



Nouvelles du Système solaire

De l'eau sur Europe

Basé sur un communiqué ESA/Hubble

Les observations du télescope spatial Hubble de la NASA/ESA ont récemment révélé la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère de Ganymède, l'une des lunes galiléennes de Jupiter (cf. *Le Ciel*, novembre 2021, p. 564). Une nouvelle analyse d'images et de spectres d'archives indique qu'il y a aussi de la vapeur d'eau dans l'atmosphère d'Europe, une des autres grosses lunes de la planète. L'analyse a révélé que la vapeur n'est présente que sur un hémisphère de la lune. Ce résultat contribue à préparer le terrain pour les prochaines missions scientifiques qui explorent les satellites glacés de Jupiter.

Europe est la sixième plus grande lune du Système solaire – plus grande que Pluton. Sa surface est morne avec une température moyenne de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une atmosphère ténue.

Europe vue par Galileo à la fin du siècle passé.

(NASA/JPL-Caltech/SETI Institute)

On soupçonne qu'Europe abrite un vaste océan souterrain. L'eau liquide est un ingrédient crucial de la chimie complexe qui sous-tend toutes les formes de vie connues. L'océan d'Europe n'est pas chauffé par la lumière du Soleil, mais plutôt par le pétrissage de la lune causé par l'intense champ gravitationnel de Jupiter.

La détection d'une abondance stable de H_2O sur Europe est surprenante car les températures de surface sont très basses. Pour faire cette découverte, les astronomes ont utilisé les données d'archives de Hubble, en sélectionnant des observations ultraviolettes datant de 1999, 2012, 2014 et 2015, alors que la lune se trouvait à diverses positions sur son orbite. Ces observations ont toutes été réalisées à l'aide

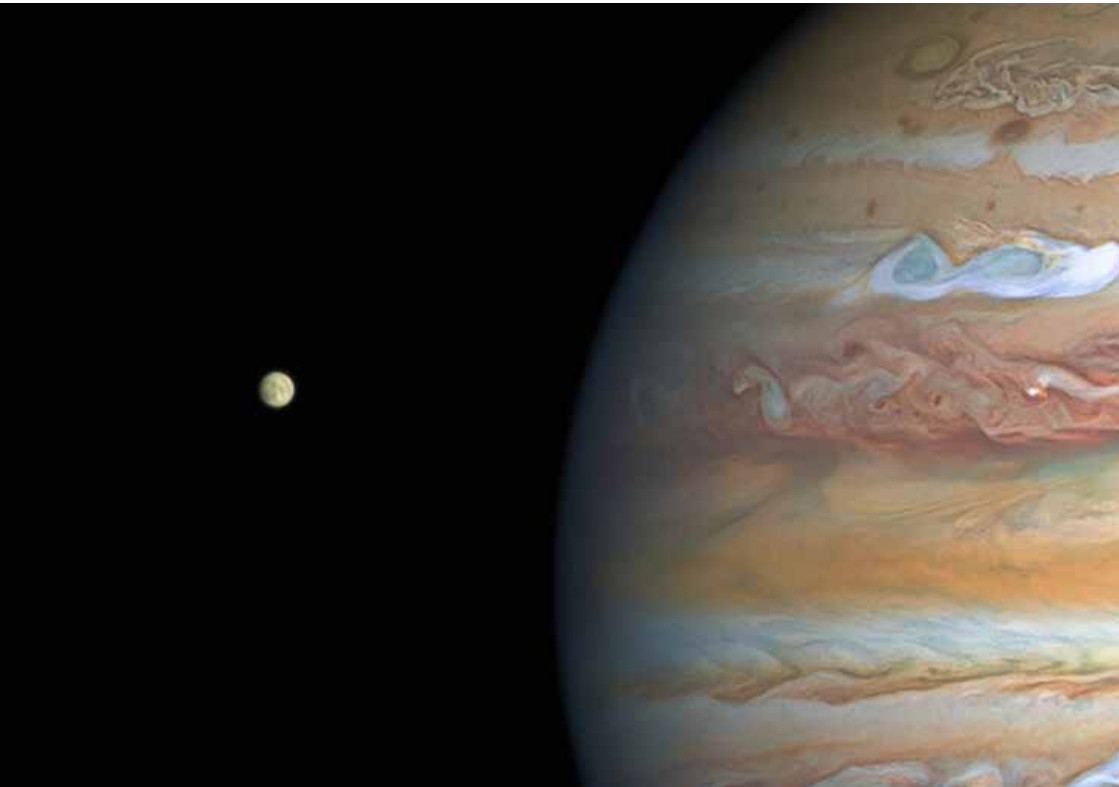
de l'un des instruments les plus polyvalents de Hubble, le STIS (Space Telescope Imaging Spectrograph). Ces observations dans l'ultra-violet ont permis de déterminer l'abondance de l'oxygène dans l'atmosphère d'Europe et, de là, celle de la vapeur d'eau.

