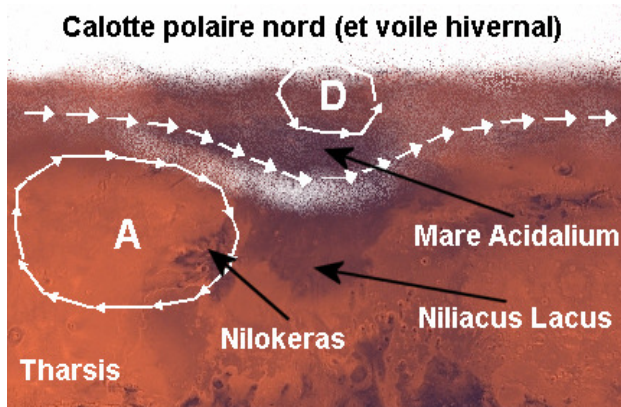


Figure 4 : JOUR 1

Un front arrive au-dessus de Mare Acidalium, porté par le courant-jet (grandes flèches) entre deux systèmes, l'un dépressionnaire au nord, l'autre anticyclonique au sud-ouest. Image D.Peach du 16/10/05



Figure 5 : JOUR 2

L'anticyclone (A) gonfle après le passage du front et la circulation atmosphérique est déviée vers le sud. Le passage du front provoque une levée de poussières dans Nilokeras (en jaune). Image C.Pellier 17/10/05

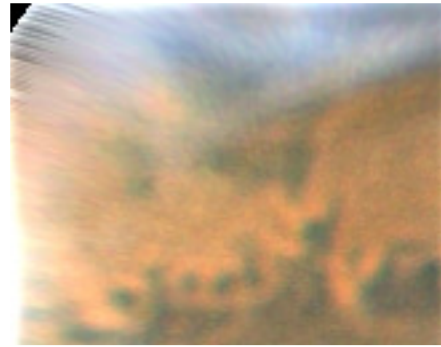


Figure 6 : JOUR 3/1bis

Le front polaire est poussé vers l'est, par un déplacement de l'anticyclone qui vient fermer la circulation méridienne (du nord vers le sud). Le nuage de poussière, qui s'est formé à l'endroit où la circulation était la plus rapide, a cependant eu le temps de descendre vers l'équateur. Image J.Phillips 18/10/05

C'est ici que l'observation diffère du modèle des tempêtes trans-équatoriales. En effet, dans ce modèle, le front polaire lui-même parvient à traverser l'équateur, ce qui n'est pas le cas ici.

Les images de 2005 montrent que le front lui-même, en phase de descente le 17 octobre, n'est jamais parvenu à l'équateur martien. Le 18, il semble repoussé vers le nord, alors qu'un nuage de poussières triangulaire est observé exactement sur l'équateur martien au-dessus de Eos. En fait, c'est un tout petit nuage de poussière créée dans Nilokeras dans les premières heures du 17 octobre, qui lui a réussi à descendre vers le sud, selon un schéma identique à celui observé par MGS en 2000. Comme s'il existait un couloir de vent sur le flanc est de Tharsis, dans les environs de Nilokeras, dans lequel de petits nuages de poussières auraient le temps de se déplacer vers Chryse avant que le portail ouvert au « jour 2 » ne se ferme le troisième jour.

Sur les images amateurs, les clichés pris aux USA quelques heures après les images ouest-européennes font la transition avec le nuage de poussière conséquent observé dans Eos le 18 au matin, toujours aux Etats-Unis. Plusieurs observateurs font la preuve que vers 6H-7H TU le 17, le petit nuage de Nilokeras est parvenu au nord

de Chryse, cinq heures après les dernières observations en Europe⁴.

Comparaison avec les images MGS de 2000

Par chance, les images MGS de 2000 permettent une comparaison très intéressante dans la mesure où elles montrent une activité pour ainsi dire identique à celle de 2005, cinq années plus tôt (deux années martiennes seulement). Durant la première année de cartographie de la sonde, un peu plus tard en saison (Ls 321), on a assisté à une descente de front polaire terminant sa course dans l'hémisphère sud, comme en 2005. **Les figures 7, 8 et 9** placent côte à côte les images de la sonde et celles des amateurs. La similitude des deux événements est remarquable et suggère fortement l'existence d'un schéma d'activité régulier et contraint par les facteurs physiques décrits ci-dessus (emplacement des centres d'activité, topographie martienne, saison).

