

TACHE ROUGE DE JUPITER

ENQUÊTE TÉLESCOPIQUE

Pierre Le Fur

Une étude quantitative de certains détails observés à la surface de Jupiter. Des activités envisageables avec de bons élèves ou dans le cadre des activités pratiquées dans des clubs astronomiques.

La sonde Juno explore Jupiter

Depuis le 4 juillet 2016, la sonde spatiale de la NASA orbite en 53 jours autour de Jupiter en évitant les destructrices ceintures de radiations. Sa mission s'achève en juillet 2021 après 34 révolutions autour de la géante. La moisson de résultats est considérable comme le soulignait déjà Philippe Zarka, directeur de recherche au CNRS-LESIA et co-investigateur de Juno, dans sa conférence du 3 mars 2020 à l'Institut d'astrophysique de Paris.¹

Parmi les innombrables données recueillies, intéressons-nous aux mesures concernant la fameuse tache rouge, cet anticyclone géant, d'une fois et demie le diamètre terrestre.

Juno a pu réaliser un sondage en profondeur grâce aux observations de son instrument MWR (radiomètre micro-ondes) montrant ainsi que la structure de la grande tache rouge (GTR ou Great Red Spot en anglais) se développe sur près de 300 km en profondeur au-dessous de la surface visible (pour un rayon équatorial de la planète de 71 400 km). Voir figure 1. Mais Juno participe aussi aux nombreuses recherches sur le mystère de l'évolution temporelle de cette structure.

Alors, les grandes lignes des phénomènes atmosphériques que Juno analyse sont-elles visibles depuis

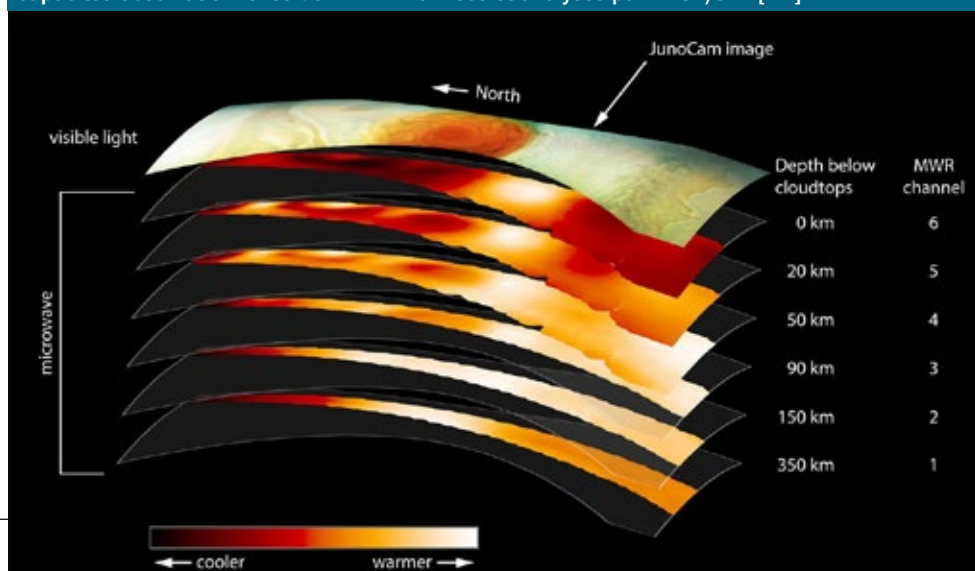
la Terre ? Dans quelles conditions peut-on faire observer à nos élèves ou étudiants la fameuse tache rouge ? Peut-on réaliser quelques mesures physiques simples et pourquoi pas suivre les changements de cette GTR et de son environnement ?