Les observations précédentes de vapeur d'eau sur Europe avaient été associées à d'éphémères geysers d'une hauteur de plus de 100 kilomètres. Les nouveaux résultats suggèrent la présence permanente d'une atmosphère de vapeur d'eau sur tout un hémisphère – l'hémisphère arrière par rapport au mouvement orbital. Il n'y a aucune indication d'eau sur l'hémisphère avant d'Europe.

Les scientifiques qui s'efforcent de comprendre ces lunes glacées devront attendre une dizaine d'années pour bénéficier d'une vue rapprochée. La mission JUICE (JUperiter ICy moons Explorer) de l'ESA devrait visiter Ganymède, Callisto et Europe, à partir de 2031. Europe sera également visitée par une mission de la NASA, Europa Clipper, à partir de 2030.

Jupiter et Europe, vues par le télescope spatial Hubble le 25 août 2020.

(NASA, ESA, A. Simon (Goddard Space Flight Center), M. H. Wong (University of California, Berkeley), OPAL team)



L'atmosphère de Pluton

Basé sur un communiqué SwRI

Les astronomes ont profité de l'occultation d'une étoile par Pluton le 15 août 2018 pour mesurer l'abondance globale de l'atmosphère ténue de la petite planète. Ils ont trouvé des preuves irréfutables qu'elle commence à disparaître, se recongelant en surface à mesure qu'elle s'éloigne du Soleil.

L'occultation, observée depuis les États-Unis et le Mexique, a duré environ deux minutes. La vitesse à laquelle l'étoile disparaissait et réapparaissait a permis de déterminer le profil de densité de l'atmosphère.

On utilise les occultations pour surveiller les changements dans l'atmosphère de Pluton depuis 1988. La mission New Horizons avait obtenu un excellent profil de densité lors de son survol en 2015. Le résultat était cohérent avec le fait que l'atmosphère globale de Pluton doublait tous les dix ans, mais les observations de 2018 n'ont pas confirmé cette tendance.

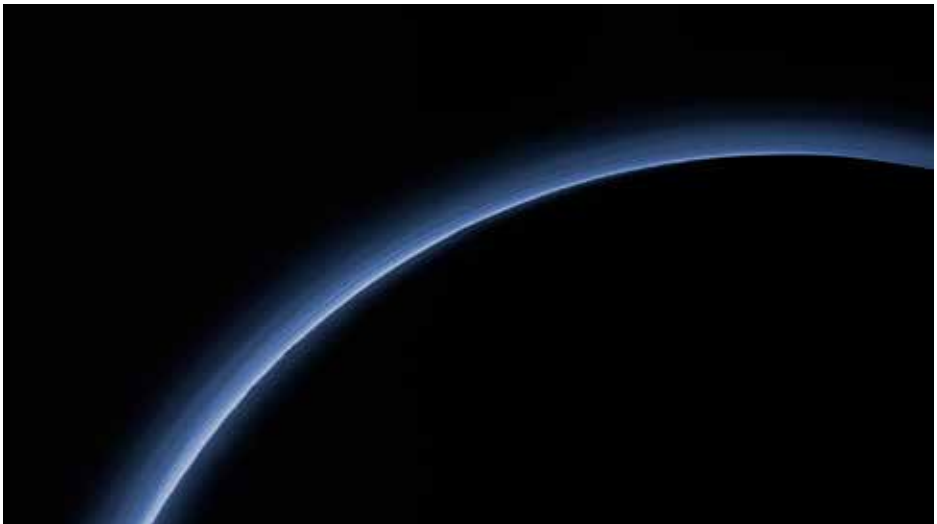
Plusieurs télescopes déployés près du milieu de la trajectoire de l'ombre ont observé le phénomène du « flash central », causé par l'atmosphère de Pluton qui réfracte la lumière vers une région située au centre même de