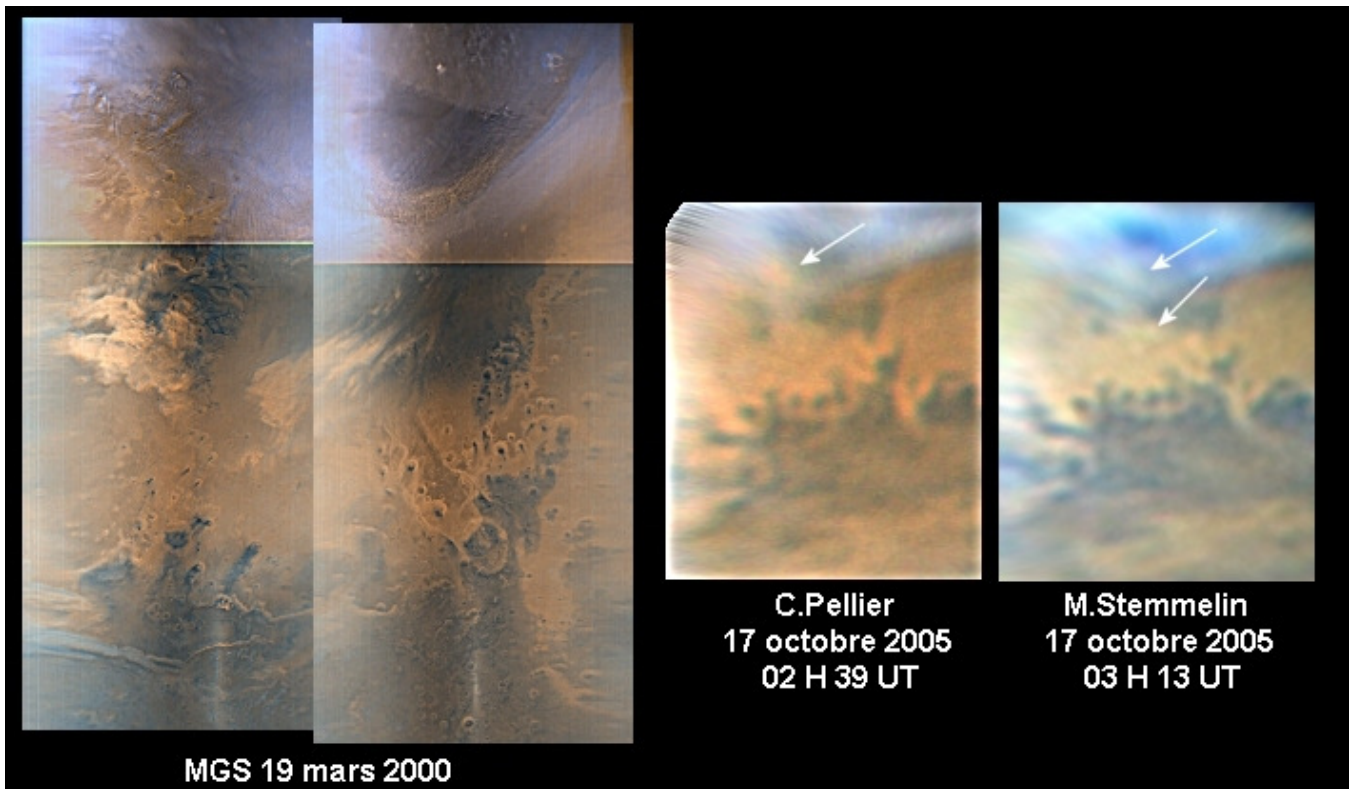


Figure 7 : comparaison MGS/images amateur

L'image MGS du 19 mars 2000 montre plusieurs nuages de poussières accompagnant un front de nuages blancs. Elle se compare directement aux images prises en France dans les toutes premières heures du 17 octobre 2005 (Christophe Pellier et Marc Stemmelin) ; ces dernières présentent un nuage dans Nilokeras à 2H39 UT et peut-être un autre après 3H UT qui arrive déjà dans Chryse. Deux images prises aux USA dans les heures suivantes par Ed Grafton et Bill Flanagan confirment l'existence de ce petit nuage triangulaire (cf note 4).
Crédit MGS : NASA/JPL/Malin Space Science System. Images traitées en fausses couleurs RsGB par l'auteur.

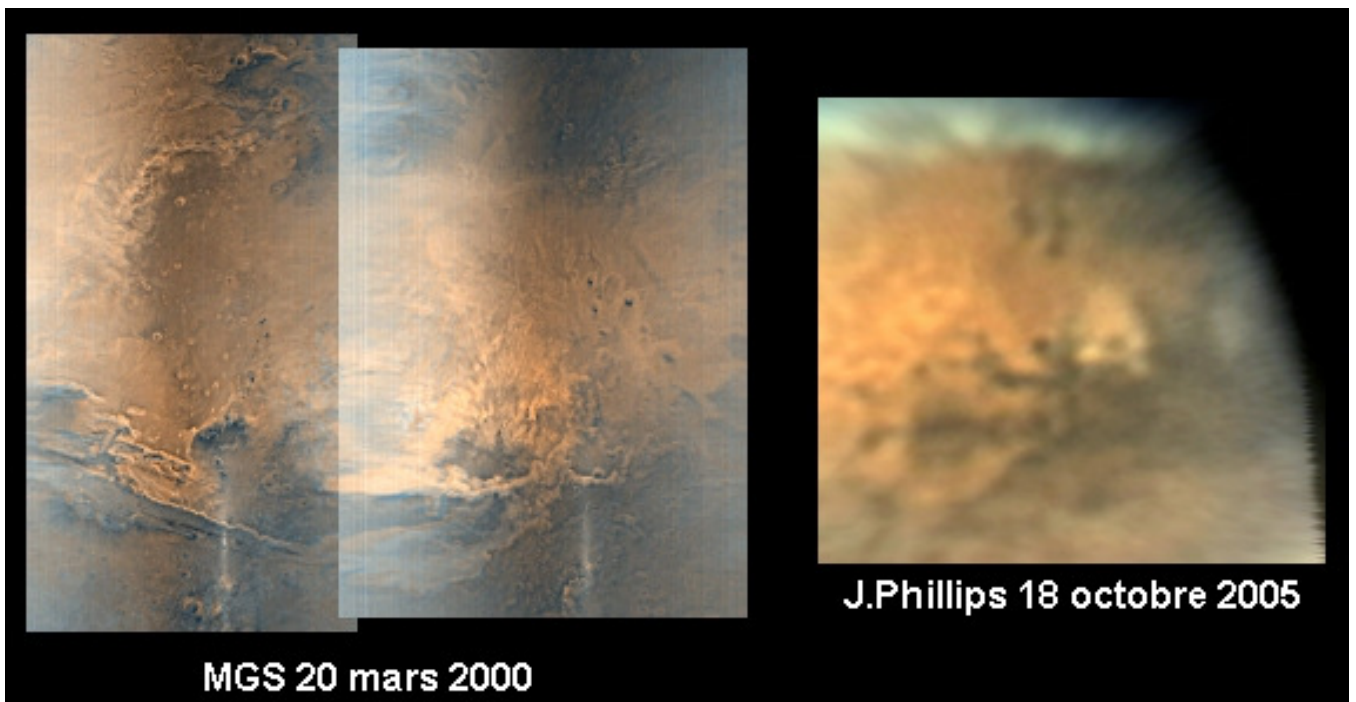


Figure 8 : comparaison MGS/images amateur

Un jour plus tard, le nuage qui continue sa course vers le sud a traversé l'équateur et arrive dans Eos où il commence à se faire piéger dans les nombreux et profonds canyons présents dans la région. La similitude de forme du nuage sur les deux images est frappante.