Observer les variations atmosphériques de long terme

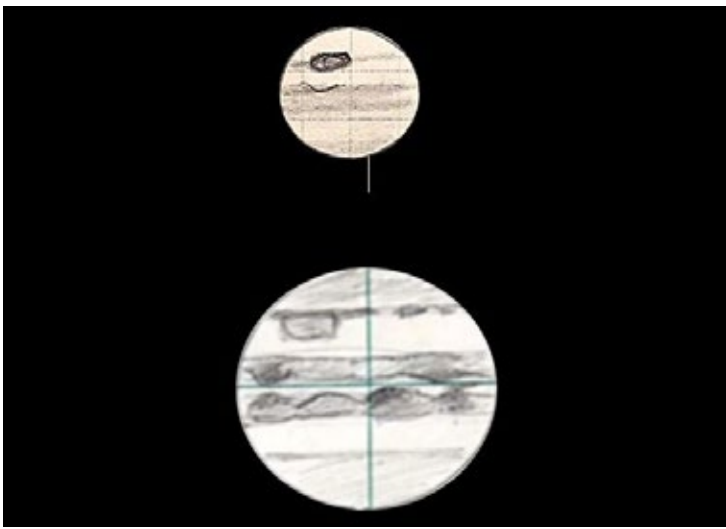
Même lorsque l'on observe la géante épisodiquement, quelques fois par an, avec un instrument modeste, on peut facilement suivre les évolutions des formations atmosphériques typiques comme la GTR. Le temps joue en faveur de l'astronome amateur : fouiller dans de vieilles archives de dessins ou photographies permet de révéler des changements

marqués [5]. Si on ne dispose pas de tels documents, on peut se procurer des images sur le site de la Société astronomique de France, commission des surfaces planétaires [13] ou celui de Damian Peach [6]. La figure 3, tirée d'archives personnelles, présente la tache « rouge » à trois époques différentes de 1977 à 2017 ; on pourra comparer également avec la figure 2. On s'aperçoit immédiatement que la fameuse teinte rouge-orangée associée à un albédo faible (un aspect sombre) n'apparaît que certaines années ; par exemple, en 2017 le facteur de visibilité atteint 1,4. Parfois même l'albédo augmente jusqu'à celui de la zone tropicale sud (STZ) et la GTR disparaît alors totalement, comme en 1977 où la visibilité tombe à 0,08 ; la tache devient alors quasi invisible avec des instruments modestes.

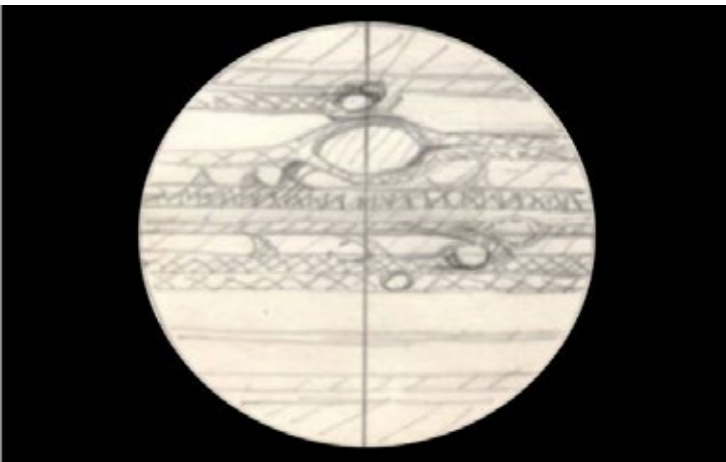
Fig.1. La figure montre le résultat des mesures des 6 canaux fréquentiels du radiomètre (MicroWaveRadiometer) placé à bord de la sonde Juno. Les données ont été collectées lors du 7^e "périjove" en passant au dessus de la GTR (en 2017). On y a superposé l'image en visible de la "JunoCam". MWR permet d'explorer les couches profondes de 0 à 350 km sous le niveau des nuages de surface (vers 0,3 bars de pression, au niveau des nuages d'ammoniac). Les fréquences utilisées augmentent de 1 à 6 bar. La structure à grande échelle de la GTR est donc détectée jusqu'aux limites des capacités observationnelles de MWR . Données et analyses par NASA/JPL [14].



¹ https://www.canal-u.tv/video/iap/resultats_de_la_mission_juno.55111.