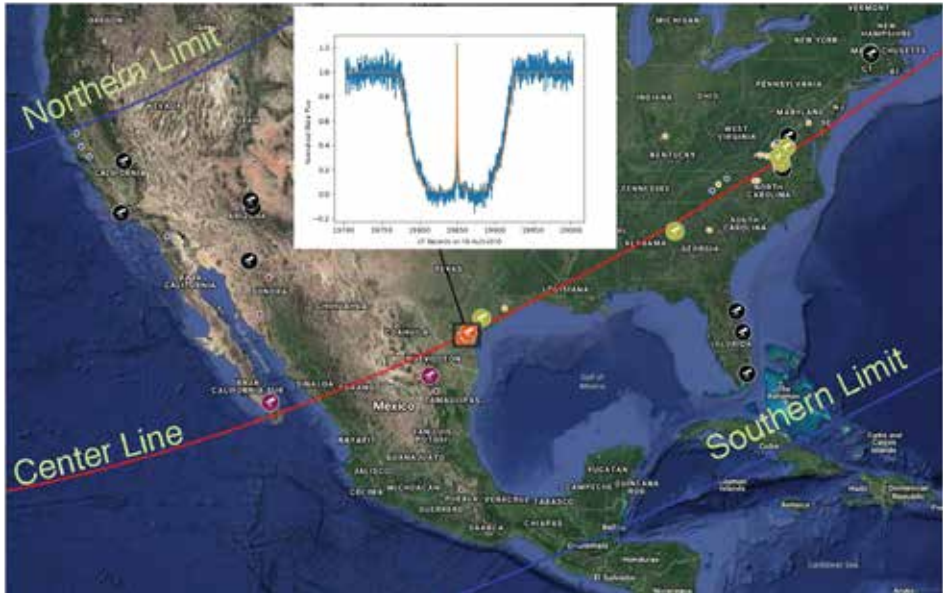
l'ombre portée sur la Terre. Lors de la mesure d'une occultation par un objet doté d'une atmosphère, la lumière s'atténue lorsqu'elle traverse l'atmosphère, puis revient progressivement. Cela produit une pente modérée à chaque extrémité d'une courbe de lumière en forme de U. En 2018, la réfraction par l'atmosphère de Pluton a créé un flash central près du centre de son ombre, la transformant en une courbe en forme de W.

Le flash central constaté en 2018 fut de loin le plus fort jamais observé dans une occultation de Pluton. Il nous a donné une connaissance très précise de la trajectoire de l'ombre de Pluton sur la Terre.

Comme celle de la Terre, l'atmosphère de Pluton est principalement composée d'azote mais, contrairement au cas de notre planète, elle est soutenue par la pression de vapeur de

Lorsque Pluton est passée devant une étoile le 15 août 2018, les astronomes ont mesuré l'abondance de l'atmosphère de Pluton, que l'on voit ici photographiée par New Horizons en 2015. Les données indiquent que la pression à la surface de Pluton diminue et que son atmosphère d'azote se condense, formant de la glace à sa surface à mesure que l'objet s'éloigne du Soleil. (NASA/JHU-APL/SwRI)





ses glaces de surface, ce qui signifie que de petits changements dans les températures des glaces de surface entraînent de grands changements dans sa densité apparente. Pluton met 248 années pour effectuer une orbite complète autour du Soleil, et sa distance à celui-ci varie de 30 ua (unités astronomiques) au périhélie à 50 ua à l'aphélie.

