

Opposition de Saturne 2006-2007

Saturn at Opposition 2006-2007

Marc Delcroix (delcroix@astrosurf.com)

Coordinateur section Saturne de la commission

des observations planétaires de la SAF (<http://astrosurf.com/planetessaf/saturne>)

Abstract:

This report is an analysis of 2006-2007 Saturn apparition from SAF amateur observations. It concentrates on measuring the latitudes of Saturn's belts and rings characteristics on amateur images, as well as measuring all atmospheric formations observed, focusing on detecting long lived spots and longitude drifts which gives indication on Saturn's jet speeds. In particular one long lived spot in the SEBz zone has been observed all through the apparition. Satellites have also been observed, including a Iapetus transit.

Keywords: Saturn, planet, spot, drift

Introduction

Ce rapport tirera un bilan dans un premier temps des observations reçues à la commission d'observations planétaires. Les mesures effectuées sur les images parvenues à la commission d'observations planétaires de la SAF, ainsi que celles d'observateurs étrangers parvenues directement au coordinateur de la section, ont été réalisées grâce au logiciel WinJUPOS du groupe JUPOS (cf.[a]).

Dans la seconde partie une analyse des bandes et zones observées sur le globe sera faite, ainsi que l'analyse des phénomènes transitoires (spots sombres, blancs, ...), en essayant de détecter ceux avec une longue durée de vie et en déduisant leur dérive et le lien avec les vitesses des courants atmosphériques saturniens

La troisième partie sera consacrée aux divisions et nuances observées dans les anneaux.

Nous aborderons enfin dans une quatrième partie les observations des nombreux satellites de Saturne et de leurs phénomènes.

| Données de l'opposition 2006-2007 de Saturne | | | | | | |
|--|------------|-----------|-----|--------|----------------|--------------|
| Événement | Date | Diam app. | Mag | Décl. | B' déc. soleil | B déc. Terre |
| Conjonction | 2006.08.07 | 16.4" | 0.3 | 17°11' | -16.4° | -16.3° |
| 1 ^{ère} obs. | 2006.09.27 | 16.8" | 0.5 | 15°24' | -15.7° | -13.9° |
| Opposition | 2007.02.09 | 20.3" | 0.0 | 15°31' | -13.8° | -13.9° |
| Dernière obs. | 2007.05.21 | 17.7" | 0.5 | 16°23' | -12.4° | -15.0° |
| Conjonction | 2007.08.21 | 16.2" | 0.6 | 13°13' | -11.0° | -10.9° |

Table 1 : données de l'opposition

Site référence

Pour consulter cet article, d'autres rapports, les galeries d'images parvenues à la SAF, des liens utiles ou des renseignements, allez sur le site officiel de la section saturne de la SAF : <http://astrosurf.com/planetessaf/saturne>

Présentation des images

Toutes les images présentées ici sont orientées suivant les normes de l'IAU : le sud de la planète en haut, le nord en bas, l'est (direction vers laquelle la planète tourne) à gauche et l'ouest à droite.

Opposition 2006-2007

Cette opposition était favorable pour l'observation aux latitudes françaises, avec une altitude maximale autour de 55° (déclinaison à l'opposition de 15°31', cf. Table 1), permettant d'observer la planète relativement haute dans le ciel, rendant les observations moins sensibles à la turbulence et au chromatisme dus à l'atmosphère terrestre.

La déclinaison de la Terre vue de Saturne, B (cf. Table 1), autour de -14° et l'inclinaison de l'axe de rotation de Saturne par rapport à son orbite de 26.7° ont permis de découvrir un peu plus l'hémisphère Nord que lors de l'apparition précédente (cf. [9]), laissant apparaître les premières bandes. Le périhélie a été atteint en juillet 2003.

La longitude solaire vue de Saturne étant entre 323° et 332° sur la période d'observation, il s'agissait de la fin de l'hiver dans l'hémisphère Nord (date équivalente terrestre entre le 10 et le 19 février). Il s'agissait donc de la fin de l'été dans l'hémisphère Sud (date équivalente terrestre entre le 11 et le 21 août), saison suspectée comme propice à une forte activité.

Bilan des observations

Deux cent vingt quatre observations ont été envoyées à la commission par 28 observateurs. Cela reste très modeste par rapport aux contributions pour Jupiter ou Mars. C'est Marc Delcroix qui a envoyé le plus d'observations (26) (cf. Table 2).

Sans surprise, c'est aux mois de février, mars et avril, autour de l'opposition du 9 février 2007 ou juste après au moment où Saturne est haut dans le ciel en milieu de soirée, qu'ont été envoyées le plus de planches avec la meilleure couverture des observations (2/3 des jours observés en février/mars, 83% pour avril) (cf. Table 3).

Les premières observations de l'opposition, de Xavier Dupont et Marc Delcroix datent du 27 septembre 2006, la dernière 8 mois après le 22 mai 2007 de Dave Tyler. Sur toute la période d'observation, les images nous étant parvenues couvrent 46% des nuits. Soulignons que cette couverture est importante, mais gagnerait à être plus systématique au vu de la difficulté de détection des spots saturniens et du côté éphémère de beaucoup d'entre eux.

Prises de vue

Dessin

Seul Nicolas Biver a fourni des dessins réalisés avec un 407mm, montrant un excellent niveau de détail (cf. Figure 1).

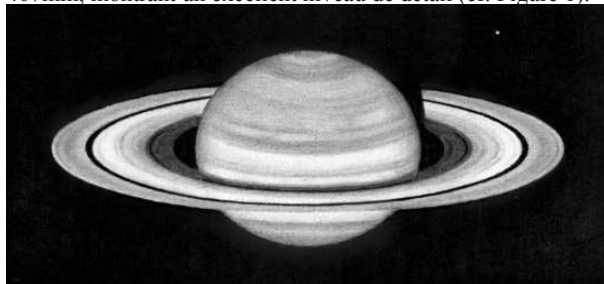


Fig. 1 : Saturne le 2007-04-09 au Newton 407mm, dessin de N. Biver

Imagerie numérique

Si plus de 60% des observateurs utilisent des webcams (plus de 40% avec un capteur noir et blanc permettant d'avoir une meilleure résolution), cette apparition voit une augmentation du nombre de caméras monochromes industrielles utilisées en astronomie, avec 10% d'Imaging Source (DMK) et 29% de Lumenera (075M, SKYnyx 2-0M). Ces caméras spécialisées dans le planétaire, par leur haute sensibilité et leur très grande vitesse d'acquisition se répandent donc de plus en plus, ce qui est intéressant pour Saturne qui est une planète assez peu lumineuse comparée à Mars, Jupiter ou Vénus (cf. Table 4).

Si les webcams couleurs délivrent directement des images couleur, l'utilisation des capteurs noir et blanc varient suivant les utilisateurs, certains réalisant des images RGB montées à partir de 3 acquisitions dans chaque couleur grâce aux filtres adéquats,

d'autres ne présentant que des images en luminance (cad sans filtre), d'autres enfin privilégiant les images prises avec un filtre rouge car moins sensibles à la turbulence et plus détaillées. L'auteur conseille l'utilisation du LRGB : les temps maximum d'acquisition permettant d'imager les détails de Saturne sans que la rotation de la planète ne les étale ne permettent pas de réaliser 3 couches couleurs avec un nombre suffisant d'images, aussi mieux vaut avoir une luminance pour les détails.

Longueurs d'onde hors visible

Seuls trois observateurs ont imagé dans des longueurs d'ondes hors du visible (IR <800nm, >800nm, Violet et UV pour Christophe Pellier, UV et IR >800nm pour Damian Peach, Violet, UV et IR <800nm pour Marc Delcroix).

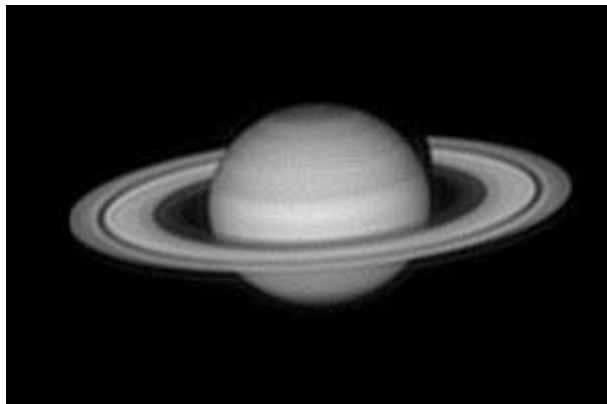


Fig. 2 : Saturne le 2007-03-26 à 21h14TU au Cassegrain 250mm, au travers d'un filtre IR 700nm à la SKYnyx 2-0M. Image de C. Pellier. Notez la finesse des détails observés à cette longueur d'onde, semblables à ce qui est observé sur la couche rouge (non montrée ici) mais à moindre résolution.

| Observateur / mois | 2006-09 | 2006-10 | 2006-11 | 2006-12 | 2007-01 | 2007-02 | 2007-03 | 2007-04 | 2007-05 | Total planches | Total observations |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|-----------------------|
| ADe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 | 2 | 0 | 14 | 11 |
| BDa | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 0 | 9 | 9 |
| CGe | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 5 | 0 | 9 | 7 |
| CGo | 0 | 1 | 5 | 4 | 2 | 4 | 2 | 0 | 0 | 18 | 18 |
| CGu | 0 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 |
| CPe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 3 | 0 | 11 | 10 |
| CVa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| DAR | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 4 | 6 | 7 | 0 | 22 | 21 |
| DPa | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 2 |
| DPe | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 13 | 12 | 0 | 31 | 19 |
| DTy | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 8 | 14 | 33 | 1 | 62 | 25 |
| FDe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| FKi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 | 3 |
| GBe | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 0 | 10 | 10 |
| JBa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| JLe | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| JPo | 0 | 4 | 1 | 0 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 13 | 12 |
| JPr | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| JSa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | 4 |
| MDe | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 6 | 8 | 3 | 26 | 26 |
| MLe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 |
| NBi | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 6 | 6 |
| PCa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 6 | 4 |
| RGa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| RPe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 14 | 2 |
| RVa | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 2 | 8 | 1 | 17 | 14 |
| XDu | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 |
| YAr | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Total | 3 | 12 | 13 | 10 | 30 | 40 | 98 | 93 | 5 | 304 | 224 |
| Total observateurs | 2 | 6 | 5 | 6 | 13 | 14 | 19 | 15 | 3 | 28 | |
| Total jours observés | 1 | 6 | 10 | 7 | 16 | 20 | 21 | 25 | 5 | 111 | |

Table 2: Répartition des observations

Ces longueurs d'ondes permettent d'observer les bandes nuageuses saturniennes à différentes profondeurs (cf. [a]) : l'infrarouge (IR) pour les couches basses (cf Figure 2), puis en passant par le rouge, vert, bleu, violet, l'ultraviolet (UV) pour les couches hautes (cf. Figure 3). Les courtes longueurs d'onde (UV, Violet), permettent de mettre en valeur la partie Nord de Saturne, refroidie par l'inclinaison des rayons solaires en cette période hivernale sur cet hémisphère apparaissant très brillant avec ces filtres. Il faut néanmoins reconnaître que le peu de formations atmosphériques visibles sur Saturne réduit l'intérêt des filtres hors visible par rapport à Jupiter.