Lunette diamètre 55 mm (en haut), télescope 100 mm (en bas)
 $G = 55X$, Résolution $\approx 3'' \approx 8\%$ du diamètre
 Croquis, 18 h 25 min TU (?) le 27/07/1971.



Télescope Newton 200 mm
 $G = 112,5X$, Résolution $\approx 1,5'' \approx 4\%$ du diamètre
 Croquis, 20 h 37 min TU le 23/08/1976.



Télescope Schmidt-Cassegrain 305 mm
 $G = 200X$, Résolution $\approx 0,8'' \approx 2\%$ du diamètre
 Croquis, 19 h 22 min TU le 15/02/1979

Certains expliquent ainsi qu'au XVII^e siècle, Cassini perdit la trace de la tache qu'il avait suivie, pour laquelle il avait même constitué des éphémérides [1] (voir encart). Celle-ci ne fut retrouvée que vers 1831 par l'astronome allemand Heinrich Schwabe, et suivie en continu depuis cette date, malgré sa variabilité [5], [7], [8]. L'astronome J.H. Rodgers, spécialiste de Jupiter, pense que la formation étudiée par Cassini n'est pas l'actuelle tache rouge mais un anticyclone de même type, aujourd'hui disparu [7].

De plus, la taille exprimée en degrés de longitude ΔL , ou en kilomètres, décroît au cours du temps (figure 3). Ce phénomène est particulièrement net ces toutes dernières années 2011 à 2017.

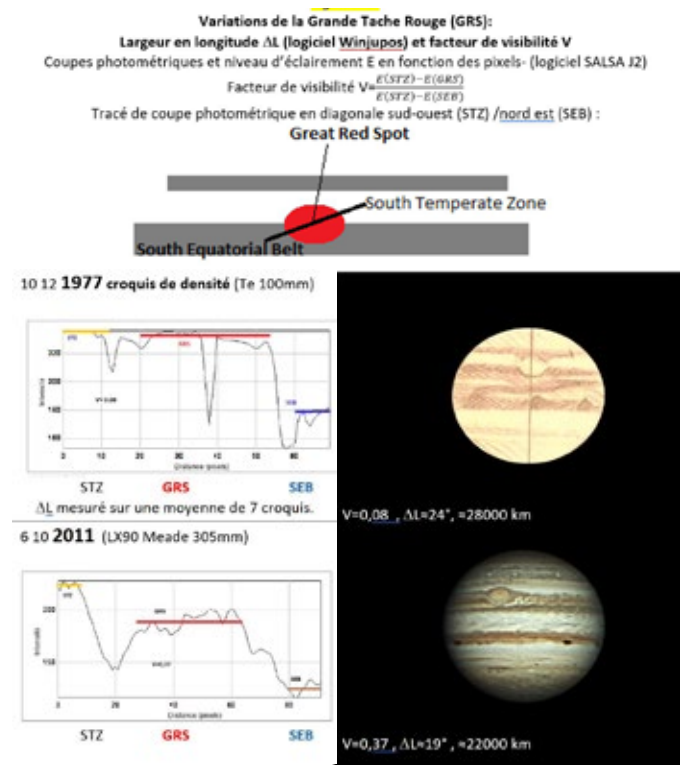


Fig.3. Variations de la GTR (dessin et image de l'auteur).

En effet, cela excite l'attention des astronomes professionnels qui estiment la décroissance accélérée à près de 900 km par an depuis 2012 ; pour atteindre 16 500 km de grand axe (1,3 fois la Terre) en 2017 (mesure de la sonde Juno) [8], [9], [10]. Une circularisation de la forme accompagne cette évolution. La grande tache rouge disparaîtra-t-elle dans les prochaines années ? D'autre part, cette structure tourne sur elle-même de plus en plus vite, avec des nuages supérieurs qui s'élèvent de plus en plus, son moment cinétique semble constant.