Depuis un quart de siècle, Pluton reçoit de moins en moins de lumière solaire à mesure qu'elle s'éloigne du Soleil, mais, jusqu'en 2018, sa pression de surface et sa densité atmosphérique avaient augmenté constamment. Les scientifiques ont attribué cela à un phénomène d'inertie thermique. Une analogie avec ce phénomène est la façon dont le Soleil réchauffe le sable d'une plage. La lumière est la plus intense à midi, mais le sable continue d'absorber la chaleur tout au long de l'après-midi, de sorte qu'il est le plus chaud en fin d'après-midi. La persistance de l'atmosphère de Pluton suggère que les réservoirs de glace d'azote à la surface de Pluton étaient maintenus chauds par la chaleur stockée sous la

Lors de l'occultation de Pluton du 15 août 2018, plusieurs télescopes déployés près du milieu de la trajectoire de l'ombre reçurent le flash central causé par l'atmosphère de Pluton qui réfracte la lumière dans une région située au centre de l'ombre. Ce flash central indique que les données d'occultation sont de très bonne qualité. Les résultats confirment que l'atmosphère de Pluton se fige sur sa surface à mesure qu'elle s'éloigne du Soleil.
(SwRI)

surface. Les nouvelles données suggèrent qu'ils commencent à se refroidir.

Le plus grand réservoir d'azote connu sur Pluton est Sputnik Planitia, un glacier brillant qui constitue le lobe occidental de la région en forme de cœur Tombaugh Regio. Les données aideront les modélisateurs à comprendre les couches souterraines de Pluton, notamment en ce qui concerne les compositions compatibles avec les limites observées du transfert de chaleur.

Les nuages de Jupiter

Basé sur un communiqué NASA/JPL

De nouveaux résultats obtenus par la sonde Juno en orbite autour de Jupiter permettent de relier l'apparence des nuages aux processus invisibles qui se déroulent en dessous. Ils mettent en évidence le fonctionnement interne des ceintures et des zones de nuages qui encerclent Jupiter, ainsi que ses cyclones polaires et même la Grande Tache rouge.