115mm, les 22 autres étant entre 200 et 400 mm.

Acquisition

Nous ne reprendrons pas ici les points généraux du chapitre « Acquisition » d'un précédent rapport de l'auteur, cf. [10], mais nous nous concentrerons plutôt sur les spécificités concernant Saturne et cette opposition en particulier.

Cette opposition a vu l'utilisation des caméras planétaires (type DMK, SKYnyx) se répandre chez les observateurs les plus chevronnés. Ces caméras permettent une utilisation du gain très forte sans trop de montée du bruit, permettant de maximiser la fréquence d'acquisition et minimiser le temps d'exposition, et ainsi de mieux s'affranchir de la turbulence.

Par ailleurs, avec leurs hautes cadences, il est possible d'acquérir plusieurs milliers d'images pour une même prise, donc d'additionner plus d'images et d'avoir un résultat avec un meilleur rapport signal/bruit.

Instruments utilisés

Les télescopes utilisés sont à 35% des Schmidt-Cassegrain, à 20% des Newton, et pour le reste des Cassegrain ou dérivés plus spécialisés dans le planétaire (notamment par l'absence de lame de fermeture, source d'aberration chromatique) (cf. Table 4). Six sont des télescopes de diamètre inférieur à 200mm, dont ceux de Guillaume Bertrand et Xavier Dupont avec un miroir de

Fig. 3 : Saturne le 2007-04-20 entre 22h03 et 22h18TU au Schmidt-Cassegrain de 254mm, au travers d'un filtre UV Schüller à la SKYnyx 2-0M. Image de M. Delcroix. Le nord du globe, plongé dans l'hiver plus froid, apparaît très brillant dans ces longueurs d'ondes



| Jour | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | Total |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|----------|----------|-------|
| 2006-09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X (3) | | | | | 03% |
| 2006-10 | | | | | X | | | X (5) | | | | X (2) | | | X (2) | | | | | | | | | | | | | | | X | X | 19% |
| 2006-11 | | X | | X (2) | | | X (2) | | | | | | | | | | | X | X | | X | | | | X | | X | X (2) | X | | | 33% |
| 2006-12 | | | | | | | | X (2) | | | X | | | | | | | | | X | X | | X (3) | | X | | | | X | | | 22% |
| 2007-01 | | | X | | X (2) | X (3) | X (3) | | | X | | | X (3) | | X | | | | | | X | X | | X (4) | | X | X (1) | X | X | | X (4) | 51% |
| 2007-02 | X (2) | | X | X (5) | X (2) | X (6) | X (3) | X | X | X | | X (2) | X | X (3) | X (3) | | X | X | X (2) | X | X (2) | X | | | | | | | X | | | 71% |
| 2007-03 | X | X (5) | X (3) | X (3) | X (7) | X | | | X (5) | X (10) | X (6) | X (2) | X (9) | X (8) | X (6) | X (10) | X (2) | | | | | | | | X (4) | X (4) | X (8) | X (2) | X | | | 67% |
| 2007-04 | | | X | X | X (4) | X (9) | X (5) | X (9) | X (4) | X (2) | X | X (6) | | X (4) | X (2) | X (4) | X (4) | X (10) | X (3) | X (6) | X (4) | X (4) | X (5) | X | X | X (2) | | X | | X (2) | | 83% |
| 2007-05 | | | | | X | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 16% |

Table 3: Couverture des observations

Traitement d'images

Nous ne reprendrons pas ici les points généraux du chapitre "Traitement d'images" d'un précédent rapport de l'auteur, cf. [10], mais nous nous concentrerons plutôt sur les spécificités concernant Saturne et cette opposition en particulier.

Accentuation des détails :

Un traitement classique consiste à faire 2 passages successifs d'ondelettes, d'abord sur les niveaux 2 et 3, puis sur les niveaux les plus fins 1 et 2. Il faut arriver à faire ressortir les détails sans que des artefacts (faux détails provoqués par le traitement) ou le bruit n'apparaissent. Néanmoins les anneaux voient apparaître des artefacts plus rapidement que le globe. Il faut donc se poser

la question de ce qui veut être mis en valeur par l'auteur de l'image : s'il s'agit des bandes atmosphériques et des spots transitoires, il faut davantage traiter l'image au détriment des anneaux.

RGB :

Les capteurs noirs et blancs utilisés avec des filtres couleurs permettent d'acquérir 3 images couleur, qui peuvent alors être composées ensemble pour recréer une image couleur. Il faut faire attention lors de ce compositage à bien caler les couches couleur entre elles (en surveillant par exemple si elles débordent du globe).

Réglages finals :

Les couleurs peuvent être retouchées de manière à ce que le ciel soit noir, et que la partie extérieure de l'anneau B apparaisse blanche.

Détection des détails atmosphériques de Saturne :

La visibilité des spots et autres détails sur le globe de Saturne est beaucoup plus difficile que sur Jupiter, ceci étant dû à la haute atmosphère de Saturne plus opaque cachant plus les détails des bandes et spots.

Pour les mettre en valeur, une bonne approche est de réaliser une image dédiée (plutôt une luminance ou une image dans le rouge) avec un traitement très fort même s'il n'est pas esthétique, par contraste très renforcé, ou par un traitement en poussant les ondelettes moyennes (de niveau 3).

Même avec ces traitements, confirmer un spot reste difficile. Trois solutions sont possibles :

- Effectuer plusieurs images espacées dans la nuit, pour observer la rotation du spot suspecté avec Saturne (on pourra vérifier avec WINJupos que le spot tourne en gardant la même latitude/longitude)
- Comparer avec des images d'autres observateurs faites la même nuit : si le spot est retrouvé à la même latitude/longitude sur d'autres images, c'est qu'il est probablement réel
- Comparer avec les mesures des latitudes/longitudes de spots observés plus tôt dans l'opposition. Si le même spot a pu être observé à plusieurs reprises, le coordinateur de section aura pu calculer sa dérive, et prévoir sa position au moment de l'observation. Si la position du spot suspecté est similaire à celle prévue, le spot est probablement réel.

| Observateur | | | Télescope | | Capteur | | | | |
|-------------|------------------------|-----------------|-----------|---------------|--------------------|---------------|-----------|-----------|----|
| Code | Nom | Pays | mm | Type | Caméra | N&B/Couleur | IR <800nm | IR >800nm | UV |
| ADe | André Debackère | France | 180 | Maksutov | Webcam | Couleur | | | |
| BDA | Bruno Daversin | France | 305 | Cassegrain | DMK | N&B | | | |
| CGe | Christophe Gervier | France | 150 | Maksutov | Webcam/DMK | Couleur/N&B | | | |
| CGo | Christopher Go | Philippines | 280 | SC | DMK | N&B | | | |
| CGu | Christophe Guillou | France | 300 | Cassegrain | Webcam | N&B | | | |
| CPe | Christophe Pellier | France | 250 | Mewlon | SKYnyx 2-0M | N&B | x | x | x |
| CVi | Christian Viladrich | France | 200 | SC | Webcam | N&B | | | |
| DAR | Dave Arditti | Grande-Bretagne | 280/250 | SC/Cassegrain | Webcam | N&B | | | |
| DPA | Don Parker | Etats-Unis | 400/250 | Newton/Mewlon | SKYnyx 2-0M | N&B | | | |
| DPe | Damian Peach | Grande-Bretagne | 350 | SC | SKYnyx 2-0M | N&B | | x | x |
| DTy | Dave Tyler | Grande-Bretagne | 350 | SC | Lumenera 075M | N&B | | | |
| FDe | Francois Debricon | France | 200 | SC | Webcam | Couleur | | | |
| FKi | Florent Kintz | France | 250 | Mewlon | Lumenera 075M | N&B | | | |
| GBe | Guillaume Bertrand | France | 114 | Newton | Webcam | N&B | | | |
| JBa | Jean-Christophe Bayard | France | 250 | Mewlon | Webcam | Couleur (raw) | | | |
| JLe | Jean-Marc Leclaire | France | 250 | Cassegrain | SKYnyx | N&B | | | |
| JPo | Jean-Jacques Poupeau | France | 300 | SC | SKYnyx 2-0M/Webcam | N&B | | | |
| JPr | Jean-Pierre Prost | France | 250 | Mewlon | Webcam | Couleur | | | |
| JSa | Javier Sanchez | Espagne | 280/250 | SC Cassegrain | Webcam | Couleur | | | |
| MDe | Marc Delcroix | France | 250 | SC | Webcam/SKYnyx 2-0M | Couleur (raw) | x | | x |
| MLe | Michel Lecompte | Grande-Bretagne | 245 | Newton | Webcam | Couleur | | | |
| NBi | Nicolas Biver | France | 407 | Newton | Dessin | - | | | |
| PCa | Paolo Casquinha | Portugal | 250 | Newton | SKYnyx | 2-0M | | | |
| RGa | Richard Galli | France | 225 | SC | DMK | N&B | | | |
| RPe | Romain Pechereau | France | 180 | Mewlon | Webcam | N&B/Couleur | | | |
| RVa | Ralph Vandenberg | Pays-Bas | 180 | Newton | Webcam | N&B | | | |
| XDu | Xavier Dupont | France | 115 | Newton | Webcam | Couleur | | | |
| YAr | Yohan Archambaud | France | 200 | Maksutov | Webcam | N&B | | | |