Ce gigantesque anticyclone doit donc être surveillé car son comportement, son origine et sa constitution restent des sujets de recherche actuels. De nouveaux modèles de dynamique atmosphérique justifiant sa longévité continuent d'être publiés [11] et des simulations expérimentales récentes justifient la teinte orangée

Fig.2. La tache rouge à différentes dates avec différents instruments.

par l'interaction en haute altitude jovienne des UV solaires avec des molécules organiques du type acétylène dérivées du méthane et des nuages d'ammoniac [Baines et al., JPL/Nasa]. C'est probablement à rapprocher des teintes cuivrées observées sur Pluton.

Mesurer la vitesse des courants lents

D'autres formations anticycloniques majeures sont bien visibles sur les figures 4 (page 5) au sud de la bande équatoriale dans laquelle est enchâssée la GTR. La bande tropicale sud contient ainsi les trois WOS (white oval spots), nommés BC, DE et FA. Notons que leur teinte blanche provient de nuages d'ammoniac blanc de grande altitude qui cachent les zones sous-jacentes. Un télescope de 100 mm permet de suivre leurs mouvements. Mais avec un instrument de 200 mm ces formations deviennent évidentes comme le montrent les figures 4 (page suivante). En 1979, on a pu suivre au jour le jour le mouvement de BC qui est venu frôler sa grande sœur dans sa partie sud. À ces dates, 1979, la sonde Voyager I observait également la rencontre de ces deux anticyclones : en route pour son « grand tour » vers Saturne, Voyager ne s'est pas arrêté près de Jupiter alors que l'amateur a continué son travail

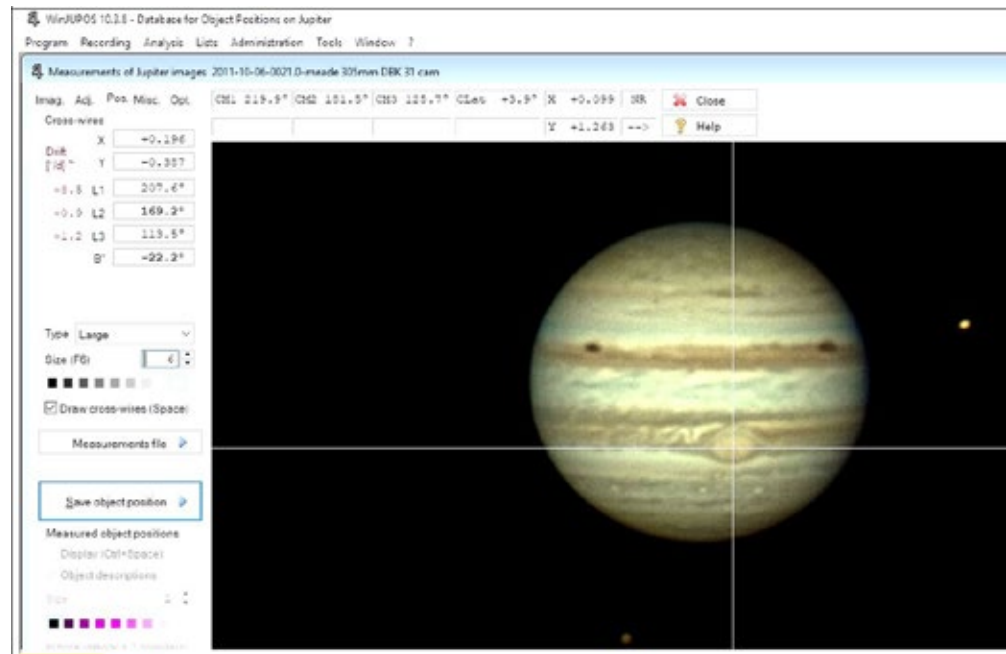


Fig.5. Logiciel Winjupos, repérage d'un détail en latitude et longitude. (Latitude $-22,2^\circ$, longitude $169,2^\circ$). L'image est chargée avec le menu « recording, image measurements ». Puis on introduit les date et heure d'observation. On peut alors commencer les mesures.

de surveillance. Depuis, ces trois structures ont fusionné en 1999-2000 pour donner la « mini » tache rouge appelée « ovale BA », visible actuellement car les nuages d'ammoniac n'ont pas suivi l'augmentation d'altitude liée à la fusion permettant la synthèse des composés organiques orangés. Pour quantifier ces mouvements relatifs, on peut utiliser le puissant logiciel « WINJUPOS » téléchargeable gratuitement [15] : on repère la longitude du centre des taches, ou de leurs bords pour plus de précision. (figure 5).