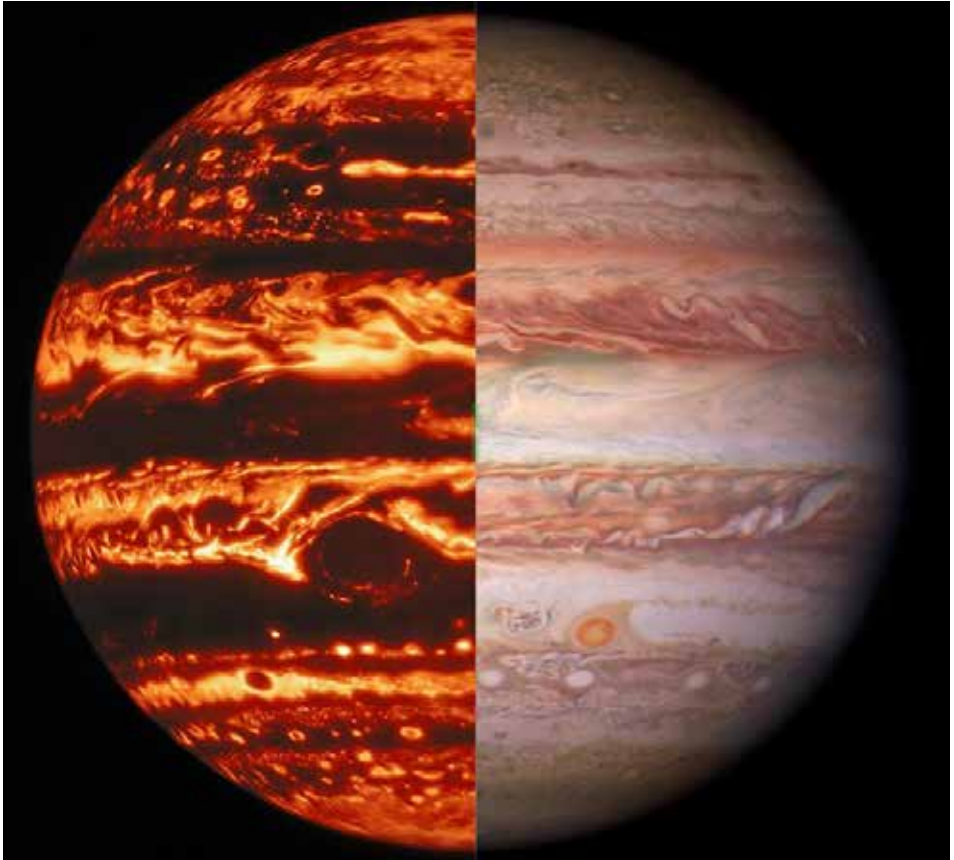
Entrée en orbite autour de Jupiter en 2016, Juno avait déjà relevé des indices selon lesquels les phénomènes atmosphériques de la planète étaient plus profonds que prévu. La réunion de l'ensemble des données obtenues au cours des 37 premiers passages a permis d'obtenir une première véritable compréhension du fonctionnement de l'atmosphère de Jupiter en 3D.

Le radiomètre à micro-ondes (MWR) de Juno permet aux scientifiques de la mission d'observer les nuages de Jupiter et de sonder la structure de ses nombreuses tempêtes. La plus célèbre de celles-ci est l'anticyclone de la Grande Tache rouge. Plus grand que la Terre, ce vortex intrigue les scientifiques depuis sa découverte il y a près de deux siècles.

Les nouveaux résultats montrent que les cyclones sont plus chauds au sommet qu'à la base, alors que pour les anticyclones, c'est l'inverse. Ces tempêtes sont beaucoup plus hautes que prévu, certaines s'étendant sur 100 kilomètres sous le sommet des nuages et d'autres, dont la Grande Tache rouge, sur 350 kilomètres. Cette découverte surprise démontre que les tourbillons couvrent des régions au-delà de celles où l'eau se condense et où les nuages

***L'imageur JunoCam à bord de la sonde Juno montre ici un cyclone jovien de type « barge » dans le jet stream polaire N4.
(NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS;
G. Eichstädt CC BY)***





se forment, en dessous de la profondeur où la lumière du Soleil réchauffe l'atmosphère.

La hauteur et la taille de la Grande Tache rouge signifient que la concentration de la masse atmosphérique au sein de la tempête pourrait être détectée par les instruments qui étudient le champ de gravité de Jupiter. Deux passages rapprochés de Juno au-dessus de la tache la plus célèbre de Jupiter ont permis de rechercher la signature gravitationnelle de la tempête et de compléter les résultats du MWR sur sa profondeur.

Alors que Juno se déplaçait à basse altitude au-dessus de la couche nuageuse de Jupiter à une vitesse d'environ 210 000 km/h, les scientifiques ont pu mesurer des chan-

Images de Jupiter en infrarouge et en lumière visible prises par le télescope Gemini Nord et le télescope spatial Hubble.

(Gemini/NOIRLab/NSF/AURA/NASA/ESA, M.H. Wong et I. de Pater et al.)

gements de vitesse aussi faibles que 0,01 millimètre par seconde à l'aide d'une antenne de poursuite du Deep Space Network de la NASA. Cela a permis à l'équipe de limiter la profondeur de la Grande Tache rouge à environ 500 kilomètres sous le sommet des nuages.