Table 4: Caractéristiques des observateurs SC= Schmidt-Cassegrain





























| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| ADe, André Debackère (FR) 2007-03-25 180mm, webcam couleur | BDa, Bruno Daversin (FR) 2007-04-18 305mm, DMK | CGe, Christophe Gervier (FR) 2007-04-16 150mm, webcam couleur | CGo, Christopher Go (Philippines) 2006-12-21 280mm, DMK |
|  |  |  |  |
| CGu, Christophe Guillou (FR) 2007-01-07 300mm, webcam n&b | CPe, Christophe Pellier (FR) 2007-03-27 250mm, SKYnyx n&b | CVi, Christian Viladrich (FR) 2007-03-15 200mm, SKYnyx n&b | Dar, David Arditti (UK) 2007-01-31 280mm, webcam n&b |
|  |  |  |  |
| Dpa, Don Parker (USA) 2007-01-08 400mm, SKYnyx n&b | DPe, Damian Peach (UK) 2007-04-06 350mm, SKYnyx n&b | DTy, Dave Tyler (UK) 2007-04-07 350mm, Lumenera n&b | FDe, François Debricon (FR) 2007-04-20 250mm, webcam couleur |
|  |  |  |  |
| FKl, Florent Kintz (FR) 2007-04-06 250mm, Lumenera n&b | GBe, Guillaume Bertrand 2007-04-05 114mm, webcam n&b | JBa, Jean-Christophe Bayard 2007-03-01 250mm, webcam couleur | JLe, Jean-Marc Lecleire (FR) 2007-01-07 250mm, SKYnyx n&b |
|  |  |  |  |
| JPo, Jean-Jacques Poupeau (FR) 2007-01-26 300mm, SKYnyx n&b | JPr, Jean-Pierre Prost (FR) 2007-02-04 250mm, webcam couleur | JSa, Javier Sanchez (ES) 2007-03-11 280mm, webcam couleur | MDe, Marc Delcroix (FR) 2007-04-09 250mm, SKYnyx n&b |
|  |  |  |  |
| MLe, Michel Lecomte (UK) 2007-03-27 245mm, webcam couleur | NBi, Nicolas Biver (FR) 2007-03-12 407mm, dessin | PCa, Paolo Casquinha (PT) 2007-03-17 250mm, SKYnyx n&b | RGe, Richard Gali (FR) 2007-02-15 225mm, DMK n&b |
|  |  |  |  |
| RPe, Romain Pechereau (FR) 2007-03-16 180mm, webcam n&b | RVa, Ralf Vanderberg (NL) 2007-04-10 180mm, webcam n&b | XDu, Xavier Dupont (FR) 2006-12-09 115mm, webcam couleur | YAr, Yohann Archambaud (FR) 2006-10-08 200mm, webcam n&b |

Table 5: Observateurs de l'opposition 2006-2007

Globe de Saturne

La dénomination des différentes zones visibles sur le globe de Saturne est visible sur la Figure 4. La déclinaison de la Terre vue de Saturne, B (cf. Table 1), était autour de -14° . C'est pour cela que si l'hémisphère Sud de Saturne était correctement visible, seule une partie de l'hémisphère Nord était visible, découvrant lors de cette apparition les parties équatoriales Nord, non visibles ces dernières années car cachées par les anneaux très ouverts.

De nombreuses zones et bandes ont été observées lors de cette opposition. La Table 6 indique ces mesures. Moins le nombre de mesures est important, plus il a été difficile d'observer la bande/sous-bande/zone en question.

Système de coordonnées
Système de longitude:
Si trois systèmes différents existent, seul le système III (calé approximativement sur la rotation du champ magnétique de Saturne, donc de son noyau) est utilisé ici pour faciliter les comparaisons avec les données des astronomes professionnels, notamment venant de la sonde Cassini
Système de latitude :
Les mesures sont réalisées dans le système planétographique, le système utilisé par le logiciel WINjupos. Les données des astronomes professionnels étant souvent exprimées dans un système planétocentrique, en cas de comparaison les latitudes seront exprimées dans les 2 systèmes.

L'hémisphère Nord s'est découvert par rapport à l'opposition précédente (cf. [9]), découvrant une partie de la bande équatoriale nord - NEB – et la partie nord tropicale et tempérée – NTeB - au travers d'une couche atmosphérique bleutée provoquée par les températures d'hiver encore en vigueur dans cet hémisphère (cf. Figure 4), effet accentué par l'ombre des anneaux : ceci

| Bande/ Zone | Latitude planétographique du bord Nord (°) | Ecart Type | Nombre de mesures |
|----------------|--|---------------|-------------------------|
| SPC | -87,280 | 1,240 | 5 |
| SPB | -82,680 | 1,558 | 5 |
| SPR | -72,060 | 1,118 | 15 |
| SSTeZ | -64,807 | 2,843 | 14 |
| SSTeB | -61,509 | 1,631 | 11 |
| | -53,240 | 0,532 | 5 |
| | -49,311 | 0,937 | 9 |
| STeB | -45,650 | 0,562 | 10 |
| | -42,167 | 0,351 | 3 |
| | -39,921 | 0,743 | 14 |
| STrZ | -36,213 | 0,925 | 15 |
| SEBs | -31,238 | 0,578 | 13 |
| SEBz | -26,593 | 1,207 | 15 |
| SEBn | -18,953 | 0,597 | 15 |
| | -14,260 | 0,422 | 5 |
| | -12,200 | | 1 |
| EZs | -10,593 | 0,851 | 15 |
| | -6,240 | 0,297 | 5 |
| EB | 0,514 | 0,325 | 14 |
| NEBz | 30,080 | 0,771 | 15 |
| | 33,500 | | 1 |
| NEBn | 36,527 | 0,936 | 11 |
| | 38,700 | | 1 |
| | 42,167 | 0,651 | 3 |
| NTeB | 46,142 | 1,657 | 12 |
| | 51,871 | 1,257 | 7 |

Table 6: Visibilité et latitudes des bandes et zones observées sur 15 images de qualité de l'opposition.

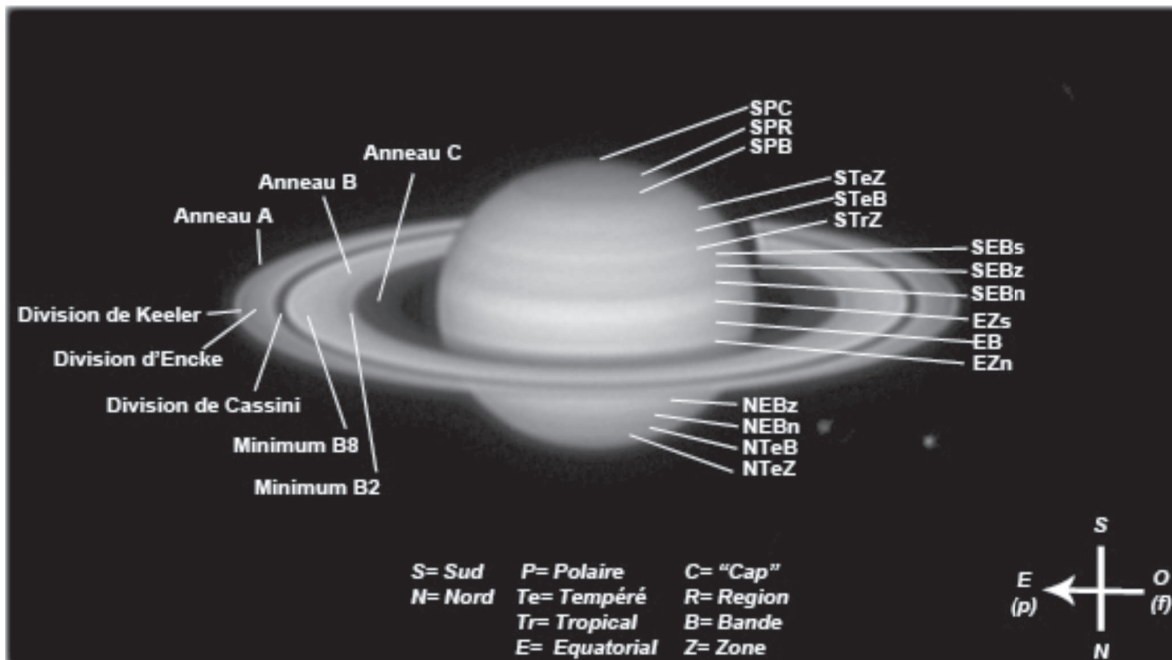


Fig. 4 : Nomenclature générale du globe et des anneaux de Saturne (sur une image prise le 14 mars 2007 par M.Delcroix avec un SCT 254mm et webcam)

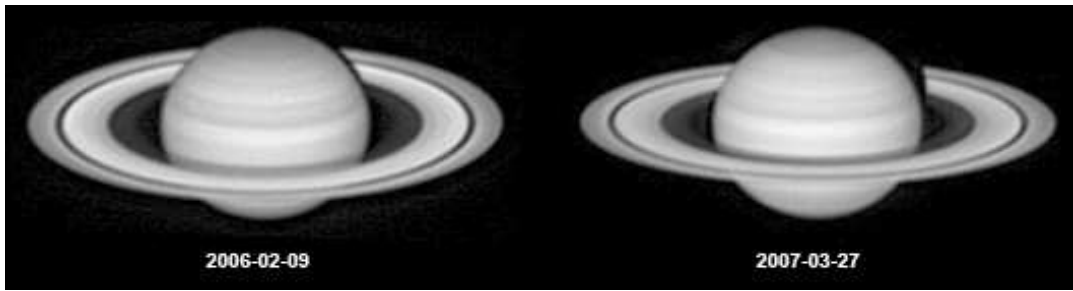


Fig. 5 : Evolution de l'aspect de Saturne entre l'opposition 2005-2006 et 2006-2007, alors que l'hémisphère Nord approche de la fin de l'hiver et l'hémisphère Sud de la fin de l'été. Notez la couleur bleue prononcée de l'hémisphère Nord en 2006, beaucoup plus discrète en 2007. La blancheur des anneaux en 2006 est due à l'effet d'opposition. Images RGB de C.Pellier, au Mewlon 210mm à F/40 avec Lumenera 075M en 2006, Cassegrain 250mm à F/32 avec SKYnyx 2-0M en 2007.

ferait que cet hémisphère Nord aurait moins de nuages de haute altitude, laissant donc pénétrer les rayons solaires plus profondément dans l'atmosphère, avec au passage une diffusion des longueurs d'ondes dans le bleu appelé diffusion de Rayleigh (cf. observations par la sonde Cassini, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06177>)

Entre l'opposition 2005-2006 et l'opposition 2006-2007, la partie visible de l'hémisphère Nord est passée d'une couleur bleue foncée à une couleur bleue beaucoup plus pâle, laissant même apparaître une zone équatoriale jaune juste au nord des anneaux. Ceci est sans doute dû au fait que l'hémisphère Nord se réchauffe doucement, arrivant en fin d'hiver (cf. Figure 5).