En 1979, la grande tache rouge dérivait lentement de $+0,19^\circ$ par jour environ par rapport au système de référence correspondant à ces latitudes, appelé système II. L'ovale BC avait un mouvement plus rapide en sens inverse de près de $-0,65^\circ$ par jour (figure 6).

À cette latitude $l \approx 25^\circ$, ce déplacement relatif de $w \approx 0,84^\circ$ par jour représente une vitesse relative $V = RJ \cos(l) w \approx 40 \text{ km/h}$ seulement ! Cela correspond toutefois à près de 4 diamètres de tache rouge parcourus en 3 mois. On parle de courants lents, car cette vitesse de déplacement d'ensemble est celle des centres des anticyclones et non celle des vents ou des jet-streams à l'origine de ces formations. Les données de Juno montrent d'ailleurs que la tache rouge semble perdurer en absorbant certains de ces « petits » anticyclones.

Mais ces dérives ne sont pas réservées aux anticyclones. L'évolution des positions des formations dépressionnaires très sombres et allongées, les « barges », se remarque facilement, d'autant que ces taches sont bien observables en particulier dans la bande équatoriale nord (figure 7).

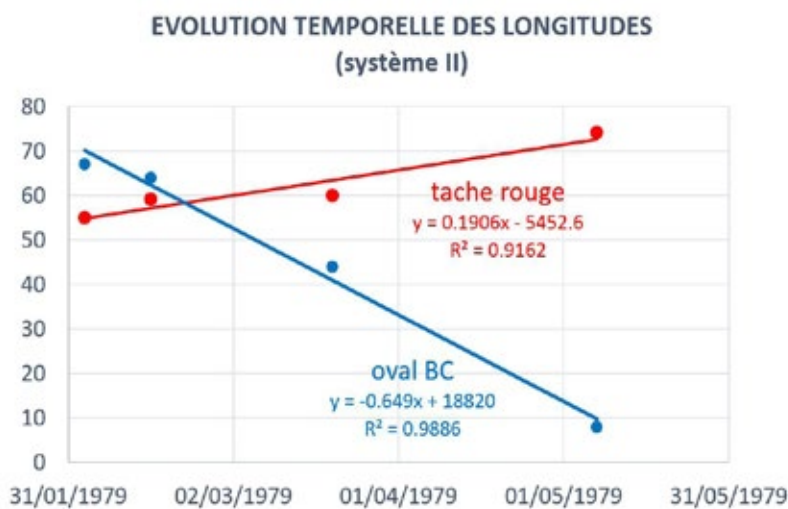
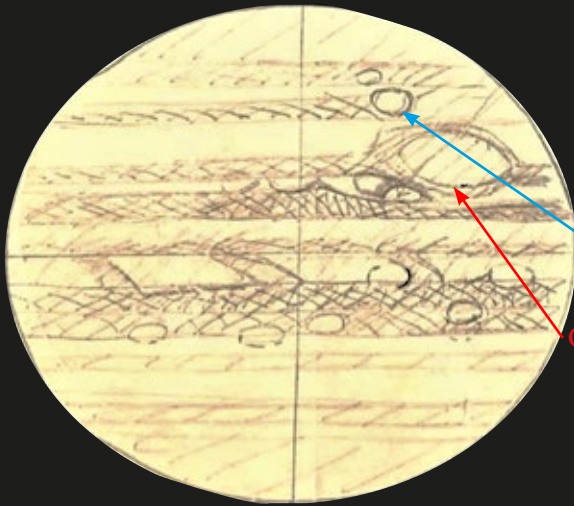
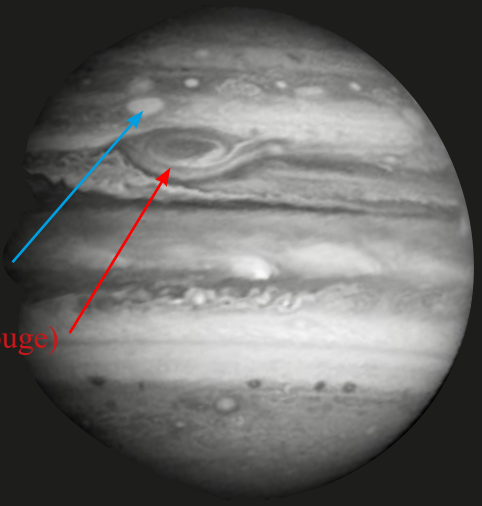


