

L'APPARITION DE MARS EN 2003

**Christophe Pellier, Coordinateur de la section « Mars et planètes telluriques »
Commission des observations planétaires**

Abstract

This report is an analysis of the 2003 Mars apparition from worldwide amateur observations. The 2003 apparition takes place one martian year after the 2001 great dust storms. While spectacular technical progress among amateurs has been underway during the whole year, only moderate activity has been seen on the planet itself. As expected the dark albedo markings presented a quite different pattern from what it has been during the 1990's, because of the 2001 dust activity. The South polar cap displayed its usual sublimation process, revealing progressively mythical parts or outliers like the famous Mitchell Mounts. Atmospheric activity was only moderate as two regional storms has been observed in july and December. However, more interesting is the explanation of dust starting conditions by the advance of northern polar dust fronts into the southern hemisphere, finally triggering a bigger activity.

Key words

Mars, planète, tempête de poussière, webcam, calotte polaire

L'apparition 2003 de la planète Mars a été exceptionnelle. D'abord parce que jamais la Terre et Mars ne s'étaient autant approchées l'une de l'autre depuis bien longtemps¹. Mais aussi parce que la qualité des documents obtenus par les amateurs tout au long de l'année 2003 a atteint un niveau sans précédent.

2003 suit immédiatement une apparition elle aussi assez étonnante, celle de 2001, qui avait vu se développer l'activité de tempêtes de poussière la plus remarquable depuis les années 1970. De la fin du mois de juin 2001 jusqu'à l'automne de la même année, une longue série de tempêtes de poussières (dont Solis Lacus et la région de Hellas ont été les principaux théâtres) a entraîné un spectaculaire obscurcissement de l'atmosphère, qui a beaucoup contrarié à l'époque les amateurs qui, en plus de devoir affronter des conditions d'observations assez décourageantes (15° de hauteur seulement vers 47° de latitude nord), ont vu les détails de la planète s'évanouir rapidement durant le mois de juillet. Néanmoins, cette situation ne doit pas faire oublier la question très intrigante que cette activité a soulevée : comment une tempête d'envergure planétaire a-t-elle pu survenir si tôt dans la saison martienne (dans les tous premiers jours du printemps austral), alors que le raisonnement théorique habituel prétend démontrer qu'une telle activité requière des conditions atmosphériques (pression, température) qui ne peuvent exister avant la fin du printemps de l'hémisphère sud, au moment où la planète passe par son périhélie ?

Cette question suggère ainsi une remise en cause de ce que l'on croyait savoir sur les tempêtes martiennes. Et que pourrait-elle indiquer de même au sujet du climat de la planète sur le long terme ? Là réside l'intérêt des tempêtes de poussière qui sont la manifestation la plus spectaculaire du climat martien. C'est sous cet angle qu'il faut envisager l'intérêt de l'apparition 2003. 2003 allait nous permettre d'observer Mars avec un décalage d'une saison martienne par rapport à 2001, nous montrant celles qui ont le plus de chance de voir surgir ce type d'évènement. Dès lors qu'allait-il se passer lors de cette apparition périhélique ? Allait-

¹ Lire CRUSSAIRE D., « Cycle d'apparition de Mars 1986-2003 », L'Astronomie vol. 117, Janvier 2003, pp. 40-42 et BEISH J., « The opposition cycle of Mars » disponible sur le web http://www.tnni.net/~dustymars/opposition_cycle.htm

on assister à une nouvelle tempête anachronique, ou bien l'activité allait-elle se révéler plus « classique » ou même très faible ? Par delà toutes les choses passionnantes qui s'annonçaient, telle était sans doute la principale interrogation.

Les documents reçus par la Commission pour la rédaction de ce rapport proviennent d'un peu partout dans le monde, avec toutefois un déficit marqué du côté de la longitude des Amériques. 27 observateurs sont répertoriés (voir liste des participants en annexe), dont un peu plus de la moitié en France.

Les caractéristiques de l'apparition 2003

Si la plupart des observateurs se sont lancés vers la fin du printemps 2003, le premier document reçu est un dessin de Nicolas Biver en date du 15 janvier 2003 (Ls 123 ; 4,9"), sept mois avant l'opposition. Les dernières images sont prises par Christophe Guillou le 16 mai 2004 (Ls 34 ; 4,1"), neuf mois après l'opposition. Exactement les trois quarts d'une année martienne ont donc été observés (75 %) même si évidemment les saisons ont été inégalement suivies. Les toutes premières observations sont faites au cours de l'hiver austral martien (Biver, Pellier, Fattinanzi, Hernandez, Ng). Le printemps austral (en cours du 5 mai 2003 au 29 septembre 2003) est la saison la plus observée logiquement (c'est la saison de l'opposition), suivie par l'été austral (qui court du 29 septembre 2003 au 5 mars 2004). Seul un tout petit nombre d'observateurs a continué à observer lors de l'automne austral qui a commencé cette fois le 5 mars 2004 (Guillou, Akutsu). La planète fait sa conjonction avec le Soleil le 15 septembre 2004.

Le tableau 1 présente un bref récapitulatif des caractéristiques techniques de l'apparition 2003. Pour plus de détails le lecteur pourra lire l'article de Daniel Crussaire déjà cité.

Ephémérides de Mars en 2003

	Date	Longitude solaire (Ls)	Diamètre en secondes d'arc	Déclinaison terrestre
Conjonction	10 août 2002	Ls 53	3,5	+20°
Quadrature ouest	18 avril 2003	Ls 170	8,6	-14°
Opposition	28 août 2003	Ls 250	25,1	-18,8°
Quadrature est	30 décembre 2003	Ls 325	8,6	-25,7°
Conjonction	15 septembre 2004	Ls 88	3,5	+25,8

La Terre faisait face à l'hémisphère sud de Mars durant toute l'apparition ou presque. Nous avons traversé le plan de l'équateur martien du nord vers le sud le 21 février 2003 (Ls 141) alors que la planète ne faisait même pas 6 secondes d'arc, après quoi la déclinaison terrestre a rapidement diminuée pour atteindre un premier maximum de -20,7° fin juin – début juillet 2003. Cette déclinaison a ensuite légèrement augmentée pour revenir à -18,4° fin août – début septembre. Par la suite, l'inclinaison du pôle sud de Mars a recommencé à augmenter et à la mi-décembre 2003, elle a atteint le maximum absolu de -25,7°. La Terre a retraversé le plan de l'équateur de Mars cette fois du sud vers le nord le 30 avril 2004 (Ls 27).

Ceci ajoutait grandement au charme de l'apparition à venir, car la dernière opposition au cours de laquelle l'hémisphère sud de Mars avait été bien situé pour l'observation depuis la Terre remontait à 1990, treize années auparavant (en 2001, la Terre était resté presque

toujours en face de l'équateur de la planète (à quelques degrés près), et ne s'en était franchement éloignée vers le sud qu'à l'automne alors que Mars était déjà loin. C'est toute une partie de la planète qui redevenait enfin observable, avec certains détails « mythiques » telles les Montagnes de Mitchell dans la Calotte australe (*cf. infra*), qui n'ont semble-t-il jamais été repérées lors de l'apparition 2001.

La campagne d'observation de la planète a été riche et fructueuse ; pour comprendre pourquoi, un petit détour par un bilan technique des méthodes d'observation est nécessaire.

I Bilan technique des observations

Il est nécessaire et très intéressant de revenir en détail sur les différentes techniques d'observations mises en œuvre lors de cette apparition 2003. La qualité des documents reçus par rapport à ceux de l'apparition 2001 est frappante ; elle ne s'explique pas uniquement par l'amélioration des conditions d'observation, mais aussi (et surtout) par l'arrivée à maturité de l'utilisation des webcams, qui ont commencé à égaler ou dépasser les caméras CCD classiques au cours de la saison 2002-2003. Mars s'est cependant avéré être un objet un peu plus délicat à observer que des planètes comme Jupiter et Saturne (qui avaient été abondamment « filmées » dans les mois précédents avec des résultats impressionnants), possédant ses propres particularités.

I Les différentes techniques d'observation

Très peu d'observateurs continuent à utiliser le dessin comme technique préférée (on en compte seulement cinq : Oumamar, Biver, Burgeot, Archambaud, Hernandez), mais ce sont des observateurs visuels expérimentés, et les documents produits sont de grande qualité. Les images numériques, très nombreuses, sont largement dominées par les webcams (Vesta Pro et ToUcam Pro de Philips), qui ont permis d'obtenir des images remarquables de la planète. Seule une poignée de participants continuent d'utiliser des caméras CCD refroidies.

Pour plus de renseignement concernant les méthodes d'acquisition à la webcam, on pourra se reporter à de nombreux sites web ou bien à l'article complet de Jean-Christophe Dalouzy paru dans « Au plus près de la planète Mars »².

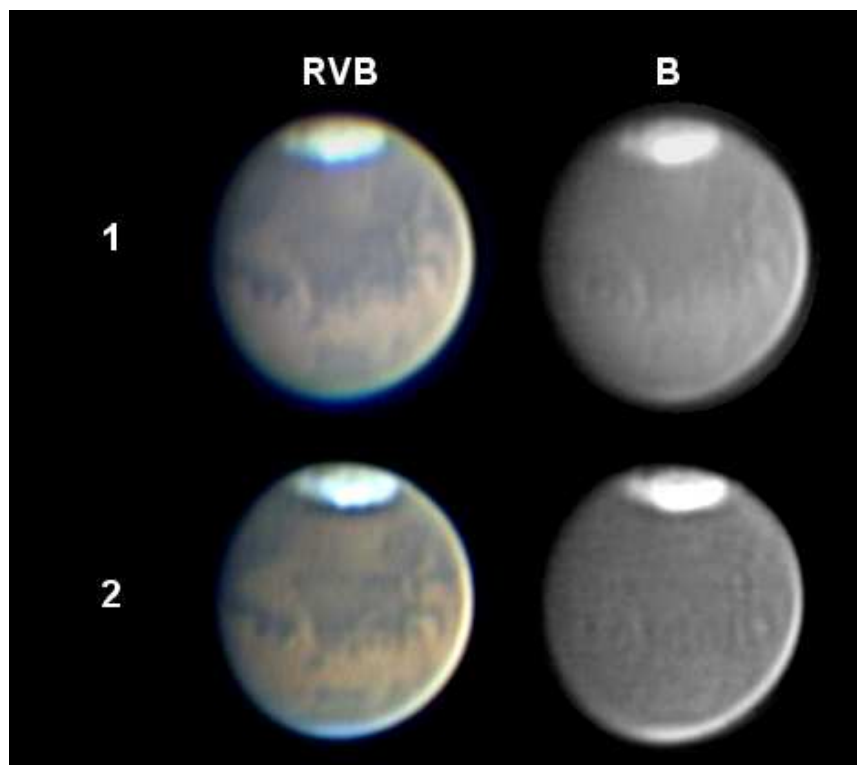
II Quelques problèmes techniques particuliers : infrarouge et dispersion chromatique

Même si elle a été très bonne, la qualité des images webcam s'est heurtée à deux problèmes bien particuliers.

² «L'imagerie webcam de Mars», Dalouzy J-C.; dans *Au plus près de la planète Mars*, ouvrage collectif sous la direction de Philippe Morel, pages 113 à 136.

A : L'éclat de la planète dans l'infrarouge

Il a toujours été recommandé en imagerie numérique d'utiliser un filtre bloquant anti-infrarouge (IRcut, anti-IR...) ; en effet les CCD sont très sensibles au proche infrarouge, ce qui peut avoir pour effet notamment de déséquilibrer la balance des couleurs au profit du rouge, donnant ainsi des images peu fidèles à ce que peut voir l'œil. Toutefois, les webcams sont utilisées avec succès sans ce filtre sur des planètes comme Jupiter et Saturne. Un des problèmes propres à la planète Mars de ce point de vue est que contrairement aux deux premières, elle possède un albédo très important dans les longueurs d'onde élevées (rouge – infrarouge) et faible dans les courtes longueurs d'onde (bleu – ultraviolet). Au final, il s'est avéré que l'usage d'un IRcut était indispensable pour obtenir des couleurs « naturelles », ainsi que pour résoudre le problème de la dispersion chromatique (cf. *infra*), ce qui a obligé un grand nombre d'amateurs à envisager un tel achat rapidement.



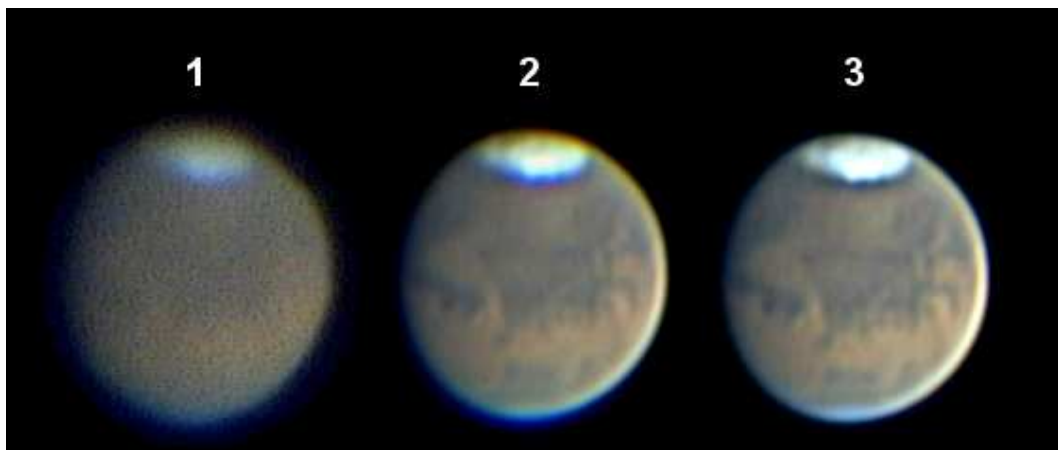
Mars sans (1) et avec (2) filtre anti-IR. L'image sans filtre IR-cut est plus rose (balance des couleurs décalée vers le rouge) et le chromatisme n'a pas pu être rattrapé (voir plus bas). La couche bleue montre clairement les détails de la surface par fuite dans l'IR. L'utilisation d'un anti-IR permet de retrouver une bonne balance des couleurs et de corriger le chromatisme. Images C. Pellier le 18 juillet 2003

Il est à noter que certains observateurs ont délibérément utilisé leur webcam sans ce filtre, dans la mesure où la présence de l'infrarouge accroît le contraste des détails de la surface de Mars, mais ceci se fait aux dépens de la qualité de l'image selon d'autres points de vue.