Repartition en latitude des spots de l'opposition 2006-2007 de Saturne

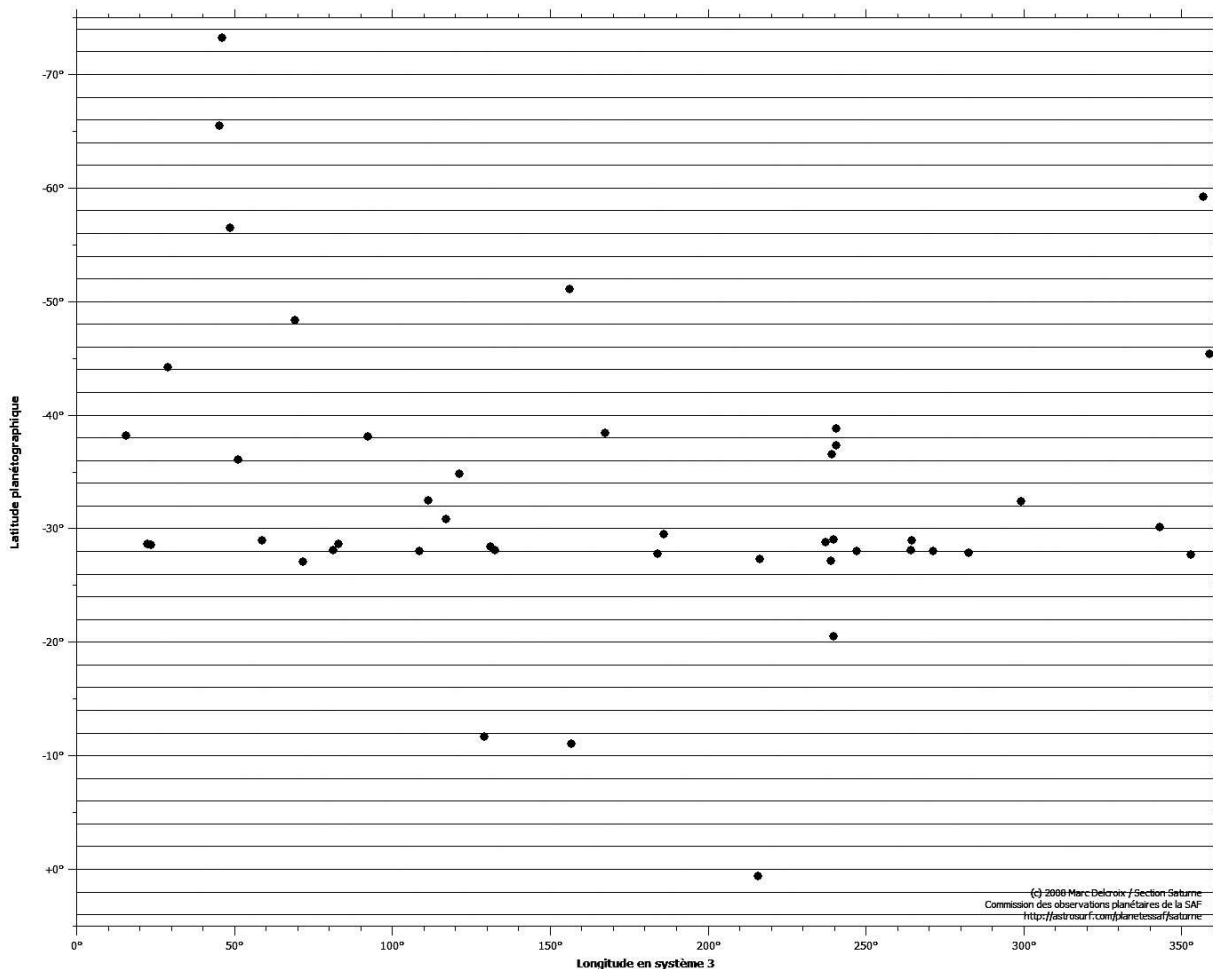


Fig. 6 : Répartition en latitude de toutes les perturbations atmosphériques mesurées de l'opposition 2006-2007 de Saturne.

Formations atmosphériques

Environ 60 mesures de perturbations atmosphériques (spots clairs, sombres, projections) ont pu être réalisées lors de cette opposition, dont 45 concernant des spots (cf. Figure 6).

On constate (cf. Figure 8) que les zones principales actives (où sont observées les perturbations) sont :

- o la bande équatoriale Sud (SEBz et SEBs, autour de -28.5° soit -23.8° planétocentrique)
- o la zone tropicale Sud (STrZ, autour de -37° , soit -31.5° planétocentrique)

Etant donné l'inclinaison de la planète, les zones au sud de la latitude -75° ou au nord de 40° de latitude sont probablement trop peu visibles pour que des formations atmosphériques y soient détectées par les astronomes amateurs.

Par ailleurs, la zone approximativement entre -5 et -25° est cachée par les anneaux, mais la zone entre -25 et -40° de latitude est probablement réellement moins active (aucun spot observé) que l'hémisphère Sud, ceci étant sans doute dû à l'hiver régnant dans cette zone, trop froide pour alimenter en énergie des formations nuageuses transitoires.

Fig. 7 : Spot de la SEBz venant de passer le méridien, par Damian Peach le 14 mars 2008 à 20h00 TU

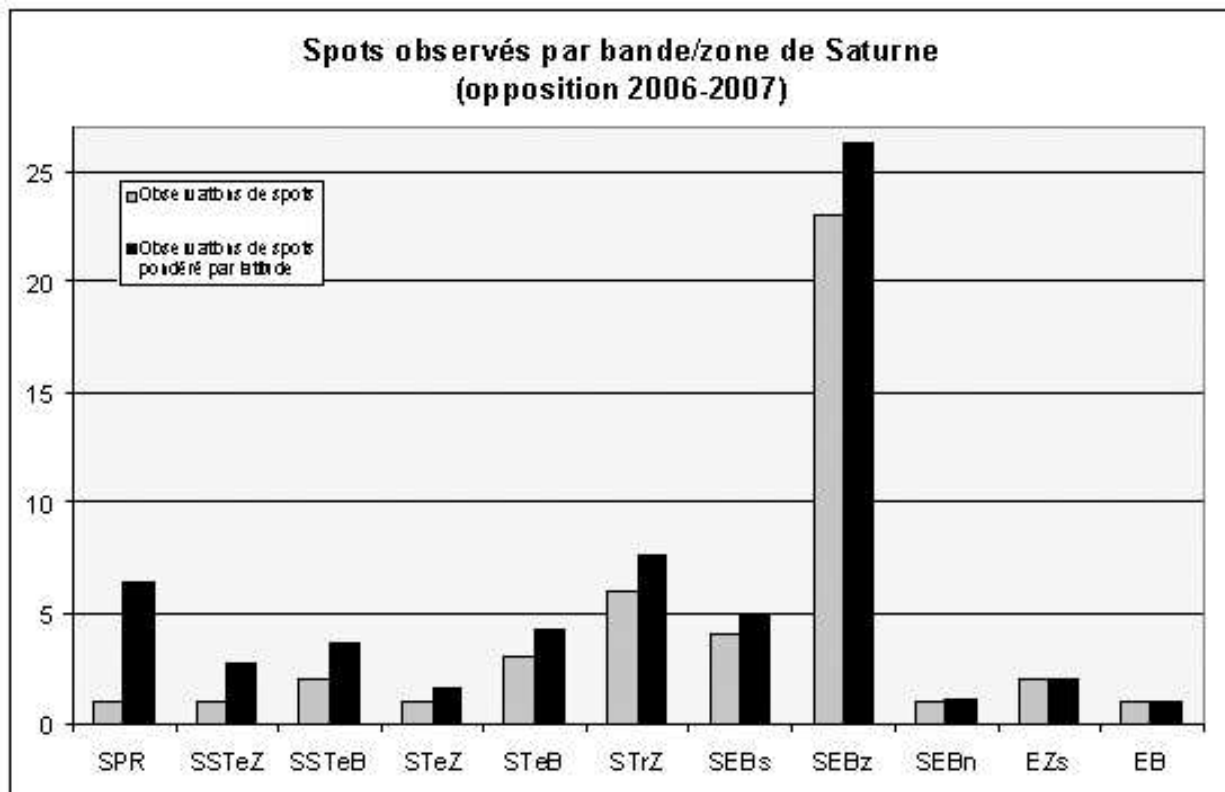
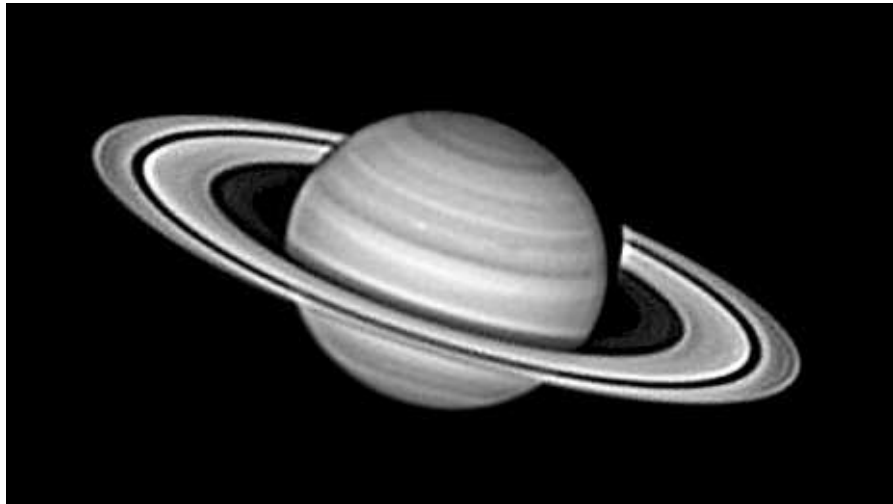


Fig. 8 : Nombre de spots observés par bande/zone de Saturne lors de l'opposition 2006-2007. Les barres de gauche correspondent à une pondération (par \cos de la latitude) pour prendre en compte le fait qu'aux latitudes importantes, l'inclinaison de la surface de Saturne vue de la Terre rend l'observation de spots plus difficile.