Fig.6. Longitude des deux anticyclones grande tache rouge GTR et ovale BC en 1979 déterminées à partir des croquis de la figure 4.



03/02/1979 20 h 27 min TU
Télescope C8, G = 200X
Turbulence = 2



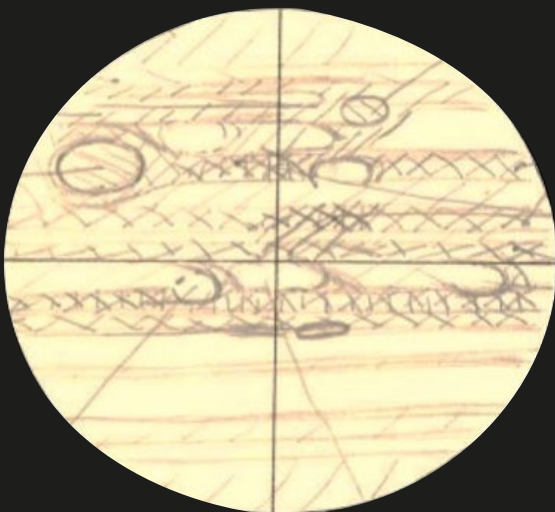
Voyager 1 vers le 7 février (NASA)



15/02/1979 19 h 27 min TU
Télescope C8, G = 200X
Turbulence = 3



Voyager 1 vers le 27 février (NASA)



07/05/1979 20 h 41 TU
Télescope C8, G = 200x
Turbulence = 3 vent fort



Voyager 1 vers le 27 février (NASA)

Fig.4. Autres formations anticycloniques. (Tous les dessins sont de l'auteur).

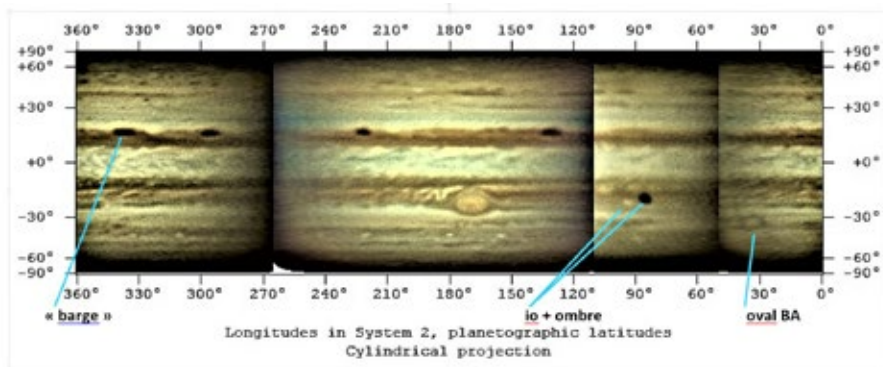


Fig.7. Planisphere de Jupiter présentant l'aspect général de la planète en octobre 2011 (sud en bas), réalisé avec le logiciel Winjupos à partir des trois images des 17/09, 06/10 et 22/10 (jour du passage d'Io et de son ombre sur la planète). (Menu « analysis, map computation »).
Télescope Mead 305 mm, camera couleur « imaging source ». Image de l'auteur.