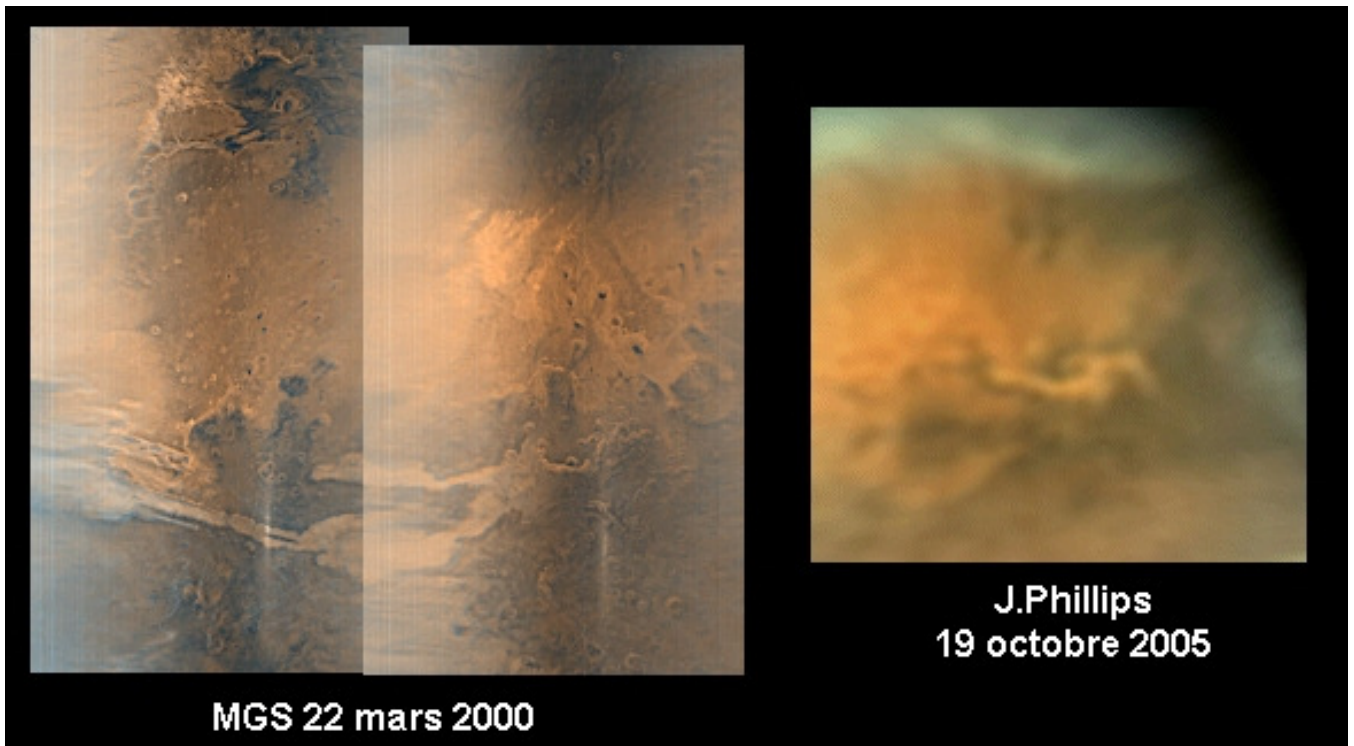


Figure 9 : comparaison MGS/images amateur

Deux jours plus tard en 2005 et trois en 2000 (pas d'images le 21 mars 2000), le nuage remplit cette fois le grand canyon de Valles Marineris, ce qui lui confère là encore une forme identique.

Evolution ultérieure

Dans les jours suivants la ressemblance entre les deux événements finit par se perdre. La différence majeure étant qu'en 2000, le nuage de poussière n'a pas survécu au « piège » de Valles Marineris. Une fois enfoncée dans le dédale, l'activité n'a pas pu se propager.

Par la suite en 2005, la diffusion des tempêtes se fait à nouveau à la fois vers l'ouest et vers l'est, une fois l'équateur traversé, comme en décembre 2003.

A la différence cependant de l'épisode 2003c, Un nouveau foyer, spectaculaire, est observé juste à l'ouest de Sinus Meridiani le 28 octobre. Cette tempête s'est installée pendant plusieurs jours, se décalant lentement vers l'ouest, déposant une grande quantité de poussières sur la partie est de Mare Erythraeum, affaiblissant considérablement son contraste par rapport à la moitié ouest. **Les figures 10 et 11** présentent une partie de cette progression.

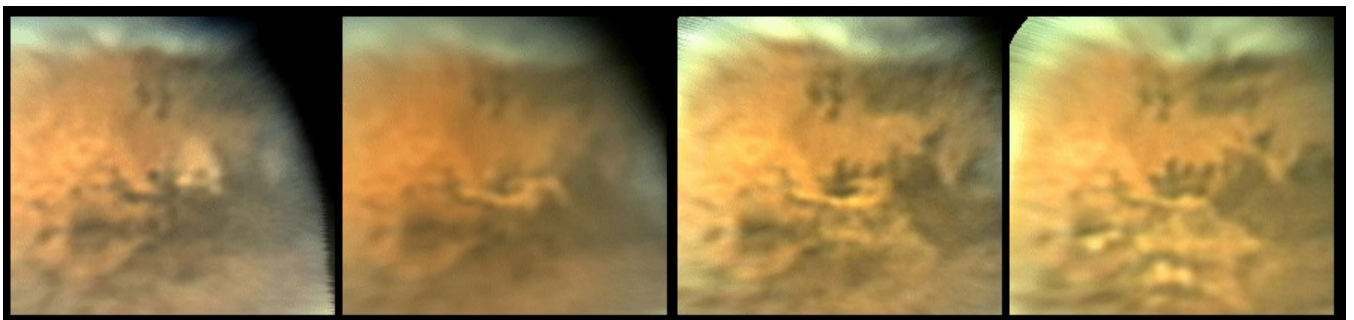


Figure 10 : évolution de la tempête les 18, 19, 20 et 21 octobre 2005. Images Jim Phillips

Après s'être engouffré dans Valles Marineris, la tempête réussit à étendre son activité avec d'importants nuages apparaissant loin dans l'hémisphère sud.

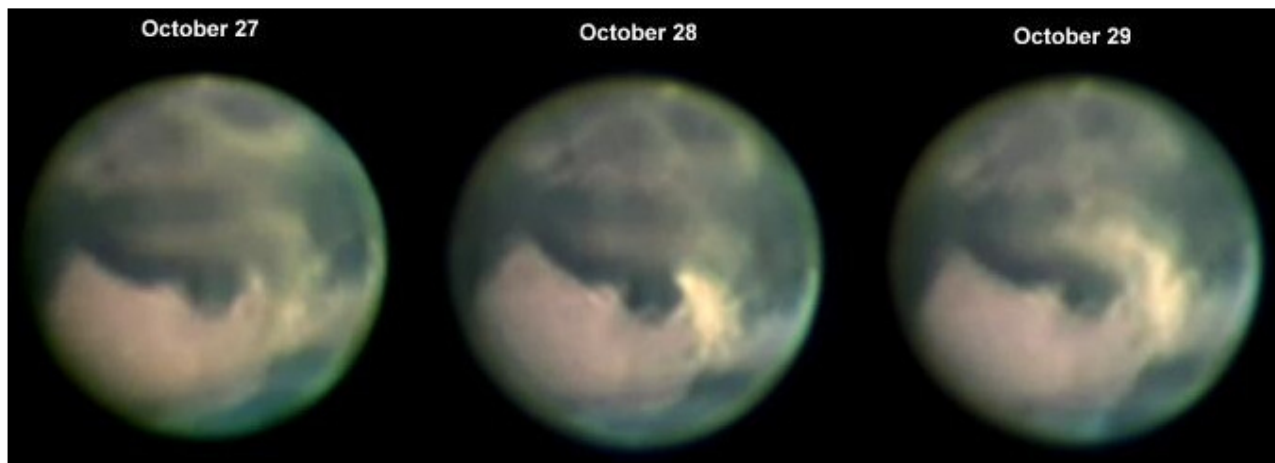


Figure 11 : série d'image de Clay Sherrod à la fin du mois d'octobre montrant un spectaculaire nuage de poussière entre Sinus Meridani et Oxia Palus.

La poussière qui s'étend vers l'est le 27 octobre est vraisemblablement responsable de l'apparition de ce nuage, qui a été également photographié par le Télescope spatial Hubble le 28⁵.

Le voile de poussière jaune

Comme en 2003 et en 2001, les tempêtes ont eu pour effet de lever un voile de poussières dans l'atmosphère de la planète. Ce voile semble avoir été plus important que celui de l'été 2003, ce qui est logique dans la mesure où l'activité a été d'une plus grande ampleur. Selon les données TES, il s'est bien diffusé complètement autour de la planète⁶. Sur les images amateurs, comme d'habitude ce voile est extrêmement difficile à mettre en évidence. On le voit bien dans les régions affectées par l'activité peu de temps après la fin de cette dernière, mais sur les autres régions du globe, il passe le plus souvent inaperçu (**figure 12**). Aux longitudes assez éloignées de celles de Mare Erythraeum, sa présence apparaît sur les bonnes

images comme une dominante jaune-verte sur un grand limbe polaire sud. L'étude des images filtrées montre qu'il semble y avoir eu à cette période une augmentation de la luminosité de la planète dans le vert, ce qui est cohérent avec l'apparition d'une teinte jaune-verte dans les parties de l'atmosphère martienne les plus poussiéreuses. Ce qui renforce ici l'importance de l'acquisition des données avec un véritable filtre vert ; les couches V synthétisées entre R et B ne peuvent pas mettre le phénomène en évidence car cette « brume de poussières » est invisible en lumière rouge (albédo relatif trop faible par rapport à la surface) et bien entendu en lumière bleue (cf partie I, « l'utilisation d'une image verte synthétique »).