Spot de la SEBz

Un spot remarquable a pu être observé tout au long de l'apparition (du 8 octobre 2006 au 27 avril 2007, 23 observations), dans la zone entre la bande Nord et la bande Sud de la bande équatoriale Sud (cf. Figure 7).

La dérive de ce spot, situé à -28.5° de latitude (-23.8° planétocentrique) a été mesurée (par la méthode des moindres carrés, en écartant 4 mesures non cohérentes) à (cf. Figure 10) :

$$-7.0778^\circ/\text{j} (+/- 0.0094^\circ/\text{j}) \text{ LIII}$$

$$\text{soit } 77.359 \text{ m/s } (+/- 0.165 \text{ m/s}) \text{ LIII}$$

Méthode de calcul des dérivées des formations

Les calculs de dérivées des formations saturniennes ont tous été réalisés de la manière suivante :

1. Mesure de la longitude des formations sur les images parvenues à la commission, en écartant les formations trop peu évidentes et les formations visibles uniquement sur des images apparemment surtraitées sans qu'elles se devinent sur des images normalement traitées
2. Calcul d'un graphique de dérivées sous WinJupos (cf. <http://www.grischa-hahn.homepage.t-online.de/astro/winjupos/>)
3. Écartement des mesures non cohérentes sur ce graphique
4. Calcul de la dérive par régression linéaire sur l'ensemble des mesures finalement retenues (avec un minimum de 3 mesures)

Cette mesure est complètement cohérente avec le profil des vents saturniens dérivés d'images de Cassini en 2004/2005 – à cette latitude en prenant en compte les marges d'erreurs, le vent mesuré (au travers des filtres CB2/CB3 passe-bande dans l'infrarouge) étant de (cf.[14]):

$$76.2 \text{ m/s } (+/- 14.6 \text{ m/s}) \text{ LIII}$$

A noter que celle dérivée des images des sondes Voyager est bien plus importante (cf. [16]), le jet correspondant a dû ralentir entre les années 80 et 2000:

$$90.2 \text{ m/s } (+/- 12.6 \text{ m/s}) \text{ LIII}$$

Huit mesures de l'étalement de ce spot en longitude ont donné le résultat suivant, assez peu précis :

$$7.8^\circ (+/- 1.9^\circ) \text{ LIII}$$

$$\text{soit } 7732 \text{ km } (+/- 1871 \text{ km})$$

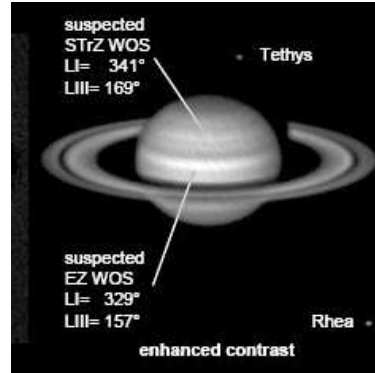


Fig. 9 : Spot dans l'allée des tempêtes (en haut), et dans la zone équatoriale sud (EZs) le 7 avril 2007 à 21h38 TU, au SC 254mm, au travers d'un filtre L à la SKYnyx 2-0M. Image de M. Delcroix. Image dont le contraste a été renforcé pour mettre en évidence les spots.

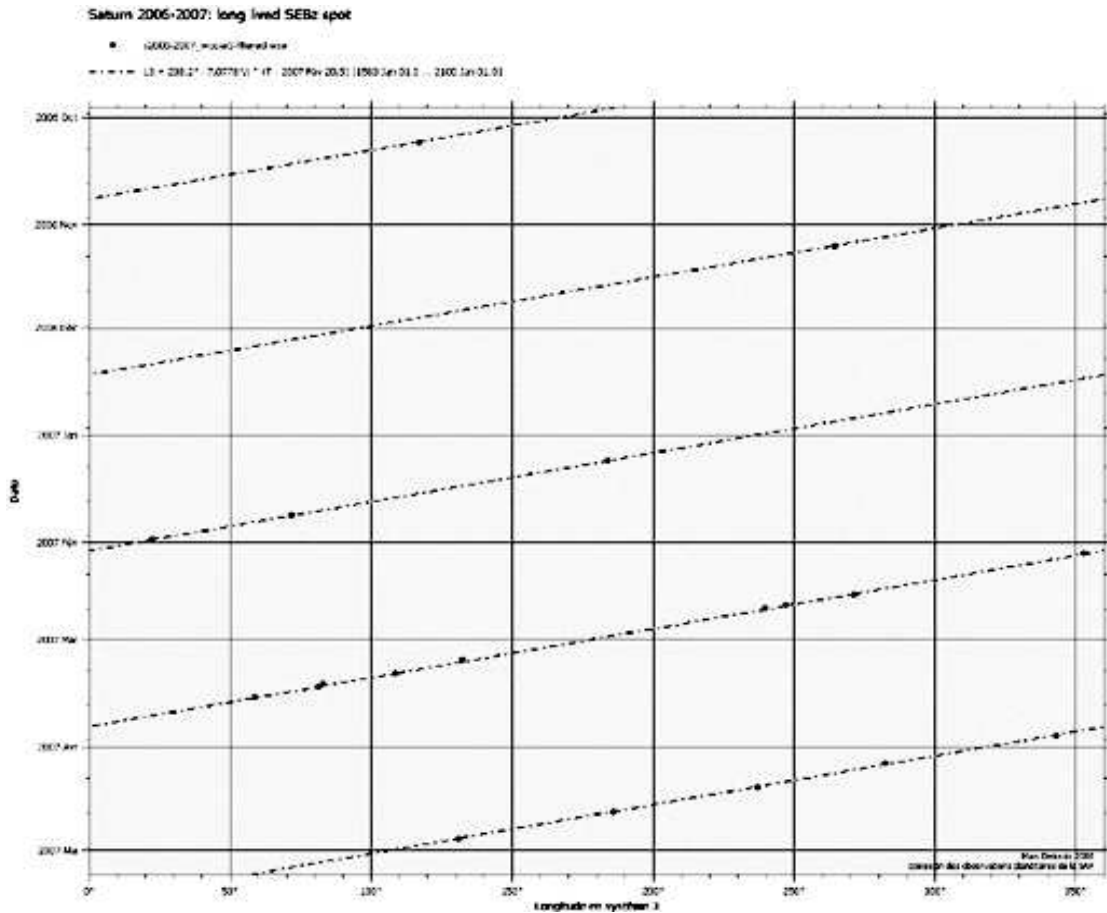


Fig. 10 : Spot de la SEBz observé tout au long de l'apparition 2006-2007. La ligne rouge pointillée est la dérive du spot calculée par la méthode des moindres carrés.

Allée des tempêtes - South Tropical Zone (STrZ)

Dans l'allée des tempêtes (STrZ), des spots blancs ont pu être observés à 6 reprises (cf. Figure 9). Néanmoins l'instrument RPWS (Radio Plasma Wave System) de la sonde Cassini n'a pas observé lors de cette apparition de décharges électrostatiques (Saturn Electrostatic Discharge, SED) qui seraient liées à de la foudre, ce qui pourrait être lié au fait que ces spots n'étaient pas très actifs.

Autres spots remarquables :

Région polaire : L'ouragan du pôle sud de Saturne, observé

par la sonde Cassini (cf. Figure 12), est visible sur les meilleures images de l'opposition (cf. Figure 11), ce qui est encore possible étant donné l'inclinaison de Saturne qui découvre plus facilement l'hémisphère sud.

Un spot sombre a été observé par deux fois dans la région polaire les 6 et 18 avril 2007 (cf. Figure 11). D'autres spots blancs ont été observés, l'un d'entre eux d'un allongement en longitude de 9478 km.

Entre la région polaire et l'allée des tempêtes

Sept spots sombres ou blancs ont été observés entre la région polaire et l'allée des tempêtes. Deux d'entre eux ont un allongement mesuré en longitude de 14567 km et 9877 km.

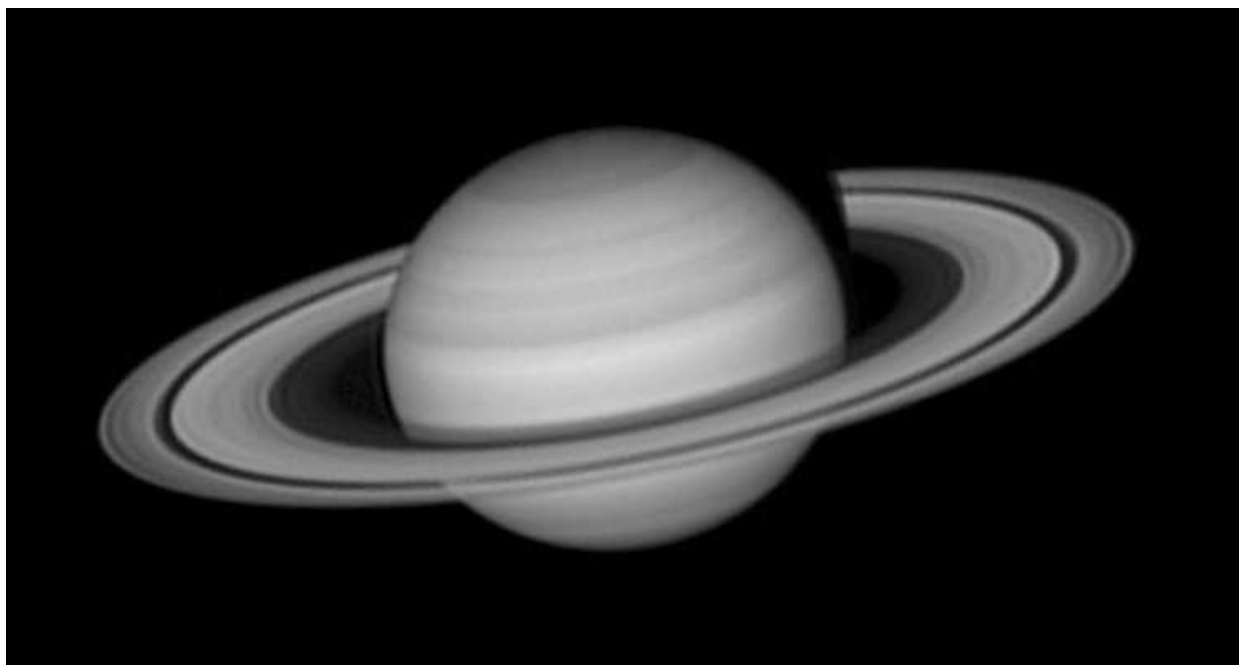


Fig. 11 : Très belle image de Saturne le 18 avril 2007 à 19h57TU, prise par Damian Peach. On distingue clairement l'ouragan du pôle sud (petit disque sombre juste au pôle en haut), ainsi qu'un petit spot sombre sur le bord de la région polaire, à gauche sur le bord est de Saturne, juste en dessous de la zone orangée.