B : La dispersion chromatique due à la faible hauteur de la planète

Durant la majeure partie de l'apparition 2003 Mars est restée encore assez basse pour presque tout le monde. A une si faible hauteur la dispersion chromatique due à l'atmosphère est forte ; l'atmosphère agit comme un prisme qui fait que les couleurs ne se focalisent pas toutes sur le même plan. Ce problème a considérablement handicapé les webcams, au moins durant les premières semaines d'observation ; ces dernières enregistrant les trois plans couleurs (rouge, vert, bleu) au même moment sur la même image, il y avait donc un *décalage des trois composantes* les unes par rapport aux autres, un décentrage en direction du sud étant d'autant plus important que la longueur d'onde est courte. La composante bleue est la plus affectée, souffrant d'un décalage de quelques secondes d'arc au pire par rapport à la composante rouge, ce qui est considérable.

Ce problème a été parfois mal identifié par les amateurs qui lui ont alors appliqué des solutions inadéquates au cours du traitement d'image. En fait, les trois composantes doivent être simplement recentrées les unes par rapport aux autres (par exemple en décalant la composante bleue vers le nord de façon à ce que les détails se superposent bien). Cette opération, très simple à effectuer dans les logiciels habituels, est malheureusement impossible à réaliser si la prise de vue a été réalisée sans filtre anti-IR. Dans ce cas en effet, la présence de l'infrarouge se surajoute à chacune des trois composantes RVB, avec un emplacement sur l'image webcam identique à celle de la composante rouge. Ce qui signifie que le « décalage des couleurs » se crée dans ce cas à *l'intérieur même* de chacune d'entre elle, et non plus seulement *entre* elles. Ainsi, on n'a plus trois composantes R, V, B, mais trois « bi-composantes » R+IR, V+IR, B+IR. Dans ce cas de figure, l'opération de recentrage des couches RVB est vouée à l'échec car elle aboutit à un *décentrage des trois couches IR*.



Les différentes étapes de la construction d'une image de Mars avec webcam couleur (ToUcam Pro). 1 : image brute ; 2 : compositage et traitement par ondelettes. Pour ces deux étapes, le chromatisme provoqué par l'atmosphère est bien visible. 3 : Les trois composantes couleurs de l'image sont recentrées dans IRIS pour faire disparaître l'aberration. On remarquera que cela permet aussi d'augmenter la netteté des détails et de diminuer le bruit ! Images C. Pellier le 18 juillet 2003

Une autre solution, très efficace mais plus difficile d'accès sans doute (et qui n'exclut pas la première) consiste à utiliser un prisme en verre de façon à compenser l'effet de prisme de l'atmosphère. Cette technique est très en vogue depuis des années au Japon et a été

notamment systématisée par le Japonais Teruaki Kumamori (non participant à ce rapport)³. Elle permet aussi d'accroître la qualité de la composante bleue qui souffre de cette dispersion.

III Quelques innovations techniques

Quelques techniques d'acquisition d'image originales (surtout pour les webcams), et influencées par les caractéristiques propres de Mars, ont été mises en œuvre.

A : Comment obtenir de bonnes images bleues de Mars ?

Les observateurs de Mars soulignent souvent l'intérêt qu'il y a à obtenir des images à travers un filtre bleu, afin d'étudier l'atmosphère de la planète. Tout au long de l'apparition 2003, une réflexion s'est déroulée sur ce sujet parmi les amateurs les plus impliqués. Le problème habituel des images bleues de Mars est qu'elles continuent à montrer assez souvent les taches d'albédo de la surface, ce qui gêne l'analyse. Ce problème en 2003 s'est couplé à ceux créés par les caractéristiques techniques de la ToUcam Pro (webcam).

L'utilisation d'un filtre magenta en webcam

Cette idée a été développée très tôt par Damian Peach (GB) et Wei Leong Tan (Singapour). Ces deux observateurs partent du constat que la composante bleue de la ToUcam a une transmission assez large, incluant une bonne partie de longueurs d'onde vertes, ce qui favorise l'apparition des détails de surface (phénomène de « *green ghost* », selon une expression de Masatsugu Minami⁴). Leur idée était de placer un filtre magenta devant la webcam, ce qui a pour effet de supprimer la composante verte (un filtre magenta a une double transmission, rouge et bleue). L'image couleur était reconstituée à l'aide d'une image verte artificielle, moyenne du R et du B. Mais, outre que cette technique ne permet pas vraiment d'améliorer la composante bleue de la ToUcam, elle produit une image R(V)B (avec une couche verte synthétique entre R et B) dont les couleurs ne correspondent pas toujours avec le vrai RVB.

L'utilisation d'un filtre bleu interférentiel en position inclinée

Sur une idée du Japonais Kunihiko Okano (non participant à ce rapport). En position inclinée, un filtre bleu interférentiel doit mieux bloquer la couleur verte. Essayée par C. Pellier le 12 juillet 2003, elle a été très vite abandonnée, devant des résultats pas forcément probants.

Le couplage du filtre bleu avec un filtre magenta à transmission violette

K. Okano récidive fin juillet 2003 avec une innovation très intéressante. Son idée est cette fois d'utiliser le filtre magenta Fuji SP-4 (film plastique), dont la transmission est excellente dans l'ultraviolet (pic théorique à 380 nm) mais diminue drastiquement après 450 nm, assurant un blocage efficace de la couleur verte. Reste à éliminer la forte transmission rouge et infrarouge du filtre ; ce sera le rôle d'un filtre bleu de type II (bloquant anti-IR). L'ensemble donne un vrai filtre violet, transmettant dans les très courtes longueurs d'onde, tout en assurant toujours une très bonne transmission lumineuse. Méthode utilisée avec succès par Okano et Pellier avec des résultats très satisfaisants ; ce filtre est malheureusement très difficile à trouver en France.

³ Kumamori T., *Recommandation of the use of the wedge prisms*, CMO n°269, 25 février 2003. Disponible sur le web : <http://homepage3.nifty.com/~cmohk/coming2003/08.html>

⁴ Directeur de la section Mars de l'Oriental astronomical association (OAA, Japon).

Utilisation de filtres violets ou UV

D'autres filtres sont très efficaces mais leur utilisation devient difficile en raison du manque de lumière. Le filtre W47 tout d'abord, qui demande à être accompagné d'un IRcut. Et le filtre ultraviolet (UV) utilisé une fois par Antoñio Cidado fin août 2003 (et par l'auteur en janvier 2004). Ce dernier filtre dans l'idéal serait la solution parfaite au problème, dans la mesure où la surface de Mars n'émet quasiment plus de lumière dans le proche UV, et est donc complètement « sombre ». La très faible quantité de lumière dont on dispose encore dans cette longueur d'onde, associée à la sensibilité très diminuée des CCD ici, demande une mise en œuvre particulièrement délicate. On notera tout de même que le capteur noir et blanc ICX-098BL de Sony, qui est placé sur les webcams modifiées chez les amateurs, est un outil efficace pour le proche UV, à condition, pour un objet comme Mars, de pouvoir faire des images en mode longue-pose.

B : La mise à profit du potentiel des webcams à capteur NB

L'auteur aimerait faire part ici de son expérience d'acquisition de données durant l'apparition 2003 à l'aide d'une webcam à capteur NB (ToUcam Pro modifiée) et des filtres de couleur. Cette méthode a été utilisée également par Paolo Lazzarotti et Jean-Jacques Poupeau selon des modalités un peu différentes (caméra video KC381 Astromeccanica pour le premier, ToUcam Pro classique pour le deuxième). A l'aide d'un jeu de filtres RVB de type II (bloquant l'infrarouge), trois AVIs étaient pris, à l'aide desquels une image RVB était reconstituée. Cette méthode, qui n'est ni plus ni moins que l'application d'une technique très classique d'obtention d'images couleurs avec les CCD habituelles à la webcam, a permis d'obtenir des résultats supérieurs le plus souvent aux images ToUcam Pro, dans la mesure où la qualité des trois images était plus élevée que celles de la webcam à capteur couleur. L'auteur ne saurait que trop recommander cette méthode de prise de vue qui reste cependant assez onéreuse. Des résultats encore meilleurs sont attendus pour l'apparition 2005 dans la mesure où en 2003 les webcams à capteur NB n'étaient pas encore modifiées en « mode RAW »⁵.

IV Utilisation des filtres sur Mars (webcam et observations visuelles)

Pour les observations de planètes, les filtres de couleur sont souvent un outil utile ; parfois d'un avantage négligeable, ils peuvent également être absolument indispensables. Mars est une planète de choix pour l'utilisation de filtres, mais peut-être plus pour l'imagerie que pour le visuel.

A : Les filtres pour l'observation visuelle

L'utilisation de filtres en observation visuelle des planètes est souvent conseillée mais tous les observateurs ne trouvent pas ce type d'outil vraiment avantageux. C'est le cas de Frédéric Burgeot qui n'a jamais trouvé d'avantage à utiliser, par exemple, un filtre rouge. Nicolas Biver et Yohan Archambaud préfèrent également observer sans filtre. Romuald

⁵ Le « mode RAW » est une modification de la webcam élaborée par Martin Burry et Etienne Bonduelle principalement, qui permet d'améliorer considérablement le rapport signal/bruit des images brutes. Lire par exemple « capteur noir et blanc et mode RAW sur webcam », article d'Etienne Bonduelle paru dans l'Astronomie de novembre-décembre 2004 pp. 654 à 657 et son site web <http://astrosurf.com/astrobond>

Oumamar lui au contraire apprécie l'effet de contraste qui peut être apporté : « *Lors de l'opposition de Mars 2003, j'ai surtout utilisé le W 12, le W 25 (jaune et rouge). J'ai trouvé que le W 12 était efficace sur les terrains peu contrastés autour des mers. Le W 25 quant à lui offrait un contraste important entre les mers et les autres terrains et fixait la turbulence. Deux personnes ne faisant pas d'astro et qui observaient avec moi un soir ont affirmé "mieux voir les teintes sombres" avec le W 25. Il y a donc un effet observable. Je pense que l'on ne voit pas plus de détails mais on voit mieux. J'ai utilisé le filtre vert W58 au mois d'Octobre 2003 et il a été possible de voir plus facilement ce qui restait de calotte polaire. Mais je n'ai pas d'autres succès avec ce filtre. Je ne l'ai pas beaucoup utilisé* »⁶.

L'expérience de l'auteur de ce rapport rejoint plutôt celle de R. Oumamar ; d'une manière générale, les filtres sont surtout utiles pour augmenter le contraste de détails déjà visibles sans. Les détails visibles uniquement avec filtre sont très rares, mais cela arrive. A noter également qu'un filtre rouge permet effectivement d'améliorer nettement l'état de la turbulence atmosphérique. Mais, dans la plupart des situations, observer sans filtre reste la méthode la plus agréable pour l'œil ; peut-être est-ce aussi un effet de la meilleure luminosité de l'image.

B : Les filtres en imagerie numérique

On a déjà évoqué la technique qui consiste à placer des filtres devant la webcam pour obtenir des images couleurs. Il s'agit ici surtout de préciser ce que l'on voit sur Mars suivant la longueur d'onde...

Filtres bleus et violets

Les filtres de courtes longueurs d'onde sont surtout utiles pour observer la haute atmosphère de Mars. Les nuages blancs sont en effet brillants dans le bleu alors que la lumière provenant de la surface est logiquement absorbée.

Filtre vert

Le filtre est rarement cité comme mettant en évidence des détails intéressants, et pour cause puisque c'est celui qui correspond le plus à la vision de l'œil. On dit souvent qu'ils sont utiles pour observer les calottes polaires ; s'il est vrai que le contraste entre la calotte et la surface est élevé dans le vert, on utilisera plutôt un filtre rouge (voir ci-après). L'expérience de l'auteur lors de l'apparition 2003 amène une hypothèse intéressante : le filtre vert est celui qui montre la basse atmosphère de Mars. En particulier, les nuages de poussières semblent atteindre leur extension maximale dans le vert (avec toutefois un contraste plus faible que dans le rouge), dans la mesure où la couleur verte ne pénètre pas du tout ce type de phénomène atmosphérique⁷.

Filtre rouge

En même temps qu'une meilleure stabilité de l'image, le filtre rouge élimine les phénomènes atmosphériques autres que les tempêtes de poussières, et augmente singulièrement le contraste des taches d'albédo sombre par rapport aux déserts orange. L'albédo des tempêtes de poussière augmente, toutefois les parties de l'atmosphère « poussiéreuses » mais sans tempête constituée sont également « traversées » par le filtre. Relativement par rapport au reste du disque, l'albédo des calottes est plus faible, et les détails de ces dernières sont donc mieux visibles dans cette couleur.

Filtre infrarouge

⁶ Correspondance par e-mail, 16 décembre 2004.

⁷ Lire par exemple *2003 Mars report from cooperative observation networks*, Nakakushi et al., *Astronomy & Astrophysics* (numéro ?) p. 17.

Dans le proche IR, le contraste des taches d'albédo est maximal (les déserts apparaissent presque blancs). L'albédo des calottes diminue cette fois de façon objective, et elles apparaissent en conséquence très ternes sur les images. Les nuages de poussières atteignent leur réflectivité maximale, mais comme le filtre rouge, le filtre IR élimine les poussières des couches atmosphériques situées en-dehors des tempêtes, permettant de mieux voir la surface.

V Le traitement des images : une méthode inadaptée

Enfin, il faut dire un mot d'un type particulier de traitement d'image qui a été utilisé en 2003 par un grand nombre d'amateurs, spécialement les utilisateurs de webcams, et qui consiste en une déclinaison particulière de la méthode LRVB (ou quadrichromie). Nombre d'images ont été réalisées à l'aide d'une image de luminance réalisée uniquement dans les longueurs d'onde élevées (rouge et infrarouge). Cette méthode n'a clairement pas l'agrément de l'auteur car elle aboutit à supprimer l'information atmosphérique apportée principalement dans les courtes longueurs d'onde (bleu et vert). Pour plus de détails, lire l'article de F. Burgeot et C. Pellier paru dans l'Astronomie de Mars 2004⁸ ou bien « Optimiser l'information des images couleur de Mars » sur le site web de l'auteur⁹.