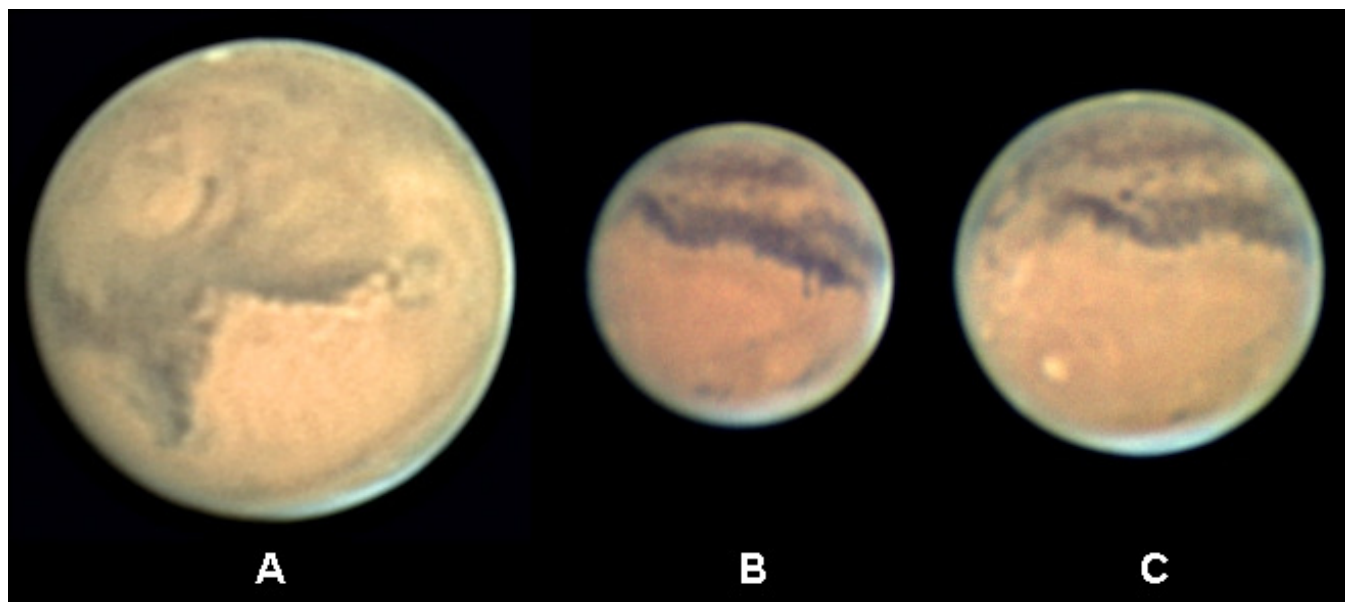


Figure 12 : quelques images montrant l'existence du voile de poussière dans l'atmosphère martienne après les tempêtes d'octobre.

L'image de Jim Phillips (A : 30 octobre) montre un voile épais de poussière sur un grand quart sud-ouest : les détails topographiques n'apparaissent même plus. Sur les images B et C (Christophe Pellier, 29 octobre et 6 novembre), on distingue un liséré jaune-vert sur un grand limbe sud, trahissant de manière très subtile la présence de la poussière en suspension dans l'hémisphère sud de la planète.

Le suivi de ce voile et sa très progressive dissipation est une mission impossible sur les images CCD, car ces dernières sont entravées par la dimension fortement subjective du traitement d'image, ainsi que par le tropisme des observateurs

classiquement tournés vers l'étude des détails de surface. Ainsi, un changement de faible envergure dans les couleurs en cours de traitement (un peu plus de rouge, un peu moins de vert) est susceptible de restaurer la balance des couleurs « normale » ;

même la perte de contraste due au voile jaune peut être au moins partiellement compensée de cette façon.

A ce niveau d'autres méthodes d'observation comme la photométrie ou la spectroscopie auraient plus d'intérêt⁷. Une telle étude est sans doute de plus à la portée d'observateurs visuels aguerris, qui ne peuvent « traiter les images » et sont donc paradoxalement plus « sensibles » que les CCD aux variations d'opacité de l'atmosphère martienne⁸ ! Ici se trouve certainement la solution au dilemme du photographe : pour savoir comment équilibrer une balance des couleurs, une bonne vieille séquence d'observation visuelle sera d'une aide précieuse pour évaluer les couleurs et les contrastes, même si l'objectivité totale est un mythe.

DISCUSSION

Le déclenchement des tempêtes de poussières observées à l'automne 2005 relève bien du type d'activité déclenché par un front boréal au niveau du « portail » de Mare Acidaliu-Chryse, mais la réalité diverge par rapport au modèle⁹ dans la mesure où il s'agit d'un nuage de poussière tout à fait secondaire qui est à l'origine du phénomène, et non le front primaire qui lui n'est pas parvenu à franchir le portail le 17 octobre 2005. Les trois critères rendant possible une tempête trans-équatoriale fournissent la grille de lecture :

Critère 1 (saison martienne) : ce critère est respecté de justesse puisque l'activité prend quelques sols avant la deuxième période théorique, en Ls 308 (théorie : 310-350).

Critère 2 (position du centre dépressionnaire) : ce critère est difficile à évaluer puisque les documents amateurs ne permettent pas de connaître la position de la dépression avec précision ; néanmoins, les mouvements des fronts à cet endroit semblent peu compatibles avec une position respectueuse du modèle (centre des basses pressions plus à l'ouest). De fait, nous avons vu que le front lui-même n'a pas franchi la barrière de Chryse.

Critère 3 (heure locale entre 9 H et 19H) : ce critère est respecté, puisque le nuage de poussières déclencheur est photographié dans les toutes premières heures du 17 octobre en Europe de l'ouest.

Les écarts avec le modèle, en particulier avec le critère n°2, laissent à penser qu'une activité importante peut être créée au sud de l'équateur martien à partir d'un foyer boréal, mais sans qu'un front du voile polaire nord se voit ouvrir un chemin vers l'équateur. De petits nuages de poussières peuvent tout à fait avoir les mêmes effets (ce qui n'est pas une découverte). En poussant le raisonnement, on peut donc se demander si ceci ne pourrait pas entraîner une tempête y compris entre les deux périodes identifiées par le modèle. Toutefois, l'analyse de l'oscillation du voile polaire en septembre 2005, peu après le solstice d'hiver (17 août 2005) pourrait montrer que l'activité frontale au-dessus d'Acidaliu n'est pas suffisante avant Ls 300.