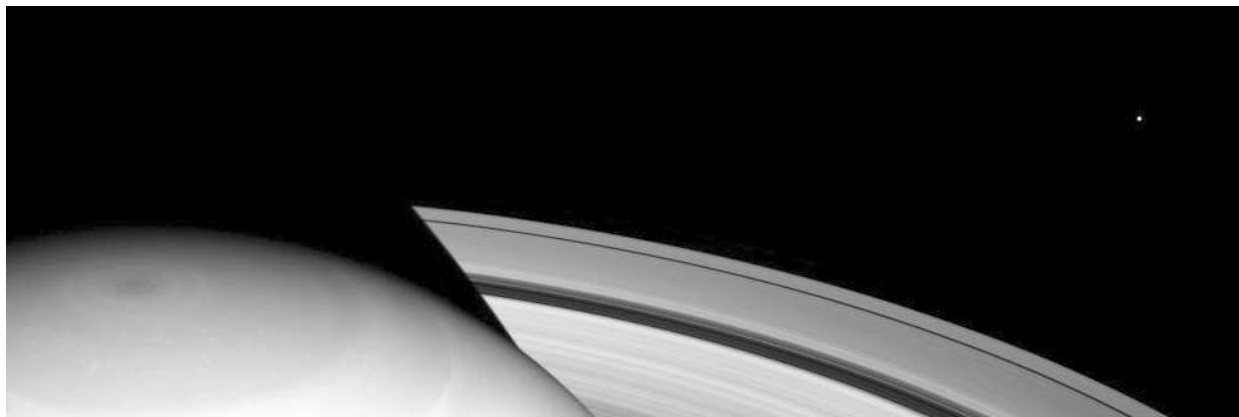


Fig. 12: Image RGB du pôle sud de Saturne, découvrant l'ouragan au pôle, prise par la sonde Cassini le 20 février 2007. Cette vue est à comparer avec la Figure 11.
© NASA/JPL/Space Science Institute (cf. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA08367>)

Bandes équatoriales Sud

En plus du spot persistant de la SEBz, plusieurs spots sombres et blancs ont été observés, à 6 reprises dans la partie sud de la SEB (SEBn), (cf. Figure 13). Deux projections verticales sombres ont également été observées.

Zone équatoriale Sud

Quelques spots blancs ont été observés à 4 reprises entre la SEB et l'ombre de l'anneau sur l'hémisphère sud, cf. Figure 9).

Anneaux de Saturne

La déclinaison de la Terre vue de Saturne, B (cf. Table 1),

était autour de -14° . Les anneaux étaient donc un peu plus fermés que lors de l'opposition précédente (B autour de -19°).

Les mesures des positions de chaque anneau et de toutes les divisions/séparations visibles sont présentées en Table 7. La mesure des divisions/minima est réalisée en séparant l'anneau dans lequel se trouve la division en 10 parties égales en partant de l'intérieur de l'anneau vers l'extérieur. Ainsi la division B2 se trouve à 20% de l'anneau B en partant de l'intérieur de l'anneau. Nous allons maintenant voir plus en détail tout ce qui peut être observé sur les anneaux.

Effet d'opposition

Autour de l'opposition, les anneaux paraissent plus brillants,

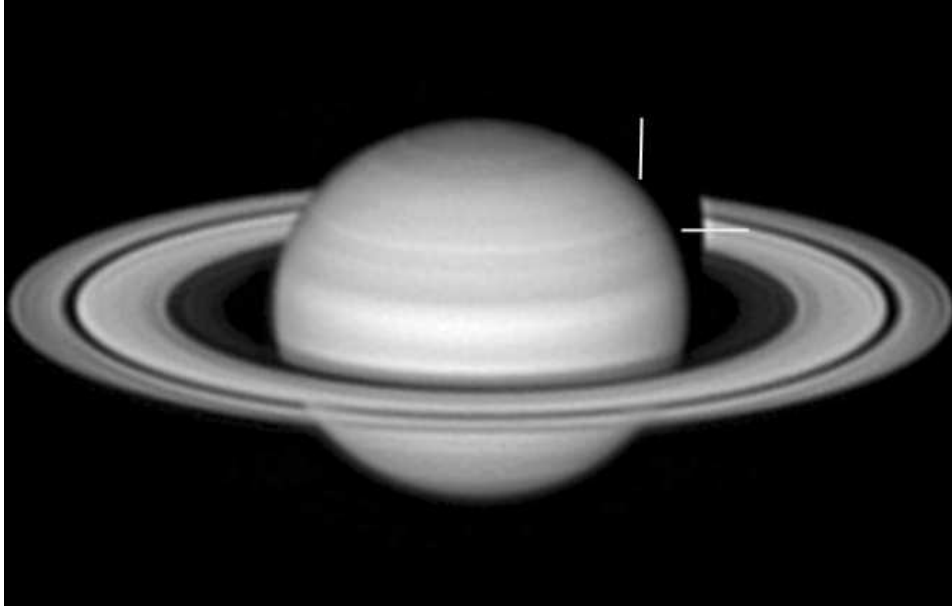


Fig. 13 : Spot sombre de la SEBs, image de D. Tyler le 14 avril 2007, à 20h50TU

comme constaté sur la Figure 15. L'augmentation de luminosité maximale des anneaux (relative par rapport au globe) entre 16 jours avant et 5 jours après l'opposition est de l'ordre de 7% pour l'anneau A et 9% pour l'anneau B.

| Objet des anneaux pouvant correspondre | Distance (diamètre saturnien) | Ecart Type | Position relative | Ecart Type | Nombre de mesures |
|--|-------------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|
| A10 | -2,258 | 0,011 | 1,00 | 0,000 | 14 |
| Division d'Encke ? | -2,213 | 0,013 | 0,80 | 0,031 | 11 |
| Minimum Encke | -2,153 | 0,017 | 0,54 | 0,065 | 7 |
| A0 | -2,018 | 0,011 | 0,00 | 0,000 | 14 |
| B10 | -1,945 | 0,011 | 1,00 | 0,000 | 14 |
| B8b | -1,876 | 0,016 | 0,85 | 0,037 | 10 |
| B8a | -1,854 | 0,018 | 0,77 | 0,027 | 4 |
| B5 | -1,771 | 0,016 | 0,60 | 0,032 | 10 |
| B3 | -1,636 | 0,015 | 0,27 | 0,019 | 14 |
| B0 | -1,520 | 0,010 | 0,00 | 0,000 | 14 |
| C | -1,453 | 0,012 | 0,76 | 0,031 | 4 |
| C | -1,413 | 0,032 | 0,64 | 0,087 | 2 |
| C | -1,375 | 0,030 | 0,51 | 0,086 | 2 |
| C0 | -1,244 | 0,015 | 0,00 | 0,000 | 11 |

Table 7: Mesure des positions des anneaux et divisions

La sonde Cassini a observé cet effet le 21 août 2006, l'effet se traduisant de la faible distance de la sonde comme une petite zone brillante sur les anneaux. Cet effet a deux raisons :

- L'ombre des particules composant l'anneau n'est pas visible sur les particules voisines lorsque Saturne, la Terre et le Soleil sont alignés (effet Seeliger)
- La rétrodiffusion de la lumière solaire est amplifiée par un effet de cohérence des champs électriques et magnétiques

Anneau C

Celui-ci fut visible visuellement dès que la turbulence le permettait, tranchant d'un beau gris-noir sur le fond du ciel. Il est visible sur l'ensemble des images, présentant parfois partiellement une coloration bleutée ce qui est sûrement un artefact.

La partie intérieure plus sombre apparaît (notamment aux anses) sur la Figure 2, Figure 11 et Figure 13 C'est en fait quatre zones distinctes qui semblent apparaître sur ces deux dernières figures : une zone sombre s'étendant de C0 à C5, une plus claire de C5 à C6, une division sombre de C6 à C8, et une zone plus claire de C7 à B0 (cf. Table 7). Cet anneau, peu dense (raison de sa couleur sombre), laisse passer par transparence la vue du globe à son travers (cf. Figure 11).

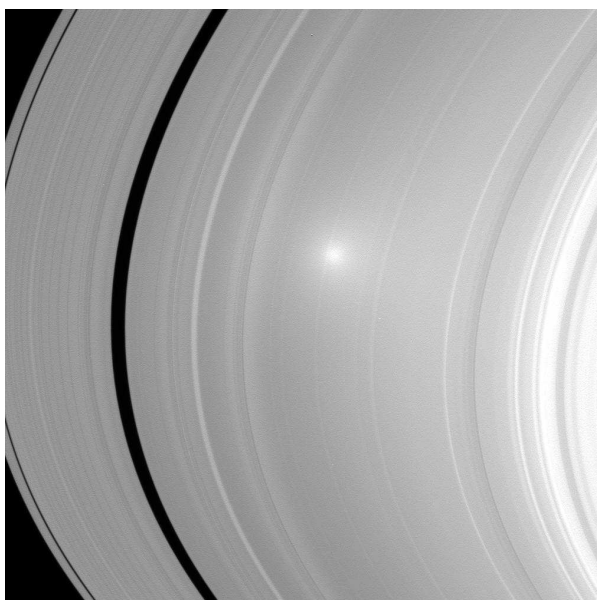


Fig. 14 : Effet d'opposition observé de la sonde Cassini (avec le Soleil juste derrière la sonde) sur l'anneau A le 23 juillet 2006 en lumière visible. © NASA/JPL/Space Science Institute (cf. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA08247>)

Anneau B

C'est l'anneau le plus brillant. Les 2/3 les plus proches du globe sont plus sombres (grisâtres) que le tiers extérieur (blanc), comme vu sur l'ensemble des images. Un minimum B3 (cf. mesure Table 7) gris sombre est visible sur les anses de la Figure 11 et de la Figure 16. L'anneau devient ensuite un peu plus clair, avec une petite zone plus sombre en B5, jusqu'au minimum B8, zone plus sombre tranchant avec la dernière partie très brillante de l'anneau B jusqu'à la division de Cassini (cf. Figure 11 et Figure 13).