⁸ Burgeot F. ; Pellier C. ; *CCD et dessin*, L'Astronomie vol. 118, mars 2004, pp. 150 à 153.

⁹ <http://astrosurf.com/pellier/marstrait>

II La surface de Mars en 2003

Les changements des taches d'albédo ne sont plus un phénomène en soi – on en connaît aujourd'hui les causes et il n'y a plus guère d'enjeu. Néanmoins il est toujours intéressant d'en parler à un niveau amateur, car ces taches forment le premier point de contact que l'observateur a avec Mars, et une bonne partie de son esthétisme.

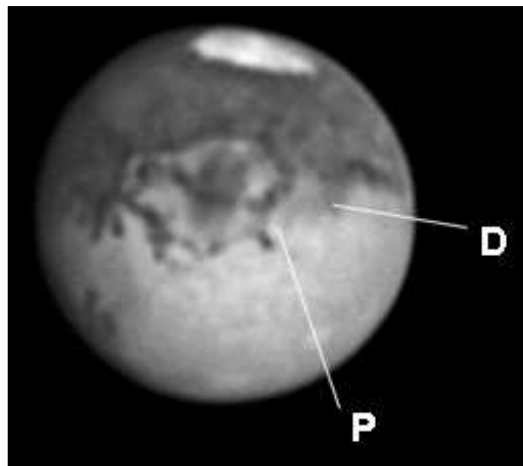
On se demande toujours au départ d'une nouvelle apparition si des changements ont eu lieu dans les détails de la planète. De ce point de vue en 2003 nous savions déjà qu'il y aurait pas mal de nouveauté de ce côté-là ; en effet l'apparition 2001 s'était refermée sur une surface largement remaniée par les très importantes tempêtes de poussières de l'été 2001, ce qui promettait une vue « rafraîchie » de la planète et ce alors que les changements avaient été résiduels pendant les deux précédentes décennies.

A : Un rapide aperçu des changements de surface

Deux régions ont été classiquement affectées par de grands changements.

La région de Solis Lacus - Daedalia

C'est peut-être la région martienne la moins « stable ». Solis Lacus correspond à un vaste plateau entouré par une topographie extrêmement tourmentée (de multiples failles au nord dont Valles Marineris, des montagnes au sud). Cette région évolue continuellement au fil des ans même en l'absence de grande tempête, sous l'action des vents ou bien de nuages de poussières mineurs. En 2001, la région de Solis Lacus et Daedalia Planum à l'ouest avait été le siège de nombreuses tempêtes répétées, et son aspect en 2003 est très différent. Principalement, on note la « réapparition » du « canal » Phasis à l'est de Solis Lacus, jouxtant Daedalia, qui présente toujours un faible albédo.



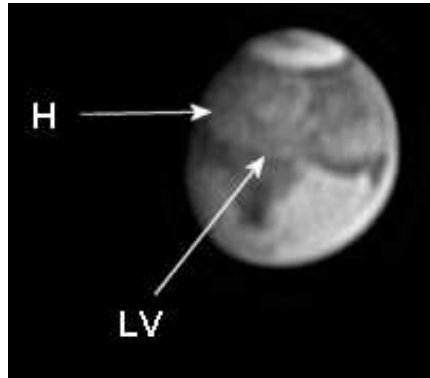
Le canal Phasis (P) et Daedalia (D), détails nouveaux en 2003, sur une image IR de P. Lazzarotti du 12 août 2003.

L'hémisphère de Syrtis Major

La région du bassin de Hellas a été la principale affectée par l'activité de tempête en 2001. En conséquence là aussi beaucoup de changements sont visibles. En particulier, un important dépôt de poussière a eu lieu dans le bassin même, dans Mare Hadriacum (la « mer » qui longe Hellas à l'ouest) et dans Lapygia Viridis, la région qui sépare Hellas de Syrtis Major. Ainsi, là où un lent dégradé de gris existait des taches sombres proches de l'équateur

(Syrtis Major, Mare Tyrrhenum) jusqu'au bassin, se trouve à présent un quart d'anneau clair, avec des limites franches. Syrtis Major a légèrement changé de forme par rapport aux années 1990, plus clair sur la partie est. A l'ouest, un léger assombrissement du pourtour du bassin d'Isidis, partant de Syrtis Major vers Moeris Lacus, rappelle très vaguement l'époque d'Antoniadi où le « canal » Népenthes-Toth était beaucoup plus remarquable.

Il est à noter que c'est dans cette région qu'a eu lieu le seul changement notable d'albédo de l'apparition, résultat du bref mais intense épisode de tempête de poussière de Juillet 2003 dans Noachis (*cf. infra*). Mare Serpentis s'est considérablement « étendue » à l'intérieur de Deucalionis regio et Pandoraae Fretum. Ce changement semble avoir persisté durant tout le reste de l'apparition 2003.



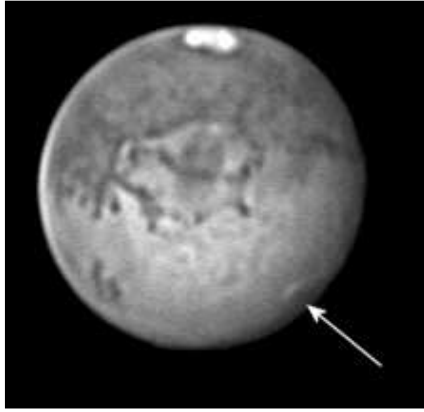
Mare Hadriacum (H) et Lapygia Viridis (LV) sur une image IR de E. Rousset, le 20 juin 2003.

B : Un exemple de détails de surface remarquables sur les images : les volcans de Tharsis

La très haute qualité des images qui ont été obtenues par les amateurs permet de distinguer quelques détails assez étonnants ayant trait au relief martien et non plus seulement aux variations d'albédo.

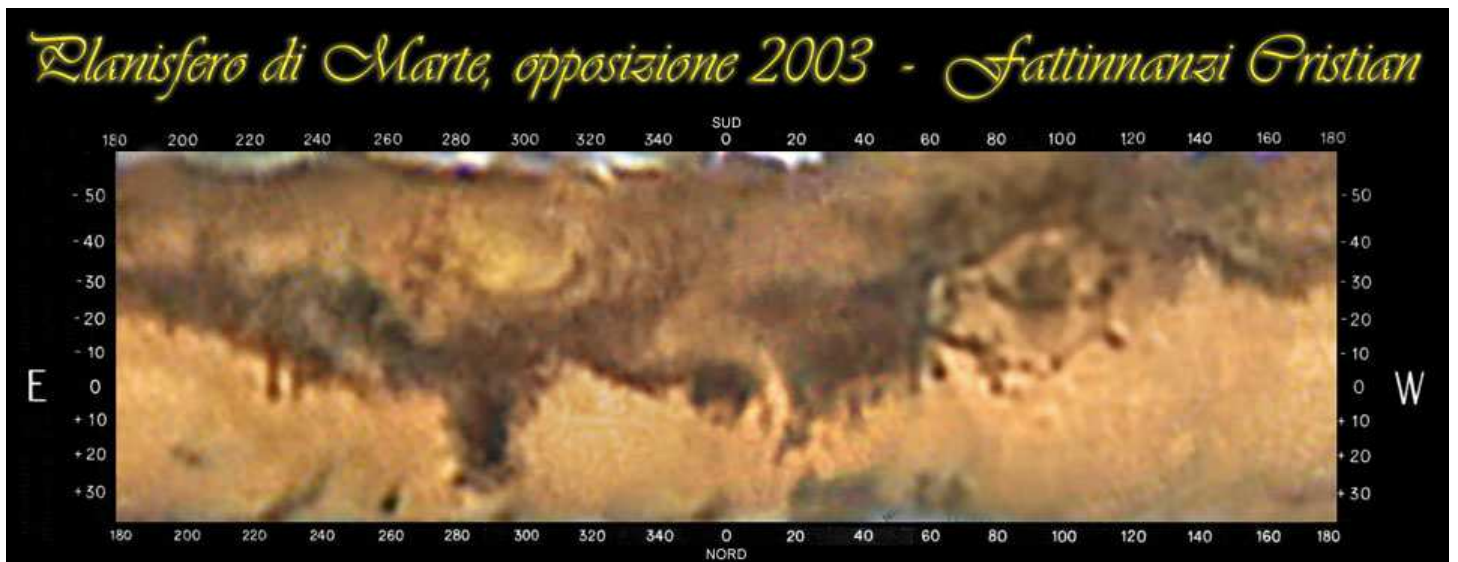
On le sait, les volcans martiens du plateau de Tharsis font partie des plus grandes montagnes du système solaire. Tharsis est un vaste bouclier volcanique principalement situé dans l'hémisphère nord de Mars entre 70° et 170° de longitude. Il compte quatre volcans dont la hauteur dépasse la vingtaine de kilomètres – les trois sommets alignés du sud au nord des monts Arsia, Pavonis, Ascraeus, et le fameux mont Olympe.

De façon assez étonnante, ce dernier est évident à voir sur les images prises entre juillet et septembre. On le repère d'abord comme une tache blanche au milieu de Tharsis, quand le volcan se trouve en pleine journée martienne. Mais, aux limites du *sol* (le sol est le jour martien), le matin et le soir, son aspect devient plus remarquable. Un certain nombre d'images montrent ainsi clairement que Olympus présente une couleur rouge assez prononcée, bien plus que celle des déserts martiens. De même, au matin ou au soir martien sur les meilleures images, on voit que le sommet porte une ombre qui donne une saisissante impression de relief. Cette ombre portée peut également être détectée dans les cas de Arsia et Ascraeus (beaucoup plus difficilement il semble dans le cas de Pavonis), bien que cela soit plus difficile en raison du relief moins prononcé.



Le Mont Olympe porte une ombre matinale, sur cette image rouge de P. Lazzarotti (19 septembre 2003).

Pour terminer, voici un planisphère martien réalisé par Cristian Fattinanzi qui permet de visualiser l'ensemble de la planète pour l'apparition 2003 :



III La Calotte polaire sud

2003 nous a permis d'observer toute la « récession » de la calotte polaire australe martienne, et incontestablement son évolution a été l'une des choses les plus intéressantes à suivre. C'est dès le mois de mars 2003 que la calotte a été repérée par les observateurs.

I Avant l'équinoxe de printemps

Les premières images prises de la fin de l'hiver 2003 au début du printemps 2003 montrent la calotte avant que le Soleil n'ait commencé à illuminer le pôle proprement dit, avant l'équinoxe du printemps austral sur Mars (Ls 180) qui surviendra le 5 mai 2003. Pour cette raison, la calotte est encore assez terne, et de plus les conditions d'observations n'étant pas bonnes pour la plupart des observateurs (grande distance avec la Terre et faible hauteur sur l'horizon pour ceux qui vivent aux latitudes tempérées nord), les images ont une qualité très limitée – en fait deux dessinateurs ont à l'époque produit des documents plus intéressants, Nicolas Biver et Carlos Hernandez. Leurs dessins montrent souvent une calotte aux bords peu nets et mal définis, surtout au mois de mars 2003, au moment où logiquement le voile polaire hivernal est encore actif au-dessus des régions polaires. Il est difficile de dire à quel moment ce voile s'est dissipé. Selon la littérature cette dissipation intervient vers Ls 160 ; certains dessins de N. Biver tendraient à montrer qu'elle a pu être effective un peu avant (14 mars, Ls 152 ; 25 mars, Ls 157). A cette saison martienne, la calotte polaire est à son étendue maximale.

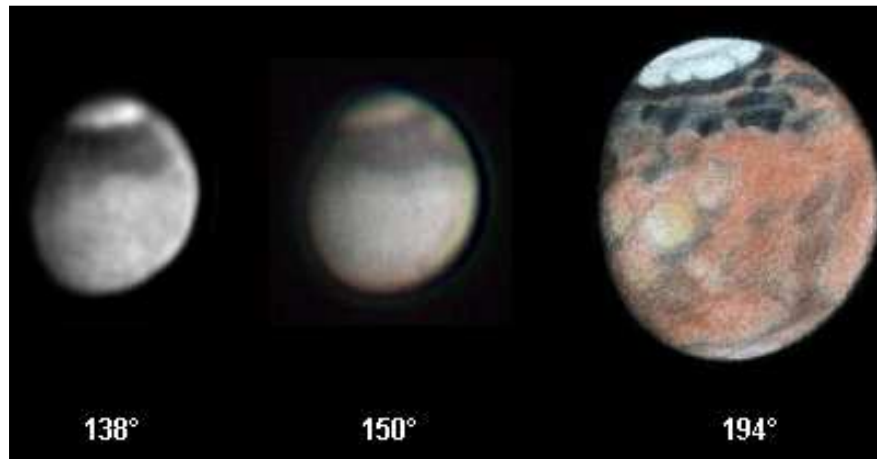
II La récession de la calotte polaire

A partir du début du mois de mai 2003, le Soleil éclaire en permanence le pôle sud et la calotte va commencer à lentement se sublimer. Les calottes saisonnières sur Mars – on désigne par ce terme les vastes calottes qui se déposent durant l'automne et disparaissent au cours du printemps et de l'été – sont surtout formées de neige carbonique, c'est-à-dire de dioxyde de carbone gelé par les très basses températures¹⁰.

La « Bande de Lowell » - mai-juin 2003

Un détail souvent souligné sur ces premières images du printemps 2003 (et souvent confondue avec un artefact !) est la ligne très sombre qui borde la calotte polaire sud. C'est que l'on appelle encore aujourd'hui la « Bande de Lowell ». Lowell y voyait une brève poussée de vie végétale à l'occasion de la fonte des neiges martiennes au printemps. Il s'agit en réalité d'une zone où les vents forts créés par le fort gradient thermique entre la calotte et les déserts environnants ont déblayé le sable orangé pour révéler un sous-sol plus sombre. Cette bande « remonte » vers le pôle en même temps que le bord de la glace. Sur les images de 2003 on la perd de vue au cours du mois de juillet.

¹⁰ Rappelons utilement que les calottes martiennes ne peuvent pas fondre car l'état liquide n'est pas possible sur Mars. La glace de CO₂ comme celle d'eau passe directement de l'état solide à l'état gazeux.