Le givre au sommet d'Olympus Mons

Les images du début novembre 2005 révèlent un phénomène inattendu qu'il faut relier aux

tempêtes de la fin octobre : la caldera du célèbre volcan martien Olympus Mons devient littéralement brillante sur les images ; elle est également relativement facile à détecter en observation visuelle (vue par l'auteur notamment le 6 novembre 2005 avec un 21 cm). Les premières réactions ne tombent pas juste face à cette surbrillance du Mont. En effet, si un changement d'albédo de sombre à clair, en période d'opposition, était attendu après les expériences de l'apparition 2003, le volcan semble décidément trop éclatant pour qu'il s'agisse bien du même phénomène.

Sa couleur apparaît en effet nettement blanche sur les meilleures images ; il n'est donc pas seulement « clair » : il est blanc, ce qui trahit la présence d'un autre corps à son sommet qui donne cette couleur. Le premier réflexe est de penser à la formation de nuages orographiques. Cependant, cette hypothèse se heurte à l'évolution très régulée du climat martien : le nuage orographique d'Olympus Mons ne se forme pas avant la toute fin de l'hiver boréal (vers Ls 350) et début novembre la saison n'atteint pas Ls 320. En fait, l'étude des images en couleur séparées démontre que la caldera est brillante **dans toutes les couleurs** et pas seulement dans le bleu (ce qui serait le cas pour un nuage). Le seul cas où un détail est blanc dans toutes les longueurs d'onde, c'est **quand il est recouvert de givre**¹⁰, à l'image des calottes polaires.

Telle est donc la situation inattendue début novembre 2005. L'auteur n'est pas parvenu à trouver une seule référence antérieure parlant de cette possibilité ; il ne semble pas que de la glace ait été déjà observée sur le sommet d'un des volcans martiens avant cette période. L'explication est à la fois simple et complexe ; simple, car seule une baisse de température inhabituelle a pu aboutir à ce résultat. Complexe, car il s'agit alors d'expliquer cette baisse.

Il semble logique de faire appel aux changements qui surviennent après le déclenchement d'une forte activité de tempête de poussières, car seul ce type d'activité est en mesure de briser le cycle parfaitement prévisible des saisons martiennes et de provoquer des événements inhabituels. Ainsi, des astrophysiciens ont démontré l'existence d'un accroissement du gradient de température régnant en bordure du voile polaire nord au cours des tempêtes encerclantes de 2001¹¹, entre les latitudes 40 et 70°N, avec une intensification de la circulation de Hadley (ce phénomène était visible à l'oculaire comme une bordure sombre juste au sud du voile). Olympus Mons est assez loin de cette zone (latitude 16°N). Mais on est bien obligé de faire appel à un mécanisme similaire pour expliquer une baisse de température dans l'hémisphère nord juste après les tempêtes d'octobre, qui soit suffisante pour créer les conditions d'apparition de la glace de CO₂ en haute altitude.

Le givre disparaît dès la mi-novembre 2005, en cohérence avec l'arrêt des tempêtes et une reprise des schémas climatiques normaux.

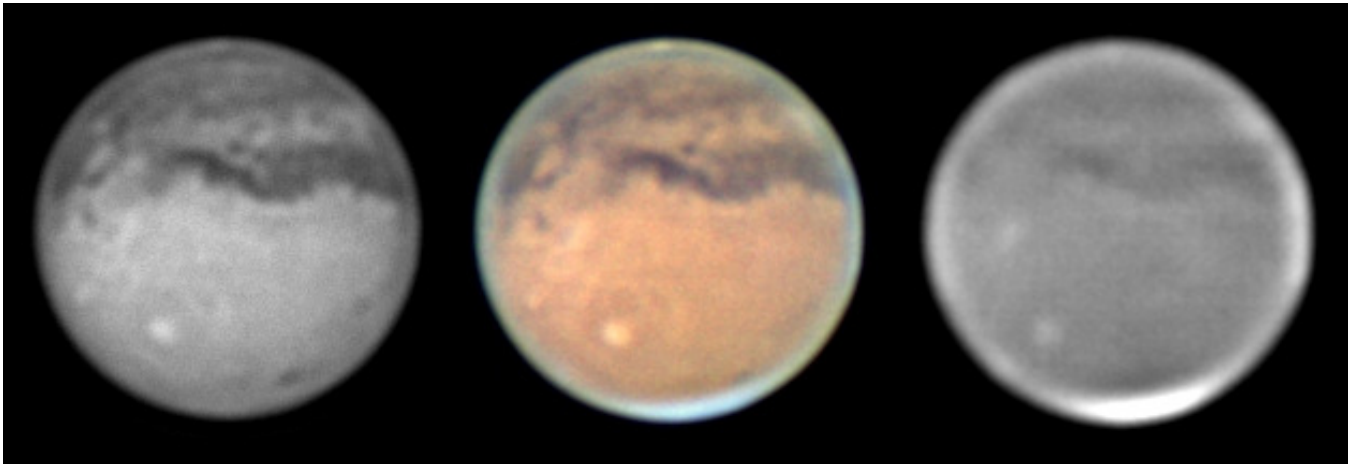


Figure 13 : Olympus Mons couvert de neige carbonique, le 5 novembre 2005

De gauche à droite images IR (700 nm), RVB et Violet (W47) de C.Pellier. Olympus est brillant dans toutes les longueurs d'onde, indiquant ainsi la présence de glace sur son sommet.

III.2 : L'activité des nuages blancs : l'abondance jusqu'aux tempêtes de poussières

Beaucoup de nuages blancs sont visibles sur Mars durant la première partie de l'opposition, en septembre/octobre. Si le voile polaire nord et le nuage d'Arsia sont les plus évidents, les meilleures images prises avec des filtres bleus, violet ou UV en révèlent un grand nombre dans plusieurs régions clés de la planète. L'abondance de ces brumes blanches augmente nettement, jusqu'au déclenchement des tempêtes d'octobre qui provoquent une sérieuse régression.

Des brumes très abondantes

La comparaison avec les données saisonnières relevées par la sonde MGS¹² donne l'impression que cette abondance est très nettement supérieure à celle attendue pour la saison. Ainsi, le plein été austral martien est une saison durant laquelle la vapeur d'eau est peu abondante, sauf au-dessus des régions polaires ; et il est beaucoup trop tôt pour assister à la résurrection des nuages orographiques autour des grands volcans autres qu'Arsia (vers Ls 340) ou bien à celle de la ceinture

équatoriale (après Ls 30). Pourtant, il est peu de régions où les nuages blancs ne sont pas présents.