En plus des cyclones et anticyclones, Jupiter est connu pour ses bandes distinctives – des ceintures de nuages blancs et rougeâtres

Combinaison d'une image de Jupiter prise par JunoCam et d'une image de la Terre illustrant la taille et la profondeur de la Grande Tache rouge.
(NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS; K.M. Gill CC BY)

qui s'enroulent autour de la planète. De forts vents est-ouest se déplaçant dans des directions opposées séparent ces bandes. Juno avait déjà découvert que ces vents, ou jet-streams, atteignent des profondeurs d'environ 3 200 kilomètres. Les chercheurs tentent toujours de résoudre le mystère de la formation de ces jet-streams. Les données recueillies par le MWR de Juno au cours de plusieurs passages révèlent un indice possible : l'ammoniac, un gaz atmosphérique, se déplace de haut en bas dans un alignement remarquable avec les courants-jets observés. Sa distribution montre des cellules de circulation dans les hémisphères nord et sud, de nature semblable aux « cellules de Ferrel » qui contrôlent une grande partie du climat terrestre. Alors que la Terre possède une cellule de Ferrel par hémisphère, Jupiter en possède huit – chacune étant au moins 30 fois plus grande.

Les données MWR de Juno montrent également que les ceintures et les zones subissent une transition à environ 65 kilomètres sous les nuages d'eau de Jupiter. À faible profondeur, les ceintures de Jupiter sont plus brillantes en lumière micro-onde que les zones voisines. Mais à des niveaux plus profonds, sous les nuages d'eau, c'est le contraire qui est vrai – ce qui révèle une similitude avec nos océans.

Les chercheurs ont dénommé ce niveau la « jovieline » par analogie avec une couche de transition, connue sous le nom de thermocline, observée dans les océans de la Terre où



l'eau de mer passe brusquement d'un état relativement chaud à un état relativement froid.

Juno avait découvert précédemment des arrangements polygonaux de tempêtes cycloniques géantes aux deux pôles de Jupiter – huit disposées en octogone au nord et cinq disposées en pentagone au sud. Aujourd'hui, cinq ans plus tard, les scientifiques de la mission utilisant les observations du Jovian Infrared Auroral Mapper (JIRAM) du vaisseau spatial ont déterminé que ces phénomènes atmosphériques sont extrêmement résistants, restant au même endroit. Ces cyclones affectent le mouvement des autres cyclones, ce qui les fait osciller autour d'une position d'équilibre. Le comportement de ces oscillations lentes suggère qu'elles ont des racines profondes.

Les données de JIRAM indiquent également que, comme les ouragans sur Terre, ces cyclones veulent se déplacer vers le pôle, mais les cyclones situés au centre de chaque pôle les repoussent. Cet équilibre explique le lieu de résidence des cyclones et leur nombre différent à chaque pôle.



Le grand tour des planètes géantes

Basé sur un communiqué ESA-Hubble

Le télescope spatial Hubble a effectué sa grande tournée annuelle du Système solaire externe. C'est le royaume des planètes géantes – Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune – qui s'étend jusqu'à 30 fois la distance entre la Terre et le Soleil. Contrairement aux planètes terrestres rocheuses comme la Terre et Mars qui se blottissent près de la chaleur du Soleil, ces mondes lointains sont principalement composés d'hydrogène, d'hélium, d'ammoniac, de méthane et d'autres gaz enveloppant un noyau compact et chaud.

Des engins spatiaux robotisés ont renvoyé des clichés rapprochés des quatre grosses planètes au cours des 50 dernières années. Mais, pour surveiller les atmosphères en constante évolution de ces mondes colorés, les caméras de Hubble les revisitent régulièrement. Ces observations réservent souvent des surprises, offrant un nouvel aperçu de leur climat sauvage, régi par des dynamiques encore assez mystérieuses qui se déroulent sous le sommet des nuages.