Division de Cassini (A0 ou B10)

Elle est visible tout au long de l'anneau sur toutes les images. Le globe de Saturne est visible au travers de la division sur les meilleures images de l'opposition (cf. Figure 11 et Figure 13).

Anneau A

La partie intérieure de l'anneau est plus claire que son centre, grisâtre. La partie extérieure semble parfois également plus brillante par endroits (cf. Figure 16). Le minimum d'Encke semble visible d'un gris sombre en A5 (cf. mesure Table 7), sur les anses de certaines images. Enfin la division d'Encke pourrait être visible, très fine et gris clair, mesurée en A8, mais selon toute probabilité il s'agit plutôt d'artefacts créés par les traitements d'images appliqués sauf peut-être sur les toutes meilleures images.

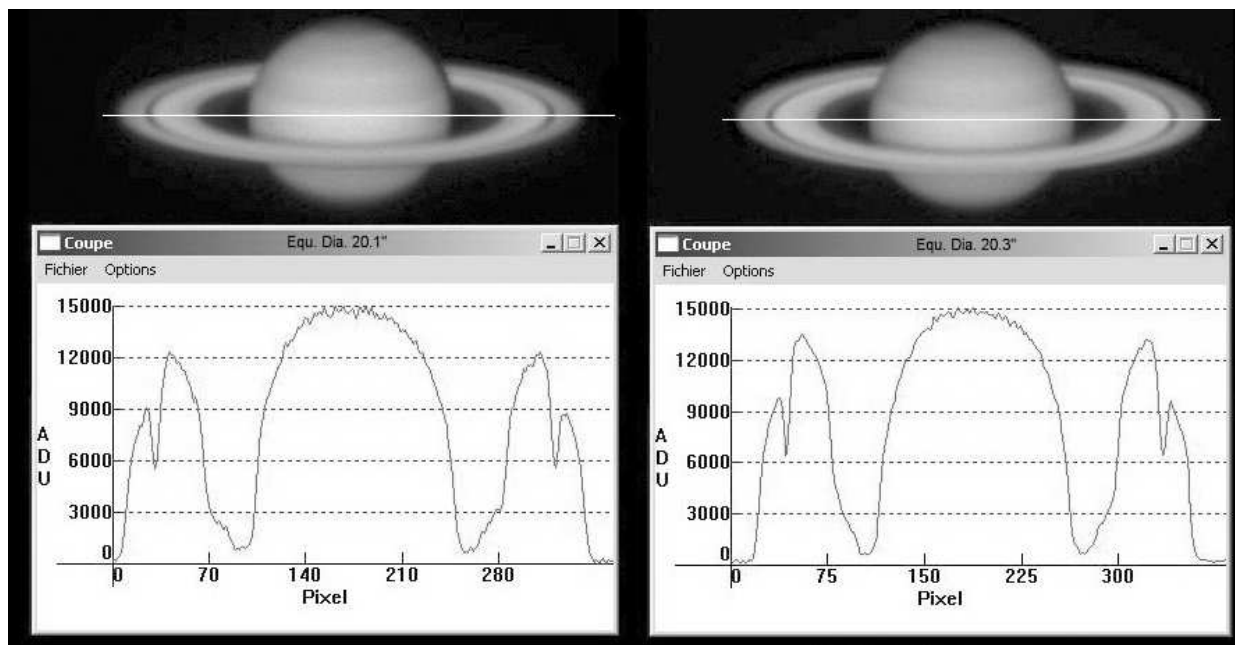


Fig. 15 : Coupe photométrique horizontale de Saturne avant l'opposition à gauche (le 24 janvier 2007 à 01h27TU) et 5 jours après l'opposition à droite (le 14 février 2007 à 23h27TU) ; l'effet d'opposition est bien visible, avec les anneaux A et B plus brillants proche de l'opposition. Prises de vue avec SKYnyx 2-0M, filtre rouge 25Å et barlow x3 avec un Schmidt Cassegrain de 12" par Jean-Jacques Poupeau.

Ombre des anneaux sur le globe

L'ombre des anneaux sur le globe ne peut être visible que lorsque $B' < B$ (cf Table 1) (c.-à-d. lorsque la Terre est au-dessous du Soleil vu de Saturne). C'est le cas avant l'opposition sur la Figure 17, où l'on voit cette ombre projetée sur le globe au

Nord de l'anneau. Après l'opposition, l'ombre se confond sur les images avec l'anneau C passant devant le globe, comme vu sur les Figure 11 et Figure 13, où l'on voit au Nord une très fine ombre très noire entre l'anneau B et l'anneau C plus transparent laissant passer la vue du globe.

Ombre du globe sur les anneaux

Celle-ci est visible à l'Est du globe avant l'opposition (cf. Figure 17), très peu visible autour de l'opposition (cf. Figure 15) et de plus en plus visible à l'Ouest du globe après l'opposition (cf. autres images)

Satellites de Saturne

Les huit satellites « classiques » (Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan, Japet et Hyperion) ont pu être observés lors de cette apparition, (cf. Figure 16 et Figure 18). Leurs caractéristiques et les techniques d'imagerie adéquates sont décrites dans l'article [11].

Passage de Japet

Le 7 janvier 2007, Japet, malgré l'inclinaison de son orbite, est passé devant Saturne par jeu de perspective et dû au fait que Saturne était incliné de l'ordre de -13° . Ce transit a pu être imagé par 5 amateurs. Notez sur l'image de C.Guillou (cf. Figure 17) que Japet apparaît sombre, dû à son faible albédo. Cet albédo

devait être au moment du transit de l'ordre de 0,27. En effet l'hémisphère frontal (dans la direction du mouvement de Japet sur son orbite) a un albédo de l'ordre de 0,5, l'autre hémisphère un albédo de l'ordre de 0,05, et lors du passage de Japet entre Saturne et la Terre, nous voyons une moitié de chaque hémisphère, Japet se déplaçant perpendiculairement à l'axe de visée Terre/Saturne.

Conclusion

Si Saturne a la réputation d'être une planète difficile pour les amateurs (par rapport à Mars ou Jupiter), un certain nombre d'observations amateurs conduisant à des analyses intéressantes ont pu être faites lors de l'opposition 2006-2007.

Le réchauffement de l'hémisphère Nord, en fin d'hiver, est bien visible de part sa coloration moins bleutée que lors de la précédente opposition.

Si des spots ont pu être observés dans l'hémisphère Sud, en

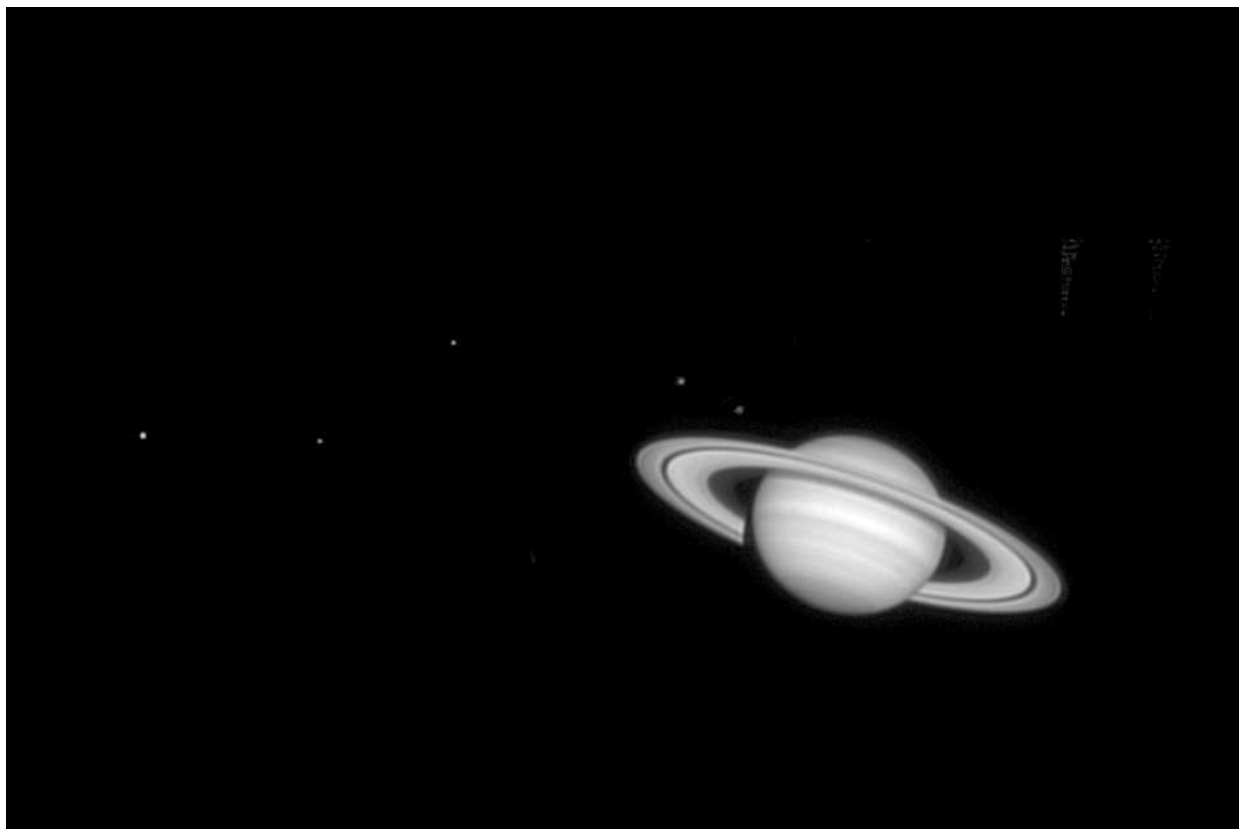


Fig. 16 : Montage de Saturne et ses satellites (de droite à gauche Rhéa (m9.7), Dioné (m10.4), Téthys (m10.2), Encelade (m11.7) et Mimas (m12.9) - les 3 premiers issus du même film, les 2 derniers d'un autre film (le même que celui pour Saturne, mais en augmentant leur luminosité)). Nord en haut. Prises de vue le 14 mars 2007 par Marc Delcroix, par turbulence exceptionnellement bonne, à la webcam (films à 10 images/s au 1/25eme/s) sur un télescope Schmidt-Cassegrain de 254mm avec une barlow x3 et filtre IR-Cut.