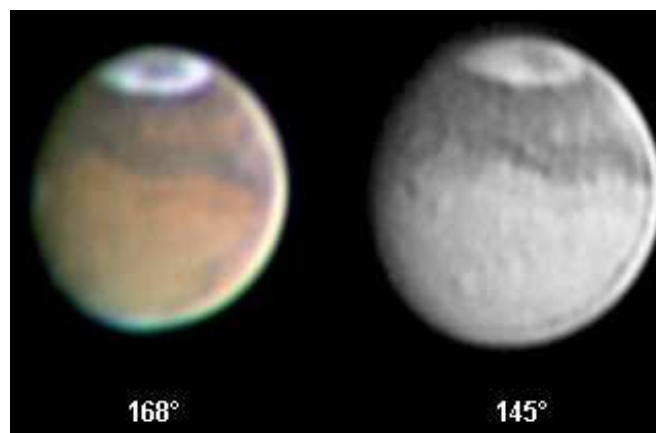


Quelques premières images de la calotte au printemps 2003, montrant la « bande de Lowell ». De gauche à droite image R+IR de Jérôme Grenier le 29 mai, image IR d'Elie Rousset le même jour, dessin de Nicolas Biver du 30 mai.

Parva Depressio, « l'effet life-saver », et le désaxement de la calotte par rapport au pôle – juillet-août 2003

Un phénomène assez spectaculaire sur les images du tout début de l'été 2003 est la présence d'une sorte de « trou » dans la calotte bien visible vers le méridien 180°. Il s'agit d'un endroit où la couche de glace carbonique est plus fine, et qui commence déjà à révéler le sol sombre de *Parva depressio*. L'aspect que prend la calotte est appelé aux Etats-Unis « l'effet life-saver », du nom d'un beignet avec un trou en son milieu.

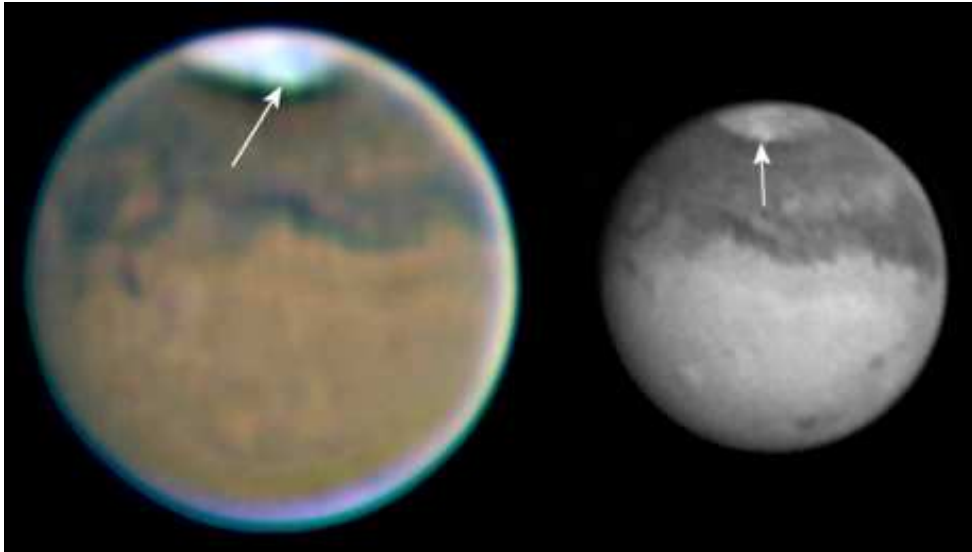
Durant le mois d'août (Ls 230-250) la fine langue de glace qui bordait le « trou » au nord s'est sublimée, et *Parva Depressio* commence à apparaître clairement. A la fin du mois d'août 2003 (vers Ls 245) la glace s'est totalement sublimée à cet endroit, et le bord de la calotte remonte jusqu'à une latitude de 80°S environ alors que de l'autre côté de la planète ce bord n'est qu'à environ 70°S. Il en résulte une sorte de « désaxement » de la calotte dont le centre se distingue nettement du pôle lui-même. Ce décentrage ira en s'amplifiant jusqu'à disparition totale de la calotte saisonnière à l'automne 2003. La calotte permanente d'été, minuscule, est elle aussi décentrée par rapport au pôle.



« L'effet life-saver », les 3 et 6 juillet 2003. Image couleur de C. Pellier et Image R+IR de Bruno Daversin.

Les monts Thyles

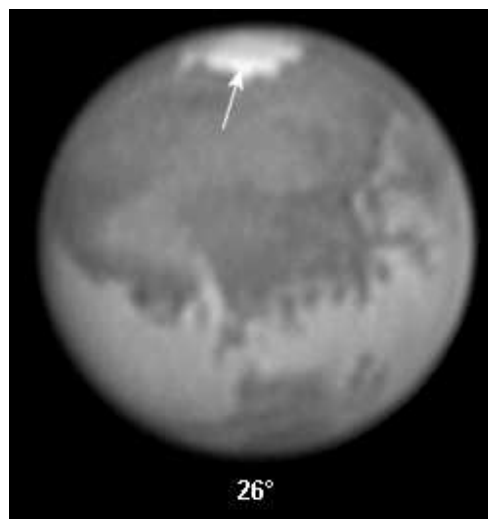
Les Monts Thyles sont une sorte de grosse pointe de glace à une des extrémités de *Parva Depressio*. Ils sont visibles dès juillet 2003 mais c'est au mois d'août, vers Ls 240, qu'ils sont mieux visibles. Ils disparaissent après Ls 250 (fin août).



Les flèches pointent les Monts Thyles sur ces images de Christophe Guillou (11 août, couleur) et Jean-Pierre Troncin (date inconnue).

Les Monts Argentés

Les Monts Argentés sont une des parties les plus « mythiques » de la calotte polaire australe. Il s'agit d'une partie assez brillante visible vers 25° de longitude, loin au sud d'Argyre. On commence en 2003 à la distinguer au début du mois de juillet (vers Ls 210-220) comme une toute petite pointe de glace sur le bord de la calotte. Dans la deuxième partie de juillet (Ls 220-230) les Monts Argentés deviennent éclatants. Leur disparition (par sublimation de la neige carbonique) n'est que progressive mais on peut dire que début septembre (Ls 250-260) ils ne sont plus visibles. Au contraire des « Montagnes de Mitchell », en tous cas ils ne se détachent jamais de la calotte elle-même.



Les monts Argentés sont visibles sur cette image IR du 22 août 2003 (Sébastien Marchand et Christophe Pellier).

Les Montagnes de Mitchell

L'expression « Montagnes de Mitchell » désigne le plus fameux des « résidus » de la calotte australe, une partie de glace qui persiste alors vers 290° et 300° de longitude, au sud de Hellas, alors que la calotte alentours a elle disparue. L'expression est trompeuse. Le terme de montagne était logique (la « neige » persistant plus longtemps sur des reliefs). Il ne s'agit cependant pas de montagnes mais d'une zone en pente douce descendant vers le pôle, sur laquelle l'énergie solaire a donc moins d'influence.

On les distingue déjà vers Ls 200-210 (fin juin-début juillet) comme une petite zone brillante sur le bord de la calotte (on lui donne alors à ce stade le nom de *Novus Mons*). Par la suite la glace carbonique des alentours se sublime. Au mois de juillet, une large partie de la calotte semble se détacher à ces longitudes à la faveur de l'apparition de *Depressio Magna*, une zone plus sombre située au sud de *Novus Mons*. Cette partie se restreint par la suite à *Novus Mons* qui apparaît presque détaché à la mi-août soit environ 240° Ls, devenant ainsi les Montagnes de Mitchell. Traditionnellement, le moment où les Montagnes de Mitchell sont complètement détachées de la calotte a été identifié comme survenant à la saison Ls 250, soit au moment du passage de Mars à son périhélie, et en 2003 tel a encore été le cas.

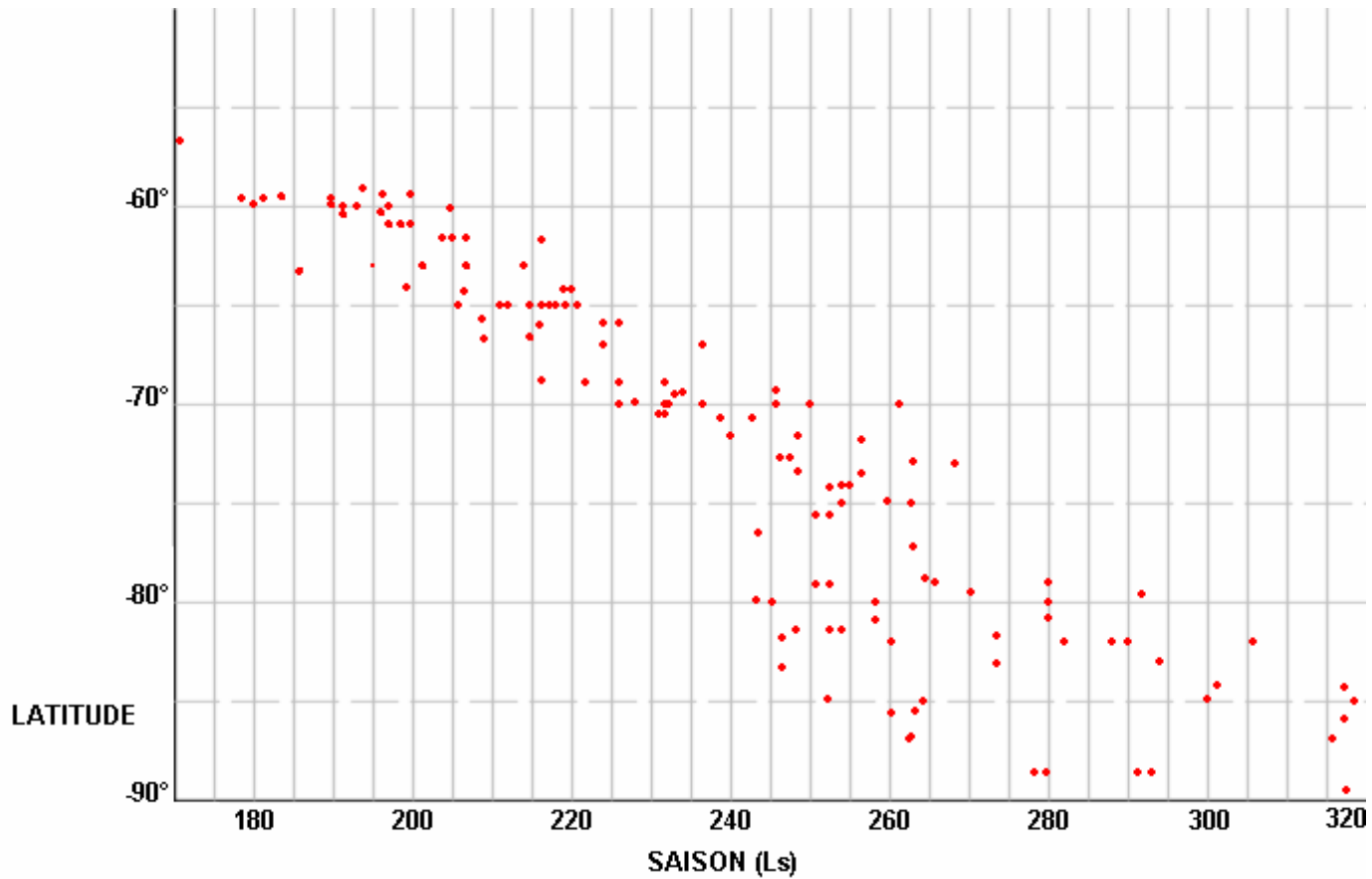
Les Montagnes de Mitchell disparaissent dans les tous derniers jours de septembre vers Ls 270.



Détachement progressif des Montagnes de Mitchell. Images de Elie Rousset (22 juillet 2003), Teva Chene (4 août) et Damian Peach (24 août).

III Graphique de récession pour l'apparition 2003

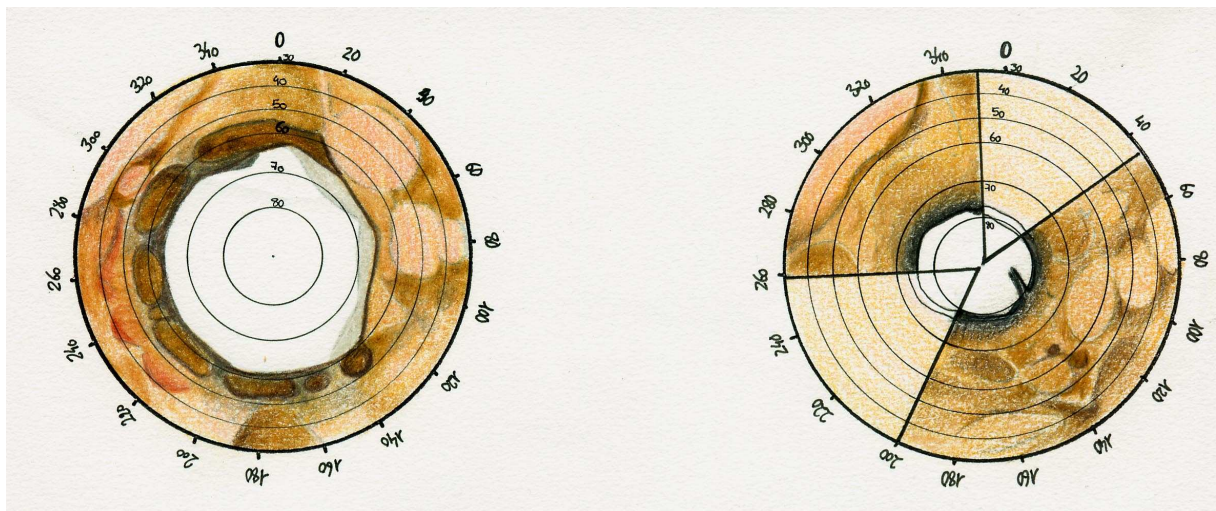
Voici un petit graphique permettant de visualiser la récession de la calotte en 2003, par latitude et par saison (Ls).



Graphique représentant la latitude de la calotte polaire sud en fonction de la saison (rappel : Ls 180 = équinoxe de printemps, Ls 270 = solstice d'été).

On voit que la vitesse de récession vers le pôle s'accélère vers Ls 240. C'est également à ce moment-là que la calotte commence à se « désaxer » par rapport au pôle, et c'est ce qui amplifie considérablement les différences de latitude du bord de calotte en fonction de la longitude, pour un Ls donné.