Les instantanés des planètes extérieures pris par Hubble révèlent des changements à la fois extrêmes et subtils qui se produisent rapidement. Les images détaillées donnent un aperçu de phénomènes météorologiques fascinants et dynamiques et permettent aux astronomes d'étudier les conditions à la fois très similaires et très différentes qui contribuent à l'évolution de leurs atmosphères.

Jupiter

Cette année, les observations de Jupiter par Hubble ont permis de suivre le paysage en constante évolution de son atmosphère turbulente, où plusieurs nouvelles tempêtes ont fait leur apparition et où l'équateur de la planète a encore changé de couleur.

La photo prise par Hubble le 4 septembre met en évidence l'atmosphère tumultueuse de la planète géante. La zone équatoriale de la planète est désormais d'une teinte orange inhabituelle. Alors que l'équateur a quitté son apparence traditionnelle blanche ou beige depuis quelques années maintenant, les scientifiques ont été surpris de trouver un orange plus profond, alors qu'ils s'attendaient à ce que la zone se troublât à nouveau.



Ces nouvelles images Hubble font partie des portraits annuels obtenus dans le cadre du programme Outer Planets Atmospheres Legacy, ou OPAL. Ce programme fournit chaque année des vues globales par Hubble des planètes extérieures afin d'observer les changements dans leurs tempêtes, leurs vents et leurs nuages. (NASA, ESA, A. Simon (Goddard Space Flight Center), M.H. Wong (University of California, Berkeley), OPAL team)

Uranus

La vue d'Uranus prise par Hubble le 25 octobre met en évidence la grande calotte polaire nord de la planète. C'est le printemps dans cet hémisphère et l'augmentation du rayonnement ultraviolet du Soleil semble faire briller la région polaire. Les chercheurs ne savent pas exactement pourquoi. Il pourrait s'agir d'un changement dans l'opacité du méthane atmosphérique ou d'une variation des particules d'aérosol. Curieusement, même si cette calotte s'éclaircit, sa frontière méridionale très nette reste à la même latitude. Cela a été constant au cours des dernières années d'observation de la planète par Hubble. Peut-être qu'une sorte de jet-stream établit une barrière à cette latitude de 43 degrés.

Neptune

Lors d'observations effectuées le 7 septembre 2021, les chercheurs ont constaté que la tache sombre de Neptune, dont on a récemment découvert qu'elle avait inversé sa course en se déplaçant vers l'équateur, était toujours visible, ainsi qu'un hémisphère nord assombri. Il y a également un cercle sombre et allongé qui englobe le pôle sud de Neptune. La couleur bleue de Neptune et d'Uranus est le résultat de l'absorption de la lumière rouge par les atmosphères riches en méthane des planètes, combinée au même effet de diffusion Rayleigh qui rend le ciel de la Terre bleu.

Juste au nord de l'équateur, les chercheurs ont remarqué l'apparition de plusieurs nouvelles tempêtes, les « barges ». Ces cellules rouges allongées peuvent être définies comme des tourbillons cycloniques d'apparence variable. Alors que certaines tempêtes sont nettement définies et claires, d'autres sont floues et brumeuses. Cette différence d'apparence est due aux propriétés physiques des nuages des cyclones.

Les chercheurs ont également noté que la Tache rouge junior, située sous la Grande Tache rouge et où Hubble vient de découvrir une amplification des vents, est toujours d'une couleur beige plus foncée et a été rejointe par plusieurs autres tempêtes cycloniques blanches au sud.

Saturne

Le nouveau regard de Hubble sur Saturne le 12 septembre 2021 montre des changements de couleur rapides et extrêmes dans les bandes de l'hémisphère nord de la planète, où l'on est maintenant au début de l'automne. Les bandes ont varié tout au long des observations de Hubble en 2019 et 2020. L'image de Saturne prise par Hubble montre la planète après l'hiver de l'hémisphère sud, comme en témoigne la teinte bleutée persistante du pôle sud.