Bien entendu, il existe un biais observationnel favorable à cette impression dans la mesure où cette saison est observée depuis la Terre dans une période qui précède l'opposition de plusieurs semaines, ce qui signifie que la partie de la journée martienne la mieux observée est le soir, quand le phénomène de condensation de la vapeur d'eau est important ; cependant, l'analyse des images montre que tous ces nuages sont déjà facilement détectables en milieu de sol, sur la partie ouest des images amateurs. On peut prendre l'exemple de deux secteurs :

Secteur de Syrtis Major / Mare Tyrrhenum

On observe ici par exemple de fortes condensations sur le bord est de Syrtis Major et sur le bord nord de Tyrrhenum. Ces nuages sont localisés sur une partie de la grande dénivellation qui descend des terrains anciens de l'hémisphère sud vers les terrains plus récents au nord. Dans cette région et en cette saison, les vents dominants semblent venir du nord ; l'hypothèse selon laquelle ces vents, en s'élevant au-dessus de la pente, provoquent une condensation de la vapeur d'eau par refroidissement, à la manière de ce qui se passe sur les pentes des volcans, peut sembler plausible.

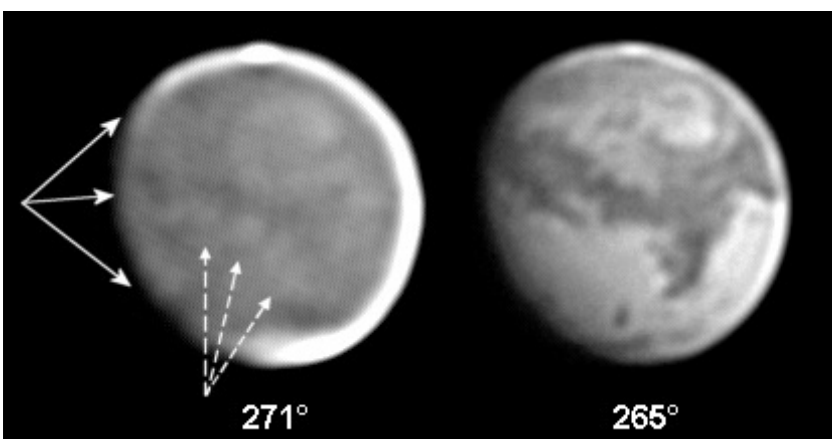


Figure 14 : nuages de vapeur d'eau en abondance dans le secteur Syrtis Major / Mare Tyrrhenum.

Images violettes (à gauche, filtre SP470 et B) et IR (à droite, IR70) par C.Pellier le 21/09/05.

Les flèches pleines pointent les brumes du soir sur une grande partie du terminateur. Les flèches en pointillé indiquent des condensations sur le flanc ouest et nord de la pente reliant les deux hémisphères « topographiques » de Mars (l'ancien élevé au sud et le plus récent, bas, au nord). On note que Syrtis Major est complètement obscurci.

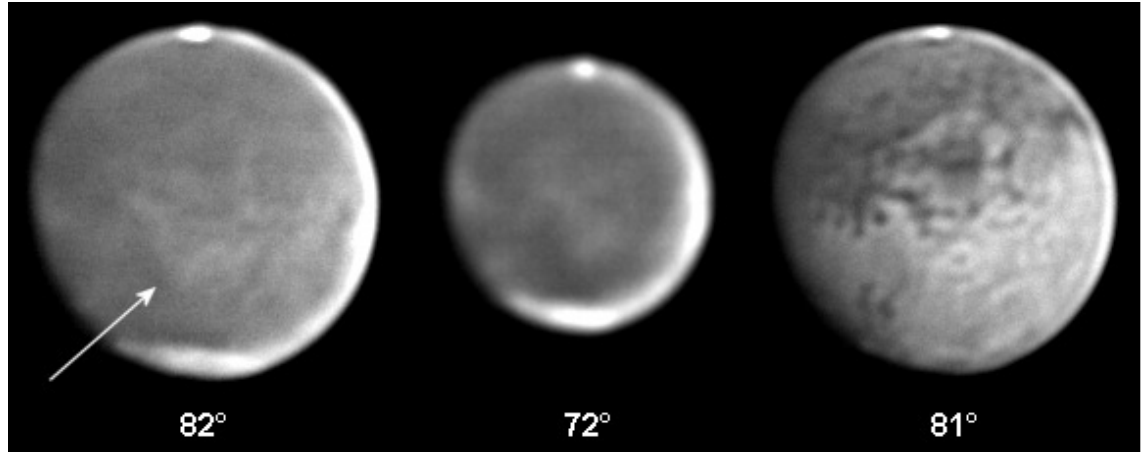
Secteur Solis Lacus / Candor / Valles Marineris

Ce secteur formé de nombreux canyons et failles est particulièrement sujet à l'invasion de nuages blancs. Il dessine une sorte de grand V allongé (sud en haut) au nord de Valles Marineris et

de Solis Lacus. Située juste à côté des régions directement affectées par les tempêtes de poussières, la zone perd ses nuages diurnes à partir de la mi-octobre, avec le déclenchement des tempêtes.

Figure 15 : brumes dans les canyons martiens

De gauche à droite image B, image UV, image R. C.Pellier le 8/10/05. La flèche pointe ces brumes en V qui ressortent mieux en UV.



Le nuage orographique d'Arsia Mons

Le nuage d'Arsia Mons, dans l'hémisphère sud, est le seul phénomène orographique à persister durant le printemps et l'été austral au-dessus des grands volcans, durant les après-midi martiens. En 2005, il offre quelques manifestations très intéressantes, là encore jusqu'au déclenchement des tempêtes de poussières en Ls 305 (cf *supra*). En 2003, ce nuage n'était que difficilement perceptible (sans avoir disparu pour autant), parce que le printemps austral est la saison durant laquelle il est le plus faible, et aussi à cause de la diffusion de poussières dans l'atmosphère après les tempêtes de juillet (qui réchauffe l'atmosphère et gêne la

condensation de la vapeur d'eau). Mais durant les mois d'août à octobre 2005 il devient un des détails les plus remarquables du ciel de Mars.

Durant les mois d'août et septembre, on l'observe dans la fin de l'après-midi martienne jusqu'au soir. Le plus intéressant est la formation, dans ces dernières heures du sol, de nuages sur son côté oriental ; il apparaît alors comme formé de deux parties, en forme de « papillon » comme l'ont montré les images de la sonde MGS¹³ (*figure 16*). Le nuage prend de l'ampleur au cours du mois d'octobre en même temps que se développent les brumes blanches sur la totalité du globe ; il apparaît très brillant et contrasté sur les images.