Voici des dessins de Romuald Oumamar sous projection polaire (août et septembre 2003).

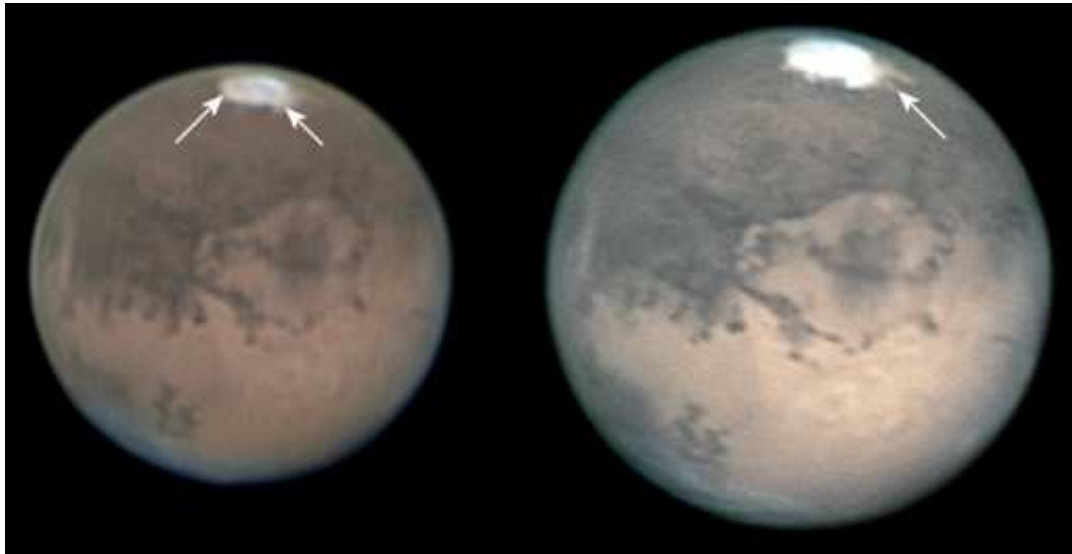


(Note : les longitudes sont erronées, elles devraient s'accroître dans le sens contraire des aiguilles d'une montre).

IV La calotte et ses nuages de poussières

Le bord de la calotte polaire sud est le siège permanent d'évolution de petits nuages poussières, à cause de ce gradient de température entre la calotte et les déserts dont nous avons parlé au sujet de la « bande de Lowell ».

Bien visibles sur les images en infrarouge thermique de l'instrument TES¹¹ de la sonde MGS, ils restent extrêmement discrets sur les images amateurs, et très peu d'entre elles réussissent à les mettre en évidence ; une excellente qualité d'image est indispensable ; il faut aussi apparemment éviter de surexposer la calotte elle-même. Ici, on peut faire référence à des images prises par Teva Chene et Teiva Leroi, qui montre ces petites tempêtes sans ambiguïtés.



Images de Chene (à gauche) et Leroi (à droite) révélant l'activité permanente de nuages de poussières autour de la calotte polaire australe.

Pourtant, cette activité incessante n'a pas eu de lien avec les épisodes importants de tempêtes de poussières que l'on a vu sur Mars en 2003. Le chapitre suivant va être l'occasion d'aborder cette question, la plus intéressante de l'apparition.

¹¹ <http://tes.asu.edu/>

IV L'activité atmosphérique sur Mars en 2003

I La région polaire nord : le voile polaire automnal

Les régions polaires de Mars en automne et en hiver sont recouvertes par un *voile polaire* constitué de nuages de cristaux de glace d'eau. Ils se forment à la fin de l'été et recouvrent toute la région polaire jusqu'à la fin de l'hiver suivant.

L'apparition 2003 n'a pas été favorable à l'observation du voile polaire boréal en raison de la forte inclinaison australe de la planète vue depuis la Terre, et seul le bord extrême se manifeste sur les images. Généralement un filtre bleu aide grandement pour le repérer, mais il est normalement suffisamment brillant pour être discernable sur les images en couleur ou bien en observation visuelle.

En 2003 le voile polaire nord semble formé vers Ls 150-160 (dessins de Biver, 9 mars et 11 avril). Il reste ensuite visible en permanence tout au long de l'apparition. Une question intéressante qui peut se poser est d'évaluer l'influence des tempêtes de poussière de 2003 sur le voile boréal. En effet, au cours des importantes tempêtes de poussières de la fin des années 1970, on avait assisté à son affaiblissement de façon marquée, voire sa quasi-disparition¹². Une augmentation de la température de l'atmosphère au-dessus du pôle nord par le transport de poussières était la cause supposée de ce phénomène.

Or en 2001, malgré une activité très importante de tempêtes, le voile polaire automnal était resté très actif, alors même qu'aux latitudes moins élevées on notait une quasi-disparition des nuages blancs¹³, ce qui forme une sérieuse remise en cause de cette analyse. Le comportement du voile boréal en 2003 semble peu affecté par les tempêtes, mais il faut déjà dire que ces dernières ont été d'une ampleur bien plus faible. Au cours du temps, le voile semble augmenter en intensité et devenir plus épais et brillant surtout à partir du mois de septembre (~Ls 250-270). L'avancée de la saison martienne (alors proche de l'hiver boréal) ainsi que le refroidissement progressif au cours du mois d'août de l'atmosphère (la poussière des tempêtes de juillet s'étant au moins en partie redéposée) sont vraisemblablement à l'origine de ce renforcement. Les avis divergent sur ce point toutefois ; pour l'ALPO, il y a bien eu un retrait temporaire du voile au moment des tempêtes de juillet et décembre 2003¹⁴ ; pour M. Minami au contraire le voile a été renforcé en juillet, par le même effet en vigueur lors de l'apparition 2001.

L'activité atmosphérique au-dessus de la région polaire nord nous offre une occasion d'observer comment elle peut être affectée par la topographie martienne. Sur toutes les images (et pas seulement en 2003 mais également en 2001) on note que ce voile apparaît particulièrement dense et éclatant au niveau de Mare Acidalium ; en particulier, il descend nettement plus bas en latitude qu'aux autres longitudes. Le bord extrême du voile est ainsi mesuré à environ 35-40° de latitude nord au niveau de Mare Acidalium, contre 40-45° en moyenne aux autres longitudes. Mare Acidalium correspond à une sorte de vaste dépression entre deux plateaux élevés qui s'aventurent loin vers le nord que sont le dôme de Tharsis à l'ouest et les terrains anciens d'Arabia à l'est. Cette différence de relief importante crée en

¹² *North polar hood observations during martian dust storms*, Martin L., (Icarus 26 (1975), 341).

¹³ Pour une analyse plus poussée lire *The north polar hood during the dust-clouded period*, M. Minami, CMO n°260 (partie I) et 262 (partie II). Web :

<http://homepage2.nifty.com/~cmomn/cmo260/index.htm>

<http://homepage2.nifty.com/~cmons/cmo262/index.htm>

¹⁴ Schmude R. et al, *ALPO observations of the 2003 apparition of Mars*, JALPO Vol 46 n°4, automne 2004.

cette saison martienne une circulation de type cyclonique (i.e. dans le sens contraire des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère nord) qui pousse les nuages vers le sud aux longitudes de Mare Acidalium¹⁵. Le même phénomène est visible à l'ouest d'Elysium pour les mêmes raisons mais de façon plus limitée. « *L'orographie [martienne] joue un rôle dominant dans la localisation des remous atmosphériques transitoires vers certaines régions de préférence appelées « zones de tempêtes » (...) de manière similaire à ce que l'on observe dans l'atmosphère terrestre* »¹⁶.

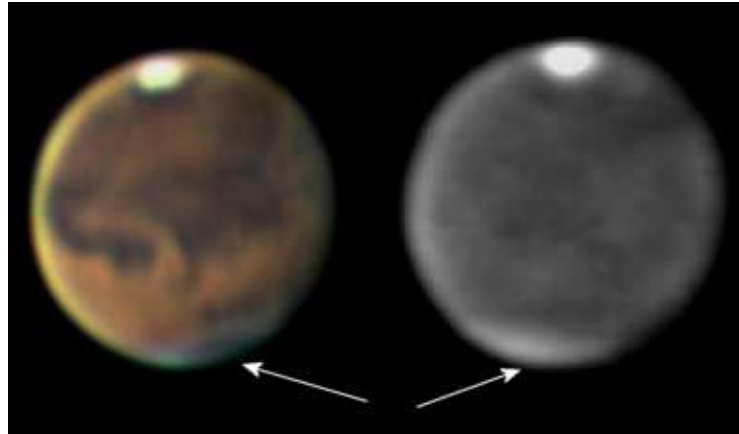


Image en couleur de Jean-Louis Badin (24 septembre) et image B de Jean-Jacques Poupeau (25 septembre) montrant la proéminence du voile automnal au niveau de Mare Acidalium

L'activité atmosphérique paraît donc liée à la topographie martienne.

II L'activité de la poussière sur Mars en 2003

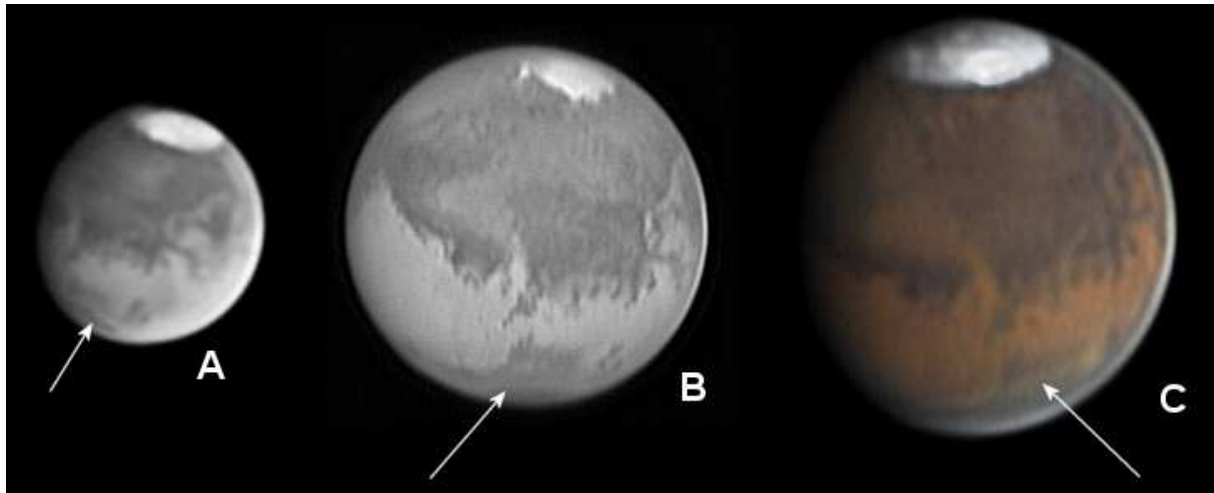
Sous le voile polaire boréal...

Comme on l'a vu dans la partie III consacrée à la calotte polaire australe, le bord des calottes est souvent le siège de petits nuages de poussières créés surtout par les fortes différences de température entre la glace et les terrains libres de glace. Une telle activité survient toutefois également en automne en l'absence de calotte et en 2003, on note une activité régulière de petits fronts de poussières au départ de la région polaire nord¹⁷. Deux longitudes sont concernées et qui ne nous sont pas inconnues puisqu'il s'agit encore une fois de Mare Acidalium et de Aetheria/Utopia, auxquelles correspond une circulation dépressionnaire au niveau de l'atmosphère. Des fronts chargés de poussières partent régulièrement de la première, surtout. La planche suivante montre quelques exemples de voiles poussiéreux au-dessus de Acidalium Planitia.

¹⁵ Voir le schéma « Carte du vent moyen près de la surface de Mars » dans *La planète Mars, histoire d'un autre monde*, Forget F., Costard F. et Lognonné P., page 92.

¹⁶ « Seasonal variations of storm zones on Mars », Hollingsworth et al. ; ASR vol 19. N°18, p. 1238

¹⁷ Un exemple impressionnant surpris par la sonde MGS en mai 2003 peut être vu sur http://www.msss.com/mars_images/moc/2003/05/28/index.html



Série d'images montrant des voiles de poussières au-dessus de Mare Acidalium. A : Lazzarotti (15 juillet, filtre R) ; B : Daversin, Labrevoir, Mallmann à Ludiver (23 septembre, filtre I) ; C : Tan (8 juillet, image couleur – noter la couleur jaune du front).

Des fronts similaires se voient sur beaucoup d'images du mois de mai au mois de septembre au moins, tout spécialement en R ou IR, car bien souvent le voile polaire blanc masque ce type d'activité. Sur les images en couleur c'est le jaune qui prédomine, permettant de faire la différence avec les nuages blancs habituels, si la prise de vue est bien réussie.

L'information la plus intéressante de l'apparition 2003 est lié à cette activité au limes de la région polaire boréale : *tous les épisodes importants de tempêtes de poussières de l'hémisphère sud semblent avoir été déclenchés par des descentes de fronts de poussières arctiques*. Autrement dit en 2003, trois fronts de nuages de poussières partant, soit d'Acidalia Planitia, soit d'Utopia, sont descendus jusqu'à l'équateur, ont traversé ce dernier, pour déclencher des phénomènes plus importants dans l'hémisphère sud. Ce n'était pas le cas pour les tempêtes de 2001 qui elles ont bien débutées dans l'hémisphère sud uniquement¹⁸.