été, de la zone équatoriale jusqu'à -75° S, l'allée des tempêtes est restée plus « calme » que lors des précédentes oppositions. L'hémisphère Nord lui, encore en hiver, n'a pas présenté de spots observés.

Un important spot persistant tout au long de l'apparition présente une vitesse de dérive tout à fait cohérente avec la vitesse des vents à cette latitude depuis l'arrivée de la sonde Cassini en orbite.

Enfin un passage de Japet a pu être observé (peut-être le premier imagé par des amateurs), prélude à de possibles observations de passages lors des oppositions suivantes lorsque l'inclinaison des anneaux se rapprochera de son minimum.

Les oppositions suivantes se rapprochant de l'équinoxe saturnien, les observations amateurs seront importantes car elles permettront de suivre l'impact des changements de saisons sur la planète, de voir la longévité du spot persistant de cette apparition et de voir si l'allée des tempêtes redevient plus active.

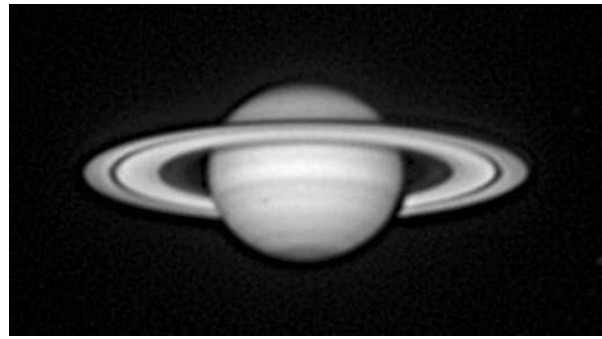


Fig. 17: Transit de Japet (point noir au niveau des anneaux en bas à gauche du centre de la planète). Nord en haut. Noter par ailleurs l'ombre de l'anneau sur le globe Nord visible avant l'opposition. Prise de vue le 07 janvier 2007 par Christophe Guillou au travers d'un filtre rouge (650nm) sur un télescope Cassegrain de 300mm à F/33

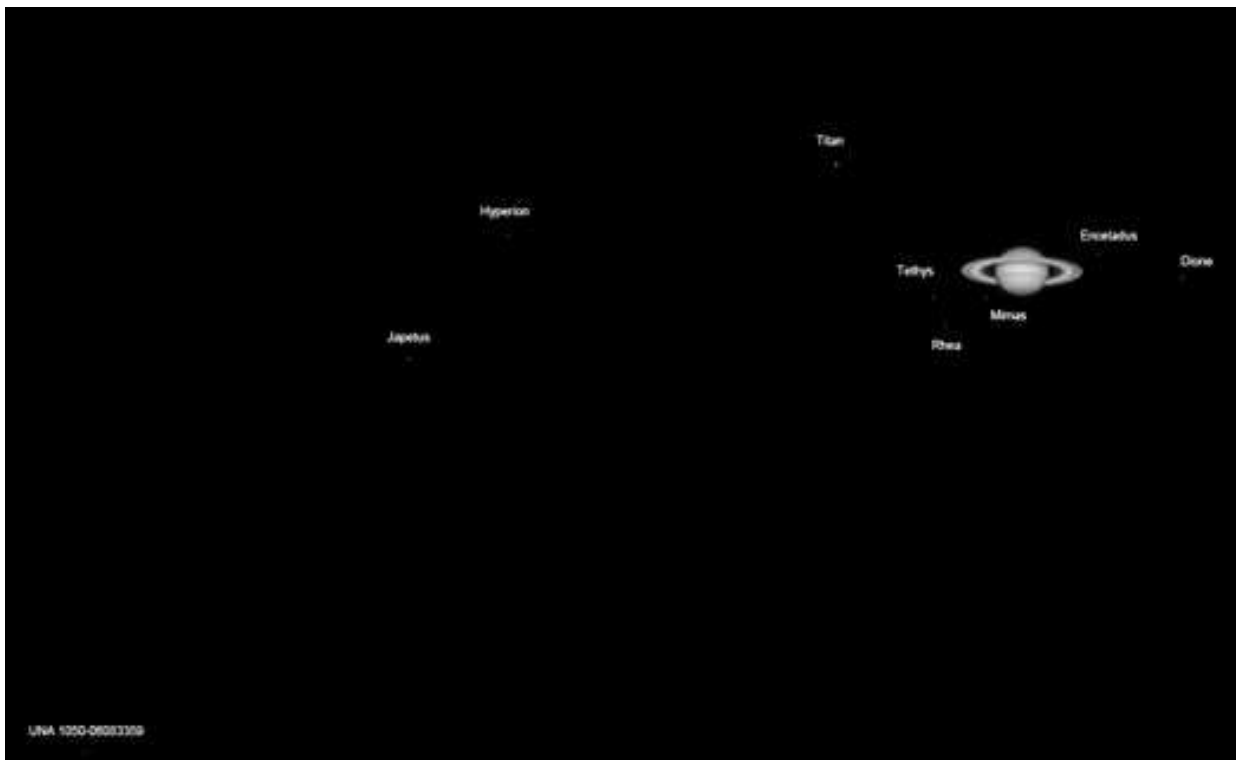


Fig. 18: Montage de Saturne et ses satellites (de droite à gauche Japet (m10.9), Hypérion (m14.2), Titan (m8.2), Téthys (m10.1), Rhéa (m9.5), Mimas (m12.7), Encelade (m11.6) et Dioné (m10.2) – issus de différents films, avec traitements séparés de leur luminosité). Nord en haut. Prises de vue le 19 février 2007 par Marc Delcroix, à la webcam (films à 5 images/s au 1/25ème/s) sur un télescope Schmidt-Cassegrain de 254mm F/D=10 avec une barlow x3 (Saturne, Titan, Encelade, Téthys, Rhéa, Mimas), au foyer (Dioné) ou avec réducteur de focale x0.5 (Hypérion, Japet) et filtre IR-Cut.

Remerciements

L'auteur tient à remercier :

- Christophe Pellier, président de la commission des observations planétaires de la SAF, et Marc Rieugnié (coordinateur section Jupiter) pour leur disponibilité et pour m'avoir permis d'apprendre rapidement au sein de cette commission.

- les lecteurs de cet article (Nicolas Biver, Christophe Pellier) pour leurs judicieuses remarques
 - les observateurs nous ayant fait parvenir leurs observations, et tout particulièrement ceux l'ayant fait à ma demande (François Debricon, Richard Galli)

Références

- [1] Benton, J.L., Jr 1999. "Observations of Saturn During the 1996-97 Apparition", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 42, 1:1-12
- [2] Benton, J.L., Jr 2001. "Observations of Saturn During the 1998-99 Apparition", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 43, 4:31-43
- [3] Benton, J.L., Jr 2002. "Observations of Saturn During the 1999-2000 Apparition", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 44, 1:15-27
- [4] Benton, J.L., Jr 2003. "ALPO Observations of Saturn During the 2000-2001 Apparition", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 45, 1:64-76
- [5] Benton, J.L., Jr 2004. "Observations of Saturn During the 2001-2002 Apparition", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 46, 1:24-39
- [6] Benton, J.L., Jr 2005. "Saturn and how to observe it", Springer
- [7] Benton, J.L., Jr 2006. "Saturn Observations During the 2002-2003 Apparition", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 48, 2:24-40
- [8] Benton, J.L., Jr 2007. "ALPO Observations of Saturn Observations During the 2003-2004 Apparition", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 49, 2:32-55
- [9] Delcroix, M. 2006, "Apparition de Saturne 2005-2006", non publié (<http://astrosurf.com/delcroix/doc/Apparition%20de%20Saturne%202005-2006%20v1.2.pdf>)
- [10] Delcroix, M. 2008, "Opposition Jupiter 2006 : observations de l'hémisphère Sud", Observations & Travaux n°69, mai 2008, SAF
(<http://astrosurf.com/planetessaf/jupiter/doc/Opposition%20de%20Jupiter%202005-2006%20v1.3.pdf>)
- [11] Delcroix, M. 2008, « Observation des satellites de Saturne », L'Astronomie, novembre 2008, p50-52 (http://astrosurf.com/planetessaf/saturne/doc/article_satellites_saturne_lastronomie/Satellites%20Saturne.doc)
- [12] Encrenaz, T. 2000. "Atmosphères planétaires – Origine et evolution", Belin – CNRS éditions
- [13] Morel, Philippe & al, 2005, "Au plus près de Saturne", Vuibert/Société Astronomique de France
- [14] Porco, C.C. & al, 2005, « Cassini Imaging Science : Initial Results on Saturn's Atmosphere », Science vol.307: 1243-1247
- [15] Price, Fred W. 2000. "The Planet Observer's Handbook", Cambridge University Press
- [16] Sanchez-Lavega, A. & al, 2000, "Saturn's Zonal Winds at Cloud Level", Academic Press: p405-420
- [17] Sanchez-Lavega, A. & al, 2006, "The three-dimensional structure of Saturn's equatorial jet at cloud level", Icarus 2006.10.022
- [18] Westfall, J.E., 2003. "Photoelectric Photometry of Saturn in 2000-2001", Journal of the Assn of Lunar & Planetary Observers, 45, 1:62-63
- [19] National Aeronautics and Space Administration, 2004. "Cassini-Huygens Saturn Arrival" Press kit
- [a] Site WinJupos : <http://www.grischa-hahn.homepage.t-online.de/astro/winjupos/>
- [b] Site internet de la section Saturne de la commission des observations planétaire de la SAF : <http://astrosurf.com/planetessaf/saturne/>
- [c] Pellier, C., Utilisation des filtres en CCD planétaire, <http://astrosurf.com/pellier/filtres>