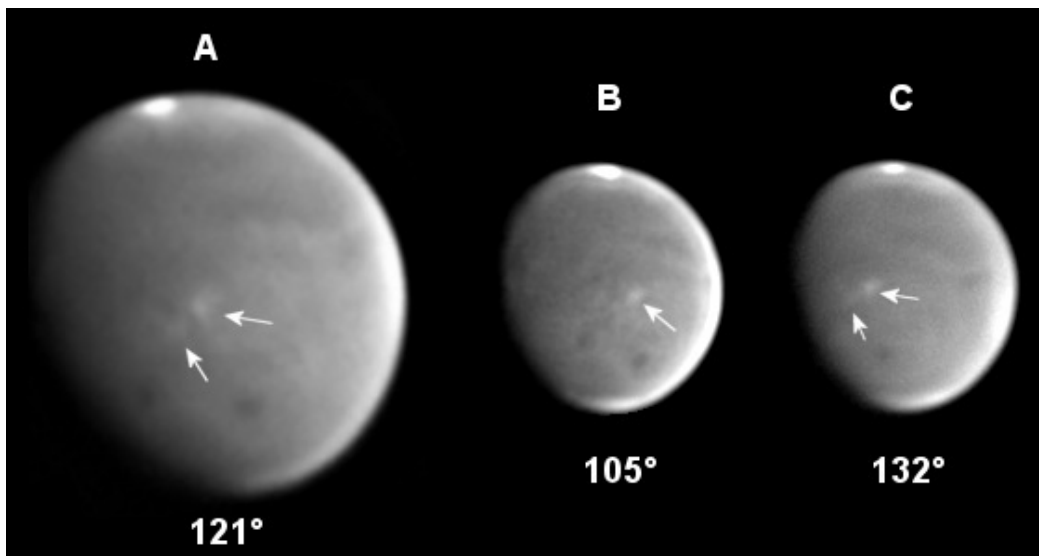
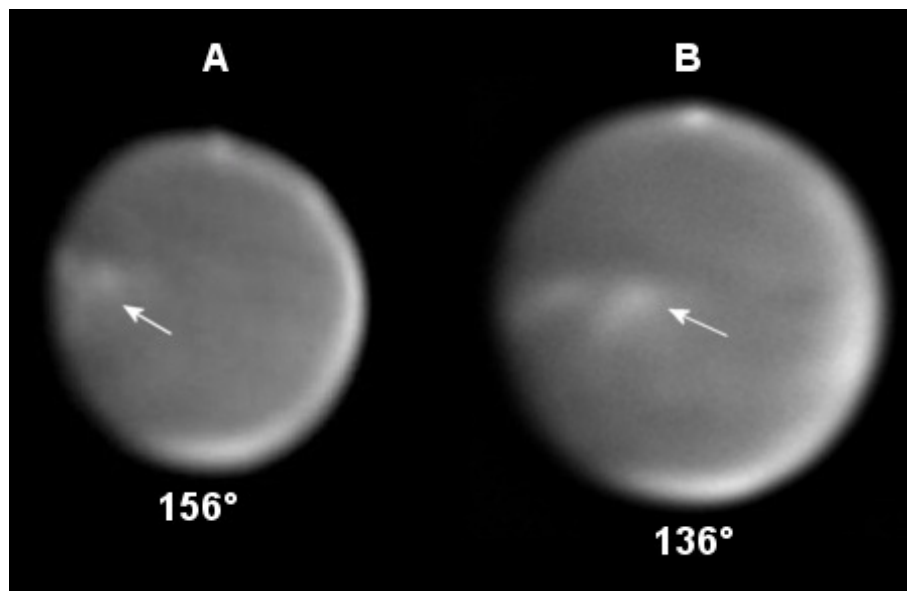


Figure 16 : trois images bleues de Damian Peach (A) le 28 août 2005 et Christophe Pellier (B, C) le 30 août 2005 en Ls 278/279.

Le nuage d'Arsia apparaît en deux morceaux ; sur les images de C.Pellier on remarque que la partie orientale n'est pas encore formée sur l'image B prise deux heures avant l'image C.

Figure 17 : deux images en lumière bleue et violette (W47) de Jean-Jacques Poupeau (A) le 3 octobre 2005 et Pascal Chauvet (B) le 7 octobre 2005. Ces prises de vue démontrent l'ampleur prise par le nuage d'Arsia après Ls 300.



Les tempêtes de poussières de la fin octobre portent un coup d'arrêt au développement du nuage vers Ls 310, même s'il ne disparaît pas. A partir de ce moment et jusqu'à la fin de l'apparition en 2006, l'activité orographique sur les pentes d'Arsia Mons retrouve un étiage bas. Il est assez difficile de dire si cette activité reprend progressivement un cours normal alors que s'approche la fin de l'été austral fin 2005/début

2006, car après l'opposition le « soir martien » devient difficile à observer depuis la Terre pour des questions de perspective. Les données obtenues dans premiers mois de 2006 par l'instrument TES de la sonde MGS¹⁴ démontrent par ailleurs la persistance de fines brumes de poussières autour des volcans de Tharsis durant cette période, ce qui ne plaide pas dans ce sens.

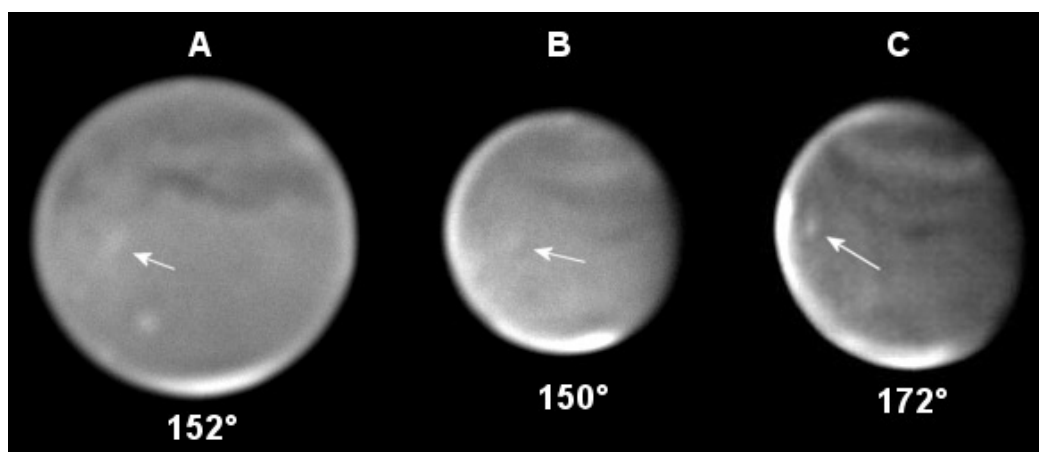


Figure 18 : Persistance difficile pour le nuage d'Arsia après les tempêtes de poussières (comparer avec les images d'octobre).

A et B : images bleues C.Pellier les 6 novembre et 10 décembre 2005 (Ls 319, 338) ; C : image B de Don Parker le 24 janvier 2006 au début de l'automne austral (Ls 1).

III.3 Les nuages d'automne austral et printemps boréal (~Ls 340 – 50)

La formation du voile polaire automnal de la région polaire sud

A partir de décembre 2005, l'hémisphère sud de Mars s'achemine lentement vers le début de son automne (Ls 340 atteint le 13 décembre, Ls 350 le 2 janvier 2006). La perspective favorable (inclinaison australe) fait de l'apparition 2005 un

temps idéal pour l'observation de la formation du voile polaire sud qui s'installe pour l'automne et l'hiver.

La différence la plus remarquable avec le voile polaire nord (très brillant et épais), c'est que le voile austral est très faible, à peine visible sur les images. Cette différence structurelle s'explique par la relative rareté de la vapeur d'eau dans l'hémisphère sud au moment de la formation de son voile ; l'eau étant encore en grande partie condensée dans le voile nord de fin d'hiver.