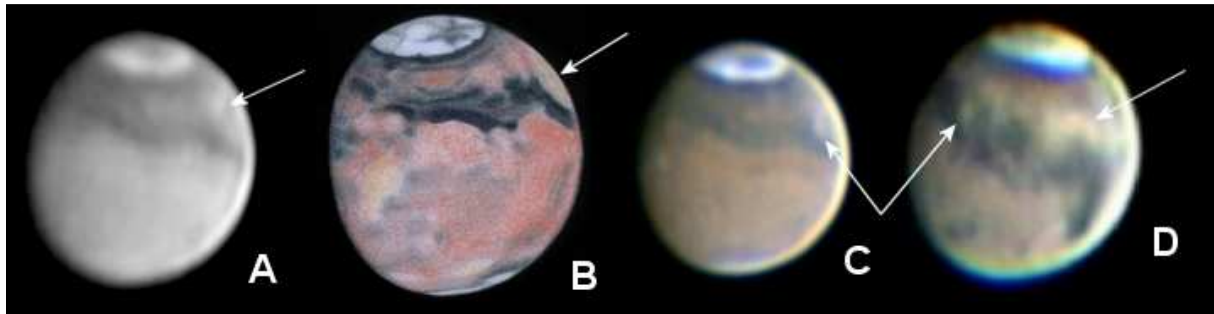
Le premier épisode de tempête de 2003 : région de Hellas, juin-juillet

Le 30 juin et le 1er juillet (Ls 213), des nuages de poussières sont repérés au nord de Hellas dans Iapygia Viridis par des observateurs américains. Le phénomène se renforce peu à peu, et dans la première semaine de juillet le bassin de Hellas et ses alentours sont remplis de brillants nuages de poussières. Au départ, cette activité ressemble beaucoup à celle de la fin juin 2001 alors que la saison martienne n'est pas tellement plus avancée (un peu plus de 30° Ls de différence), et la question se pose de savoir quelle sera l'ampleur de la tempête. Elle s'étend dans les tous premiers jours vers l'ouest et vers l'est, mais selon des modalités assez différentes.

L'extension vers l'est se fait facilement et « naturellement », en suivant les puissants vents d'ouest actifs aux alentours de 30° S. C'est principalement de cette façon que la poussière s'était étendue en 2001, en créant de nouveaux foyers toujours plus à l'est dans l'hémisphère sud de la planète. En 2003 cependant, aucun nouveau départ de tempête n'apparaît. L'extension orientale maximale est atteinte le 5 juillet quand un front autonome se

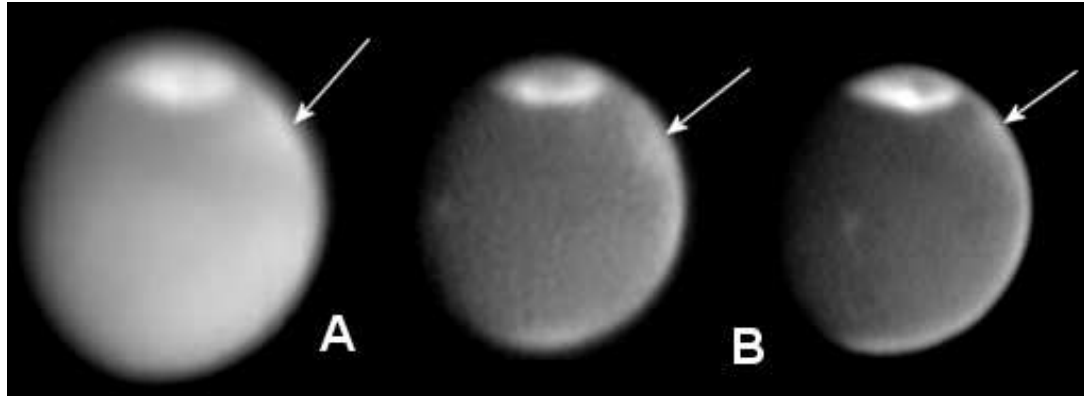
¹⁸ Il faut recommander à ce sujet un film très impressionnant sur cinq années (terrestres) réalisé à partir des données du *Thermal Emission Spectrometer* (TES) de la sonde MGS qui permet de visualiser l'évolution des événements de poussières avec une formidable précision : <http://tes.asu.edu/>. Ce film montre que l'activité à la lisière du voile polaire boréal est responsable des événements (plus ou moins marqués) de l'automne 1999, l'hiver 2002 et 2003.

déplace à l'extrémité est de Mare Cimmerium, mais par la suite l'activité se confine au niveau de Mare Hadriacum et Mare Tyhrrenum.



Quelques images du premier épisode de tempête. A : Daversin le 4 juillet (image R+IR). B : Biver le 5 juillet. C : Pellier le 5 juillet. D : Sherrod le même jour, aux Etats-Unis. Cette dernière image montre également le principal foyer de tempête dans Hellas / Mare Thyrrenum.

Vue depuis l'Europe en ce début juillet, seule l'extrémité est du phénomène peut être surprise en fin de nuit ; ceci dit, s'il n'y a pas de nouveaux nuages de poussières proprement dits à ces longitudes aréographiques, une extension de la poussière par les vents d'ouest est quand même visible. L'extrême sud-ouest du disque martien, près du limbe, est ainsi toujours brillant début juillet, à travers les filtres V et B surtout ; le filtre vert car à travers lui la poussière, quoique moins brillante *a priori* qu'en lumière rouge, est fortement contrastée par rapport au sol martien, et le filtre bleu, car il trahit facilement la vapeur d'eau transportée par la poussière. Le flux d'ouest est ainsi bien révélé.



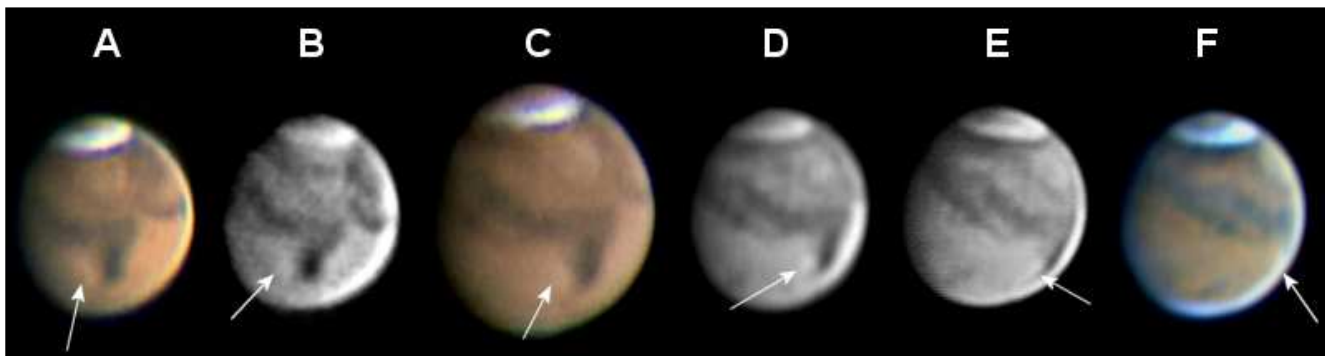
Sélection d'images montrant l'extension de la poussière par le flux d'ouest. A : Daversin, 3 juillet, filtre V. B : Pellier, 3 et 5 juillet, filtre B.

A l'ouest maintenant, l'activité semble plus soutenue. Un front impressionnant de poussières « dévaste » la région de Deucalionis durant la première semaine de juillet. Dès le 10 cependant il est évident que l'activité n'accèdera pas à un stade supérieur comme en 2001, et entre le 10 et le 15 juillet, seul l'atmosphère du bassin de Hellas est encore très opaque, mais l'activité est bel et bien terminée.



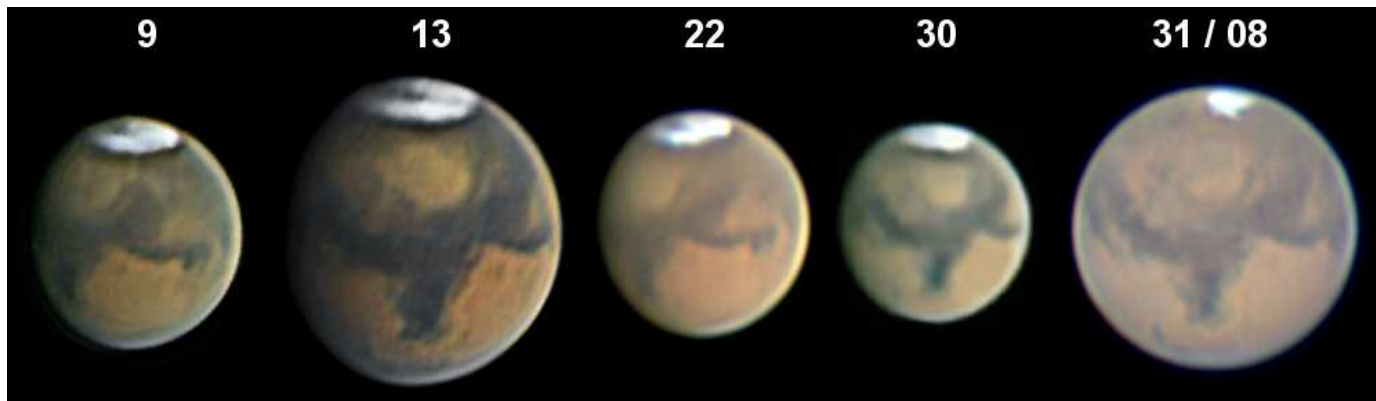
Image d'Eric Ng le 8 juillet 2003 montrant un nuage de poussières très actif à l'ouest de Hellas

Comment cette tempête a-t-elle débutée ? Les images prises depuis l'Europe dans la dernière semaine de juin 2003 montrent clairement la présence d'un petit front de poussières du côté d'Isidis Planitia. Suivant ce qui a été dit plus tôt, l'hypothèse est que ce petit front venait du voile polaire nord aux longitudes d'Aetheria, qu'il s'est ensuite déplacé en direction d'Isidis Planitia, pour traverser Syrtis Major et déclencher une activité beaucoup plus importante dans l'hémisphère sud. Ce qui n'est qu'une hypothèse sur les images amateurs devient une certitude grâce aux images de la sonde MGS qui montrent très clairement l'existence de plusieurs fronts de ce type et leur progression, jusqu'au déclenchement de la tempête les 30 juin et 1^{er} juillet.



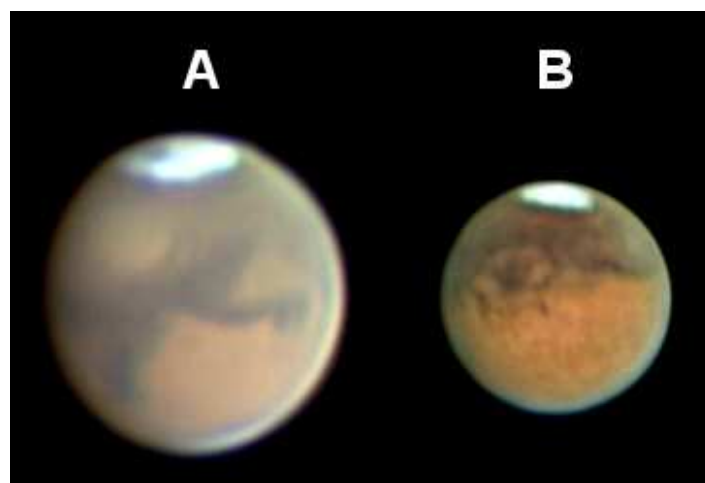
Série d'images prises depuis l'Europe dans la dernière semaine de juin 2003 montrant des nuages de poussières en évolution dans Isidis Planitia. A : 20 juin (Fattinanzi) B : 21 juin (Louman, image R+IR) C : 22 juin (Fattinanzi) D : 24 juin (Pellier, image R+IR) E : 25 juin (Lazzarotti, image R) F : 28 juin (Pellier).

De la mi-juillet à la fin août, il est intéressant de suivre l'éclaircissement progressif de l'atmosphère du bassin de Hellas. Rempli de poussières durant la première moitié du mois de juillet, il a fallu attendre un bon mois pour que les détails présents sur son sol puissent être à nouveau observables.



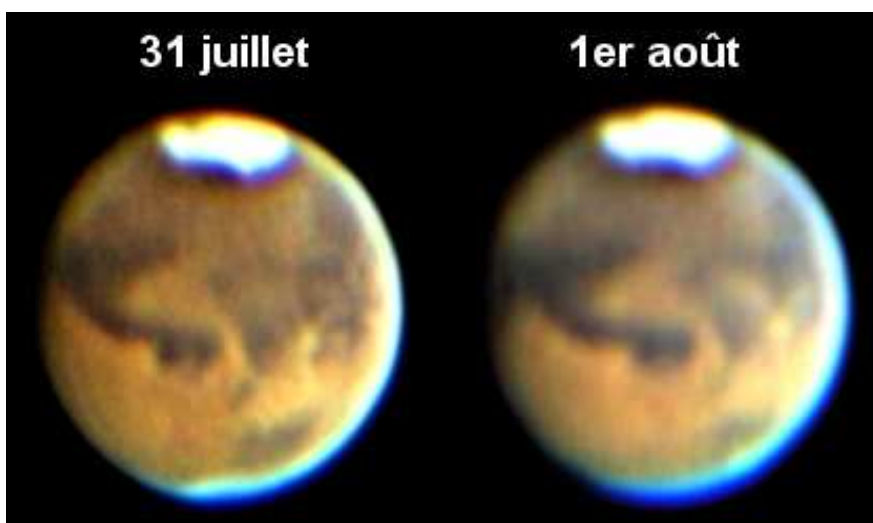
Sur cette succession d'images du bassin de Hellas en juillet 2003, on constate nettement le déclin de l'activité de tempête puis la dissipation progressive de la poussière. Encore opaque fin juillet, l'atmosphère du bassin est à nouveau claire au mois d'août. Images du 9 et 13 juillet par Eric Ng, 22 juillet et 31 août Christophe Pellier, 30 juillet François Emond.

Pour limité en durée qu'il ait été, ce premier épisode de tempête de poussières a eu des conséquences sur le climat martien pendant deux bons mois, jusqu'au mois de septembre. D'abord sur l'importance des nuages blancs de vapeur d'eau (*cf. infra*). Mais aussi, sur l'opacité générale de l'atmosphère de la planète. Ainsi, il apparaît qu'en juillet et août, l'atmosphère martienne est restée relativement chargée en poussières, un phénomène identique à celui de 2001 mais d'une ampleur bien plus négligeable au point de passer inaperçu aux yeux de la plupart des observateurs. Une sorte de « brume » jaunâtre peut se repérer de cette manière tout spécialement sur le limbe martien, où l'atmosphère est vue plus épaisse par perspective. Il est intéressant de noter que les premiers observateurs à signaler la présence de cette brume ont été des observateurs visuels / dessinateurs ; très peu d'images webcam ou CCD parviennent à le détecter d'abord parce qu'il s'agit d'une information très subtile, ensuite parce que bien souvent des traitements inadaptés étaient appliqués aux images. Certaines images parviennent toutefois à en rendre compte ; quelques exemples sont présentés avec deux documents de C. Pellier et O. Meeckers.