Les barges constituent de véritables ouvertures dans les nuages laissant apparaître les couches profondes.

On aperçoit également la formation anticyclonique « ovale BA » encore appelée mini tache rouge (malgré un contraste faible cette année-là, 2011). Elle a été formée dix ans plus tôt. On détermine son diamètre, environ 10 000 km, soit un peu moins que celui de la Terre.

Jours après jours, de multiples autres formations, parfois quasi-ponctuelles sur les photographies, dansent littéralement sur le planisphere. Le film constitué par les images de la sonde Voyager [12] montre bien la dynamique complexe de l'atmosphère supérieure de la planète géante. Le site de Damian Peach présente également de remarquables animations des planisphères obtenues avec « Winjupos » [6].

Mais la détermination précise des vitesses réelles des vents, souvent plusieurs centaines de kilomètres par heure, nécessite des images de haute définition donc réservées aux sondes et grands télescopes professionnels. Parfois, un satellite vient ajouter son ombre à cet ensemble très complexe et se profile sur le fond des nuages joviens. Sur les clichés : sur la figure 7, c'est l'ombre de Io.

Perspectives

Le monde jovien interpelle l'observateur et constitue une riche source de sujets de constations expérimentales, quel'on peut partager avec les élèves de tous niveaux ou les passionnés. Les notions d'histoire des sciences, de géographie (pôles, équateur, latitude, longitude,

renflements équatoriaux, rotation propre...), de météorologie (vents alizés, dépressions, anticyclones, cellules de Hadley...), de physique (effet Coriolis, force centrifuge, mécanique céleste pour les passages des satellites...) abondent et s'entrecroisent. De plus, si le dieu des planètes le décide, la passion peut vous prendre et alors il ne vous reste plus qu'à entrer à la commission des surfaces planétaires de la Société astronomique de France [13] ; certes vos travaux n'auront sans doute pas l'écho de ceux de Cassini mais ils présenteront d'autant plus d'intérêt qu'ils seront mis en commun avec ceux des autres passionnés et peuvent constituer une base de données pour des recherches « professionnelles ». En attendant, laissons-nous emporter par les extraordinaires images de Juno (figure 8) qui continue son voyage pour explorer désormais les satellites galiléens.



Fig.8. Ovale BA et tache rouge vus par Juno en décembre 2018 sud en bas (photo NASA).

Biblio, neto-graphie

1. Journal des savants 1672 p 70 Gallica -BNF
2. Astronomie tome 4 p.334 et 328, Arago, édit Th Morgand 1865.
3. Astronomie planétairep. 187 à 204 et p. 35, Pellier et al, édit Axilone 2015.
4. À l'affut des étoiles p. 105, Bourge, Lacroux, Dupont Bloch, édit Dunod 18^e édition 2015.
5. Astronomie p. 213, 215, Rudaux et Vancouleurs, éditb Larousse 1948.
6. <http://www.damianpeach.com/index.htm> et <http://fredburgeot.fr/>
7. The giant planet Jupiter, Rodgers, Jonh H. Cambridge university press.
8. <https://www.nasa.gov/press/2014/may/nasas-hubble-shows-jupiters-great-red-spot-is-smaller-than-ever-measured/>
9. <https://www.britannica.com/place/Great-Red-Spot>
10. <http://www.astrosurf.com/luxorion/sysol-jupiter3.htm>
11. https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_de_Jupiter
12. <http://www.astrosurf.com/luxorion/Illustrations/jupiter-grs-animation-closeup.gif>
13. <http://www.astrosurf.com/planetessaf/jupiter/>
14. https://www.nasa.gov/mission_pages/juno/main/index.html
15. <http://jupos.org/gh/download.htm>

Image obtenue par Juno-NASA le 10 juillet 2017 à 9900 km de la surface de Jupiter
(vitesse ~ 200000 km/h)(7^{ème} passage).