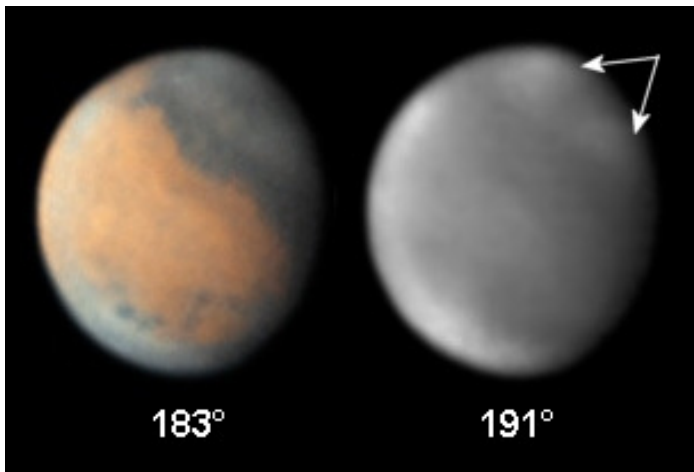


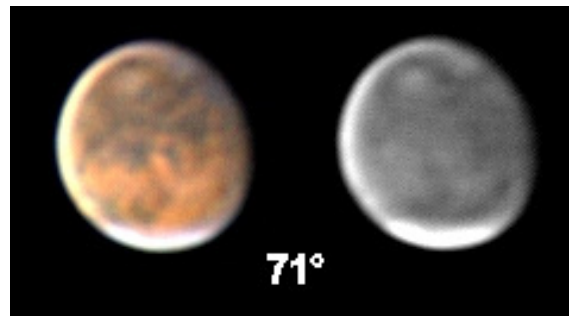
Figure 19 : images du voile polaire sud automnal le 13 février 2006 (Ls 13) par D.Peach.

Image RVB à gauche et B à droite. Sur cette planche, le voile polaire montre à peu près le maximum d'éclat qu'il peut atteindre. Comparer avec toutes les autres images de 2005 où le voile polaire nord est complètement surexposé...

Figure 20 : Images du voile polaire sud juste après l'équinoxe d'automne (Ls 2) le 24 janvier 2006 (C.Pellier, RVB et B).

Le voile semble avoir du mal à se condenser en milieu de journée et n'est vraiment proéminent qu'au matin martien. On note la présence de brouillard dans le bassin d'Argyre (tache ronde claire).

Le voile polaire nord pourtant en cours de dissipation apparaît bien plus brillant, en bas.



La ceinture équatoriale printanière

La fin de l'apparition 2005-2006 permet d'observer les prémices d'un phénomène atmosphérique remarquable du printemps boréal sur Mars : la formation de la fameuse « ceinture équatoriale ».

Tous les printemps dans l'hémisphère nord, la vapeur d'eau migre de la région polaire vers l'équateur après la dissipation du voile hivernal. Cette migration autorise la formation de nuages de vapeur d'eau abondants au-dessus des reliefs

martiens mais également l'apparition d'une bande de nuages située exactement entre la l'équateur et le tropique nord (tropique du Lion, sur Mars !). Cette bande est le résultat de la circulation due à la « cellule de Hadley » : la vapeur d'eau est entraînée au niveau de l'équateur par la branche ascendante de la cellule, atteint une altitude d'environ 30 kms où sont réunies les conditions de condensation : les nuages apparaissent. L'air redescend ensuite au tropique, asséché.

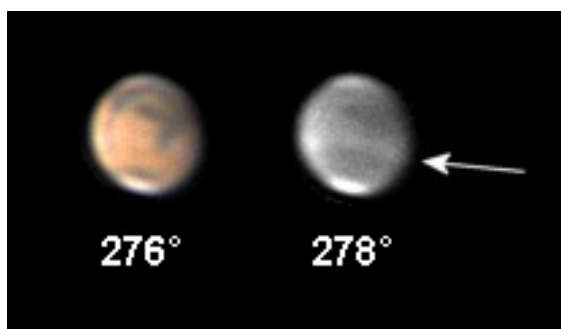


Figure 21 : La ceinture équatoriale de nuages

Images RVB et B de C.Pellier le 26 avril 2006 en Ls 45.

La flèche pointe la ceinture de condensation au sommet de la cellule de Hadley. Cette ceinture persistera jusqu'à la fin de l'été boréal.

Je tiens à remercier vivement Daniel Crussaire (Président de la Commission), Marc Rieugnié (Coordinateur section Jupiter), Marc Delcroix (Coordinateur section Saturne et relecteur impitoyable), Jean-Jacques Poupeau et Florent Kintz, pour avoir apporté leur point de vue sur la lisibilité de ce travail de longue haleine (commencé fin 2005) et fait la chasse aux fautes d'orthographe ;).

Christophe Pellier, 26/11/2007

¹ Cette partie du rapport a fait l'objet d'une publication condensée dans la revue *Communications in Mars observations*, n°325 (What happened in Chryse on 17th october 2005 ?) : <http://homepage3.nifty.com/~cmomn3/CMO325.pdf>

² *Cyclones, Tides, and the Origin of a Cross-Equatorial Dust Storm on Mars*. Geophysical Research Letter, 30, No. 9, doi:2002GL016828, 2003. Disponible également sur le site de Wang : <http://www.gps.caltech.edu/~hqw/thesis/index.html>

³ Cette information est tirée des montages exécutés par Helen Huiqun Wang sur son site web, malheureusement aujourd'hui indisponibles.

⁴ Voir par exemple les images d'Ed Grafton et Bill Flanagan :

<http://www.ghg.net/egrafton/mo-17-05.jpg>

<http://homepage2.nifty.com/~cmons/2005/051017/WF117Oct05.jpg>

⁵ http://hubblesite.org/gallery/album/entire_collection/pr2005034o/

⁶ Pas de référence disponible sur le web, malheureusement.

⁷ Richard Schmude de l'ALPO a par exemple trouvé une magnitude légèrement supérieure à la normale pour Mars en lumière verte fin octobre 2005. Voir : <http://tech.groups.yahoo.com/group/marsobservers/message/7311>

⁸ Lire à ce sujet l'article de M. Minami « Why don't you see how yellowish dirty the 2003 Mars was ? » point de vue dans le CMO n°319 du 25 mai 2006 : <http://homepage3.nifty.com/~cmomn3/CMO319.pdf>

⁹ Une autre différence renvoie à la composition des fronts ; ceux observés en 2000 et 2002 par MGS sont d'immenses fronts de poussières ; alors que les différents fronts visibles en 2005 par exemple, sont surtout composés de nuages blancs, en plus de la poussière.

¹⁰ Explication fournie finalement par François Colas sur la liste Opposition de Mars.

¹¹ Smith, M.D., B. J. Conrath, J. C. Pearl, and P. R. Christensen, Thermal Emission Spectrometer observations of Martian planet encircling dust storm 2001A, *Icarus*, 57, 259-263, 2002

¹² See *Martian clouds observed by MGS Mars Orbiter camera, results for the first mapping year*, H. Wang et A.P. Ingersoll <http://www.gps.caltech.edu/~hqw/thesis/index.html> (chp 1), page 11

¹³ Voir les travaux de Huiqun Wang http://www.gps.caltech.edu/~hqw/paper/clouds/clouds2_all.doc

¹⁴ <http://tes.asu.edu/dust/>