Deux images révélant le voile jaune obscurcissant l'atmosphère de Mars durant l'été 2003. A Pellier, 22 juillet. B Meeckers, 15 août.

Un excellent exemple de descente de front depuis le voile polaire : le petit épisode de juillet-août 2003



Deux images de Clay Sherrod avec le front de poussière évoluant dans Chryse.

Dans les tous derniers jours du mois de juillet, un des fronts de poussière évoluant dans la dépression d'Acidalium va connaître une histoire moins brève que nombre de ces prédécesseurs. Il part de la région polaire nord le 29 juillet en direction du sud, et dès le 30 il est visible sur les images amateurs comme une tempête assez petite mais très brillante dans Chryse. Par la suite, le nuage franchit l'équateur les 31 juillet et 1^{er} août (images de Clay Sherrod), puis se diffuse rapidement dans Mare Erythraeum. Sur les images de Tomio Akutsu on voit distinctement un nuage de poussière coincé dans ce qui est en réalité la partie orientale de Valles Marineris.



*Images du front de poussière en dissipation dans Mare Erythraeum par Tomio Akutsu.
L'image en NB est prise dans le proche IR (820 nm)*

On a en fait assisté ici, à un exemple de descente de front non suivie par une activité plus importante, mais qui montre bien que ce type de phénomène (descente de front boréal jusque dans l'hémisphère sud de la planète) est tout à fait possible.

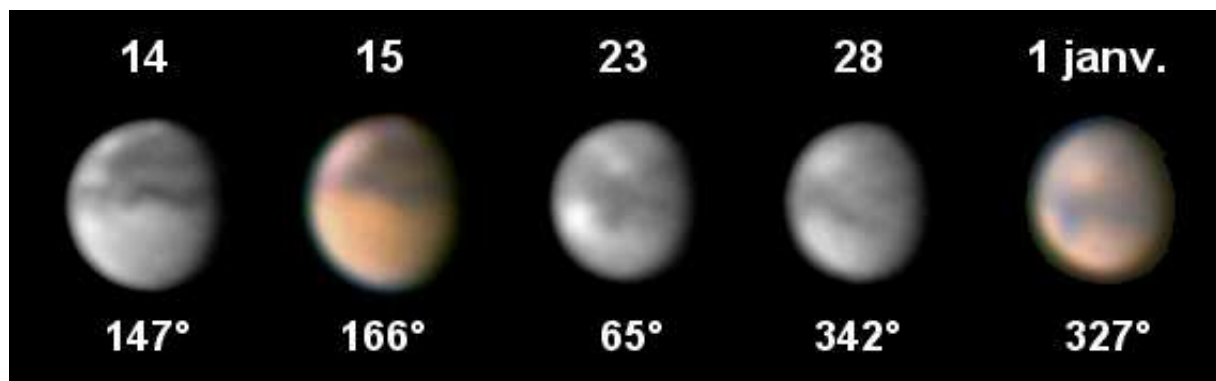
Un dernier pic d'activité : décembre 2003

Alors que Mars commençait à devenir très petite dans les télescopes à la fin de l'automne 2003, une belle période de tempêtes de poussière a commencé peu avant la mi-décembre, les 12-13 plus exactement, pour durer jusqu'au mois de janvier 2004.

Les premières images du phénomène sont réalisées par Don Parker (non participant à ce rapport) le 13 décembre. Sur ses images on voit de brillants nuages de poussière dans Chryse, s'étendant déjà loin vers le sud. L'activité semble avoir suffisamment d'intensité pour se prolonger.

Aucune image d'amateur ne permet de tester ici l'hypothèse de la descente de front boréal. Les images de MGS quant à elles ne sont pas extrêmement claires sur ce point ; il semble que dans les premiers jours de décembre il y ait eu une activité continue de petites tempêtes du sud Chryse / Aurorae Sinus, mais l'activité principale vient au moins du sud Mare Acidalium.

La tempête commence donc vers Ls 310-315, en plein milieu de l'été austral martien. Après avoir rapidement traversé l'équateur les 12-13 décembre, elle commence à s'étendre à la fois vers l'ouest et vers l'est. L'extension ouest est observée à la mi-décembre en Asie, et l'extension est en Europe. A la mi-décembre les nuages gagnent Solis Lacus puis Mare Sirenum et la région polaire sud (14-15 décembre). A l'est, le 16 décembre un gros nuage de poussières est observé en Europe dans Deucalionis Regio et Noachis (il s'agit en fait de l'extension ouest d'une large bande de poussières s'étendant sur plusieurs dizaines de degrés de longitude) ; après quoi la tempête atteint le bassin de Hellas et les régions environnantes.



La tempête observée depuis le Japon par Tomio Akutsu en décembre 2003 et janvier 2004 (filtres R, IR et images couleur). Les nuages s'étendent jusqu'à Mare Sirenum le 15 décembre. Sur l'image du 28 on note apparemment des nuages brillants encore plus à l'ouest au sud de Mare Cimmerium. Le 1^{er} janvier 2004, le bassin de Hellas est encore « brillant », trahissant vraisemblablement la présence de poussières dans son atmosphère.

L'activité tient jusque dans les derniers jours de l'année 2003, puis s'étiolle rapidement ; elle aura gardé une dimension strictement « régionale », mais elle a quand même presque fait le tour de l'hémisphère sud.

Au total, l'activité de la poussière sur Mars lors de l'apparition 2003 est assez classique. Si les tempêtes de 2001 ne rentrent pas dans le cadre conceptuel habituel (tempête globale arrivée « trop tôt » dans la saison) celles-ci peuvent y être interprétées beaucoup plus facilement. Ainsi, l'épisode de juillet 2003 aurait avorté car la saison martienne n'était pas suffisamment avancée pour lui permettre de prendre plus d'ampleur, et celui de décembre 2003 se serait produit « trop tard » au moment où se refermait la « fenêtre de tir » pour une activité globale. R. Mc Kim, Directeur de la Section Mars de la BAA, écrivait il y a quelques

années que les tempêtes globales ne pouvaient se produire qu'entre Ls 204 et Ls 312¹⁹. L'activité de juillet se tient au début de la période (Ls 210 environ) et celle de décembre à l'extrême fin (Ls 310 environ). On rappellera encore une fois que l'activité 2001 avait commencée en Ls 182 seulement, et était « globale » avant même Ls 204 !



Images prises depuis la France en décembre 2003. Le 15 décembre, aucun nuage de poussière n'est détecté. Le 16 on peut observer un brillant nuage orange au sud de Sinus Sabeus, et les 17-18 décembre la tempête arrive dans Hellas. Images B. Daversin (15 et 18 décembre, le 15 en IR), C. Pellier (16 et 17) et le dessin est de N. Biver.

Plus intéressante est cette idée que les fronts descendant de la région polaire nord sont des sources relativement fréquentes de tempêtes de poussières australes. Alors que cela semble établi pour au moins deux des trois pics d'activité relevés en 2003, on notera que le phénomène n'est pas connu depuis longtemps chez les astronomes professionnels :

« Récemment, une nouvelle catégorie de tempêtes majeures a été identifiée, avec des soulèvements de poussières initialement associés à des fronts de l'hémisphère nord, et impliquant des transports de poussières de l'hémisphère nord vers l'hémisphère sud. Ces tempêtes sont surtout observées au milieu de l'automne boréal et de l'hiver boréal. (...) Une fois que la poussière est transportée dans l'hémisphère sud, son accumulation dans la zone de convergence de Hadley augmentera grandement la force de la circulation, entraînant une tempête majeure »²⁰.

Cette « découverte » est appuyée par ce que l'on évoquait plus haut au sujet de l'influence de la topographie sur « l'aréométéorologie » : « au cours de l'automne, de l'hiver et du printemps boréal, des « zones de tempêtes » localisées peuvent se former et sont particulièrement marquées dans les terres basses d'Arcadia, Acidalia et Utopia planitia »²¹. Soit exactement les origines des fronts de poussières vus en 2003.

III L'activité des nuages blancs durant l'apparition 2003

Les nuages blancs de Mars sont composés de cristaux de glace d'eau. Ils peuvent être difficiles à détecter car ils sont généralement diaphanes, loin de l'épaisseur des nuages terrestres. Ils sont facilement influencés par l'activité des tempêtes de poussière. En effet, la

¹⁹ « The dust storms of Mars », R. McKim, JBAA vol. 106, avril 1996, page 193.

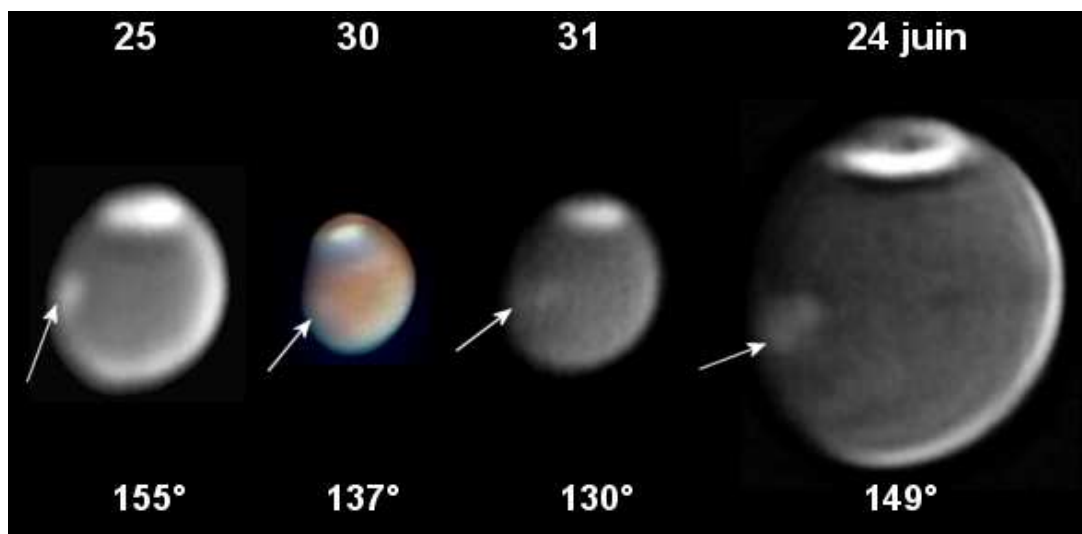
²⁰ *Cyclones, tides and the origin of major dust storms on Mars*, Wang, Richardson, Ingersoll, Wilson, Zurek, Intervention lors du 34^{ème} meeting de l'American astronomical society (AAS), division des sciences planétaires, 6-11 octobre 2002.

²¹ Hollingsworth et al. Op. cit., p. 1237.

condensation de la vapeur d'eau en nuages est gênée par l'augmentation de la température atmosphérique provoquée par les poussières en suspension, qui absorbent le rayonnement infrarouge solaire. L'apparition 2003 peut être scindée en trois périodes.

Avant les tempêtes de juillet : une atmosphère plus froide avec beaucoup de nuages

Jusqu'en juillet 2003, l'atmosphère martienne suit une activité classique pour une saison de début de printemps austral/automne boréal. Les nuages blancs sont relativement nombreux, quoique moins qu'à la saison précédente (en théorie car celle-ci n'a pas pu être correctement observée depuis la Terre), car la vapeur d'eau a recommencé à se condenser en nuages au-dessus de la région polaire nord qui se refroidit.



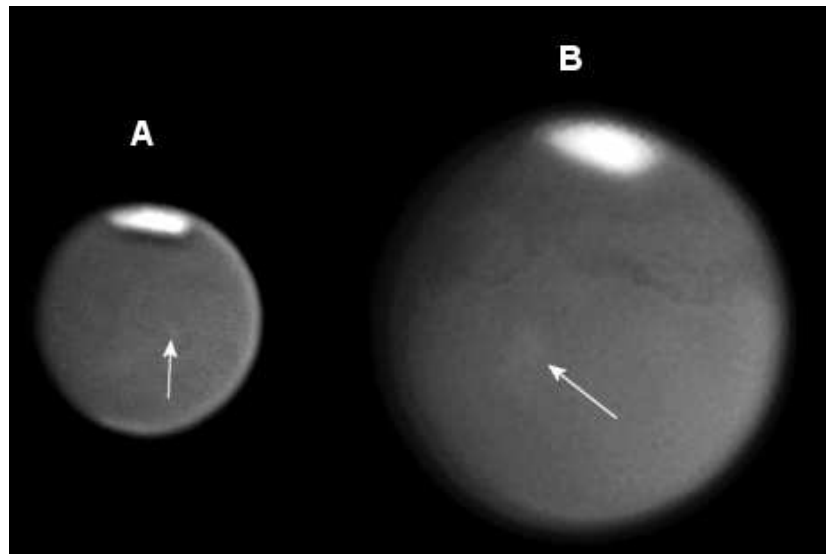
Nuages orographiques au-dessus des grands volcans martiens au début du printemps austral aux mois de mai et juin 2003. 25 mai : P. Lazzarotti, filtre B. 30 mai : B. Bayle, image couleur. 31 mai : C. Pellier, filtre B. 24 juin : E. Ng, composante B d'une image couleur.

On observe en particulier des nuages assez importants au-dessus des volcans de Tharsis. Ces nuages orographiques se forment dans l'après-midi martien au-dessus de ces sommets très élevés à certaines saisons. Ils sont bien observables sur les images des mois de mai et juin 2003. Sur les images présentées ci-dessus, les nuages occupent une aire assez large qui s'étend à l'est des sommets de Arsia, Ascraeus et Pavonis et autour de ces derniers ; toutefois, le sommet du Mont Olympe semble déjà libre de tout nuage y compris en fin d'après-midi martienne. Ce dernier sommet n'accepte plus de nuage orographique à partir de l'automne boréal.

Juillet-Août 2003 : l'atmosphère se réchauffe

L'atmosphère martienne se réchauffe durant l'été 2003 suite aux épisodes des tempêtes de poussières du mois de juillet, ce qui a pour conséquence de diminuer la possibilité de condensation de l'eau en nuages. Durant deux mois, les images prises avec un filtre bleu sont pauvres en nuages blancs, mis à part le voile polaire nord qui reste bien visible. En tout état de cause, seul le nuage orographique au-dessus d'Arsia se maintient tout au long de l'été 2003. Cette persistance est identifiée comme étant normale pour la saison (printemps / été austral) ce qui montre que les tempêtes de poussières de juillet n'ont eu qu'une influence limitée (en 2001, toute trace de nuage blanc diurne avait évidemment disparue, sauf encore une fois le

voile polaire nord). Toutefois, ce nuage apparaît faible sur les images du mois d'août, très souvent à la limite de visibilité, contrairement à son aspect encore un mois et demi plus tôt.



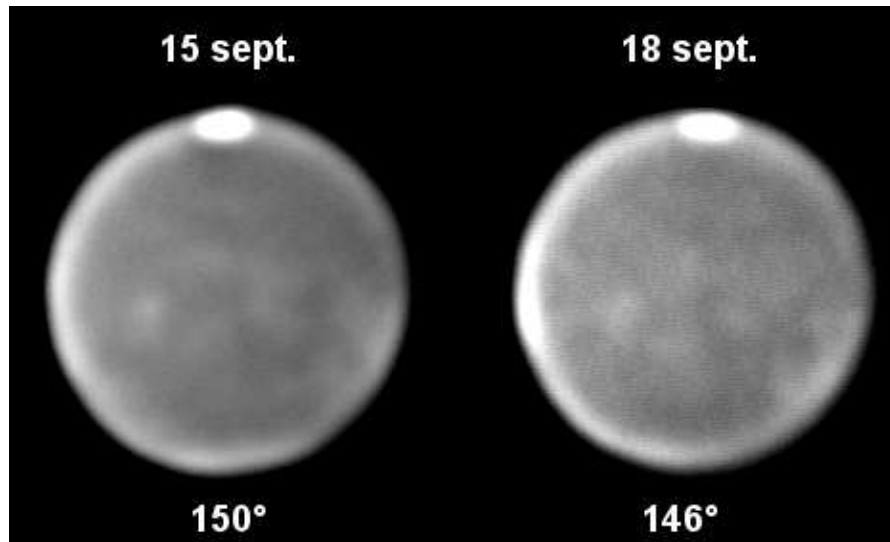
Deux images B du mois d'août montrant une atmosphère presque dépourvue de nuages blancs. Les flèches pointent la persistance relative du nuage orographique d'Arsia. A : T. Akutsu le 2 août. B : P. Lazzarotti le 10 août.

A partir du mois de septembre 2003 : la réapparition des nuages de vapeur d'eau

Une troisième période se dégage dès la fin août et se confirme pendant le mois de septembre et l'automne (terrestre) suivant, au cours de laquelle la fréquence d'apparition des nuages blancs augmente de façon très nette.

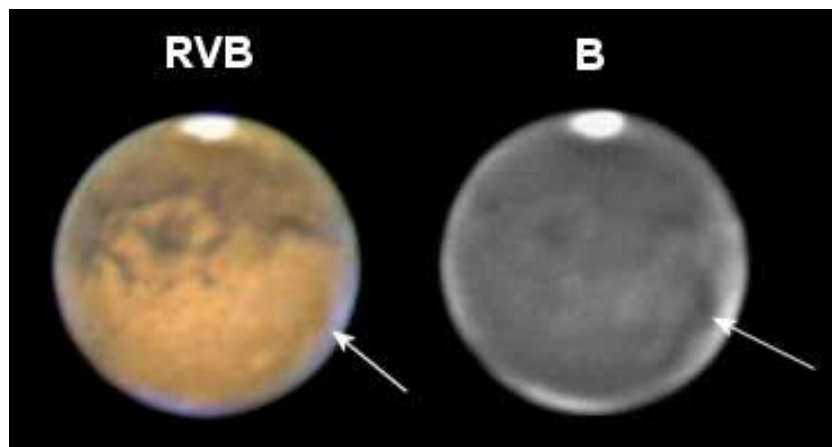
On notera tout d'abord que les brumes matinales martiennes deviennent très facilement visibles à l'ouest. Ici la visibilité de ces brumes n'est pas tant due aux changements atmosphériques qu'à l'évolution de l'angle sous lequel nous observons la planète, puisque après l'opposition c'est le limbe matinal qui est vu sous le meilleur angle. Elles sont nettement plus importantes dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud.

C'est en plein « sol » que les changements sont importants. On distingue (surtout sur les images bleues) d'importants bancs de nuages du matin jusqu'au soir, et bien entendu en pleine journée. Il est difficile de le quantifier, ou de le prouver de manière objective, mais des comparaisons d'images entre septembre et août sont plutôt convaincantes. Ceci montre que la poussière contenue dans l'atmosphère martienne en juillet-août s'est redéposée en grande partie. L'atmosphère est plus froide ce qui favorise les phénomènes de condensation.



Deux images en lumière violette (filtre W47) en septembre 2003 (fort contraste). On remarque une présence beaucoup plus importante des nuages blancs, y compris en milieu de journée martienne. Le nuage d'Arsia est la tache blanche sur la gauche. Images C. Pellier

Du reste, sur certaines images un phénomène plutôt curieux se remarque – on peut voir ainsi des endroits où le contraste de la surface semble très élevé. En réalité, il s'agit de « trous de transparence » dans l'atmosphère, des endroits où le ciel est très clair sans poussière ni vapeur d'eau. Ce phénomène prouve encore l'évolution du contenu de l'atmosphère en poussière : il n'y en a plus assez en suspension pour qu'un voile homogène et continu existe, et certaines parties atmosphériques en sont dépourvues.



Images de Tomio Akutsu (2 septembre 2003). Les flèches pointent une zone atmosphérique très transparente.

Au cours des mois de l'automne 2003, les nuages blancs sont nombreux sur les images, et ce jusqu'au déclenchement de nouvelles tempêtes de poussières à la mi-décembre. Par la suite, la qualité des images n'est plus assez bonne pour dire si à nouveau, à la faveur de cet épisode de tempête, ces nuages se sont faits plus rares.

L'activité atmosphérique sur Mars au cours de l'apparition 2003 a été plutôt intéressante bien que plus modérée qu'en 2001. Elle soulève des questions importantes au niveau de la climatologie martienne dans la mesure où les tempêtes de poussières sont d'une origine différente de celles de 2001 (fronts de poussières nord contre déclenchement austral

« endogène »). Ces deux types de tempêtes peuvent-ils mener aux mêmes conclusions ? En l'absence de descentes de fronts polaires, il n'y aurait peut-être pas eu de tempêtes en 2003, et les causes de ces phénomènes que l'on évoque habituellement (réchauffement saisonnier de l'atmosphère, hausse de la pression atmosphérique...) n'auraient peut-être pas suffi seules contrairement à la situation de 2001.

CONCLUSION

L'apparition 2003 a été un grand rendez-vous astronomique. L'aspect de la planète s'est avéré assez classique avec une activité de tempête très modérée. Il y a bien eu un obscurcissement global comme en 2001, mais à un niveau beaucoup plus faible ce qui fait qu'il est largement passé inaperçu. L'enseignement principal reste la « prise de conscience » de cette nouvelle « source » de tempête de poussières que sont les fronts d'origine arctique. La question est posée de savoir si les épisodes provoqués dans ces conditions sont bien comparables dans leur nature aux tempêtes qui sont déclenchées directement dans l'hémisphère sud.

Perspectives

L'apparition 2005 a déjà débutée au moment où l'écriture de ce rapport se termine. Mars se trouvera bien plus haute sur l'horizon qu'elle ne l'a été en 2003 pour les observateurs de l'hémisphère nord, et les conditions d'observations seront donc meilleures. Les meilleures opportunités d'observation devraient se rencontrer durant les mois de juillet à octobre en deuxième partie de nuit, ou dans les lueurs de l'aube en été, avec les superbes conditions de stabilité atmosphérique que l'on rencontre généralement dans ces moments-là.

D'un point de vue technique, il faut s'attendre à un nouveau bond de la qualité des images, dans la mesure où les webcams seront utilisées en mode RAW, contrairement à 2003. Pour les observateurs motivés et un peu expérimentés, les équipements techniques aujourd'hui disponibles devront favoriser la prise de vue dans les très courtes longueurs d'onde, en particulier, il serait intéressant de réaliser des images en lumière violette ou UV de manière régulière, en plus des habituels clichés de la surface.

Tableau 1 : Liste des observateurs et leur équipement

NOM	LOCALISATION	INSTRUMENT	CAPTEUR	PLANCHES
AAV (P. JAMIN)	FRANCE/REUNION	SC 280	VP NB	1
AKUTSU Tomio	JAPON	NEWT 300	BJ-41L ; TP	84
ARCHAMBAUD Yohan	FRANCE	NEWT 250	DESSIN	4
ARTICO Patrick	FRANCE	SC 200	TP	3
BADIN Jean-Louis	FRANCE	SC 200	TP	5
BALAGNA Alain	FRANCE	SC 200	TP	19
BAYART Jean- Christophe	FRANCE	REFRACT 128	TP	4
BAYLE Bernard	FRANCE	SC 200	VP NB, PS39	10
BETHUNE Christophe	FRANCE	SC 200	TP	7
BIVER Nicolas	FRANCE	NEWT 250 ; NEWT 400	DESSIN	21
BONDUELLE Etienne	FRANCE	SC 200	TP ; ST9	7
BORDONAU Francisco	ESPAGNE	SC 200	MX5	3
BURGEOT Frédéric	FRANCE	CASS 250	DESSIN	8
CAMBRE Philippe	FRANCE	MAK 150	TP	2
CASTETS Martine	FRANCE	MAK-CASS 125	VP	3
CHAUVET Pascal	FRANCE	NEWT 115	TP	3
CHENE Teva	FRANCE/TAHITI	SC 200 ; SC 355	TP	5
CHEVALLEY Patrick	SUISSE	NEWT 150	VP	4
COELHO Paulo	PORTUGAL	SC 200	TP ; ST5	3
COLLIN Thomas	QUEBEC	NEWT 200	TP	1
COOPER Jamie	GRANDE BRETAGNE	MAK 180	TP	3
CRETIER Pierre	FRANCE	?	?	1
CRUSSAIRE Daniel	FRANCE	REFRACT 100	VP	59
DALOUZY Jean- Christophe	FRANCE	SC 200	TP	14
DAUVERGNE Jean-Luc	FRANCE	DK 210	TP	6
DAVERSIN Bruno	FRANCE	CASS 300 ; NEWT 240	TP	27
DELMAS	FRANCE	?	?	?
DESPONTIN Laurent	BLEGIQUE	?	TP	1
DIJON Jean	FRANCE	NEWT 500 ; NEWT 600	?	28
DOBBINS Thomas	USA	SC 355	TP	2
DUCHEMIN Yann	FRANCE	SC 200	VP	14
DURAND Jean- Claude	FRANCE	REFRACT 130	VP	5
EMOND François	FRANCE	SC 200	VP	13
FATTINNANZI Cristian	ITALIE	NEWT 250	VP	45
FERA Frédéric	FRANCE	?	?	2
FOUQUET Bernard	FRANCE	?	?	2

GRENIER Jérôme	FRANCE	SC 200	VP	16
GUILLAUD Eric	FRANCE	MAK-CASS 90	VP	1
GUILLOU Christophe	FRANCE	CASS 300	TP	14
HERNANDEZ Carlos	ETATS-UNIS	MAK 225	DESSIN	9
JACQUESSON Michel	FRANCE	SC 200	TP	37
JONES Adrian	GRANDE- BRETAGNE	SC 250	1004X	3
JOUSSET Marc	FRANCE	?	?	1
JOYE Denis	FRANCE/ESPAGNE	SC 200	VP	18
LAZZAROTTI Paolo	ITALIE	MAK 180	VID ; VP ; TP	53
LEDOUX Philippe	FRANCE	SC 200	VP	13
LEGAULT Thierry	FRANCE	SC 300	NEPTUNE 2000	2
LEPRETTE Xavier	FRANCE	SC 200	TP	24
LEROI Teïva	FRANCE/TAHITI	SC 355	TP	5
LOUMAN Patrick	FRANCE	SC 200	TP	5
LUDIVER*	FRANCE	CASS 600	TP	6
MEECKERS Olivier	BELGIQUE	SC 225	TP	13
MELLOT Roger	FRANCE	SC 200	TP	13
MONTOIR Franck	FRANCE	NEWT 600	TP	1
NG Eric	CHINE (Hong Kong)	NEWT 250 ; NEWT 300	TP	44
OUMAMAR Romuald	FRANCE	NEWT 250	DESSIN	5
PEACH Damian	GRANDE- BRETAGNE	SC 280	TP	41
PELLIER Christophe	FRANCE	NEWT 180 ; SC 355	TP ; TP NB ; ATK- IHS	79
PERON Laurent	FRANCE	?	?	6
POIRIER Stéphane	FRANCE	MAK 102	VP ; VP NB	6
POUPEAU Jean- Jacques	FRANCE	SC 300	TP	15
PRETTE Alain	FRANCE	?	?	1
RICHARD Frédéric	FRANCE	?	?	2
RIEUGNIE Marc	FRANCE	NEWT 400	TP	2
ROUSSET Elie	FRANCE/CORSE	SC 250	VP ; VP NB	21
SHERROD Clay	ETATS-UNIS	SC 400	TP	34
STEINMETZ Vincent	FRANCE	SC 200	VP NB	1
TAN Wei Leong	SINGAPOUR	DK 250	TP	16
TRIEL (obs.)	FRANCE	REFRACT ?	?	14
TRONCIN Jean- Pierre	FRANCE	NEWT ?	?	2
UBAUD Stéphane	FRANCE	NEWT 130	TP	2
VEIRMAN Jordi	?	?	?	2
VILADRICH Christian	FRANCE	MAK 200	TP ; TP NB	4
WEILLER Christian	FRANCE	SC 255	VP NB	2
WILLM Francis	FRANCE	SC 200	APN	1

Légende :

- Instruments : NEWT = newton ; CASS = cassegrain ; SC = schmidt-cassegrain ; MAK = maksutov ; DK = Dall-Kirkham ; REFRACT = réfracteur.
- Capteurs : TP = ToUcam Pro ; VP = Vesta Pro ; TP NB = ToUcam capteur noir et blanc ; VID = caméra video. Les caméras CCD classiques sont indiquées par leur appellation propre.

* Les images réalisées à Ludiver le sont par Bruno Daversin, accompagné à l'occasion d'Olivier Labrevoir et Frédéric Mallmann.