



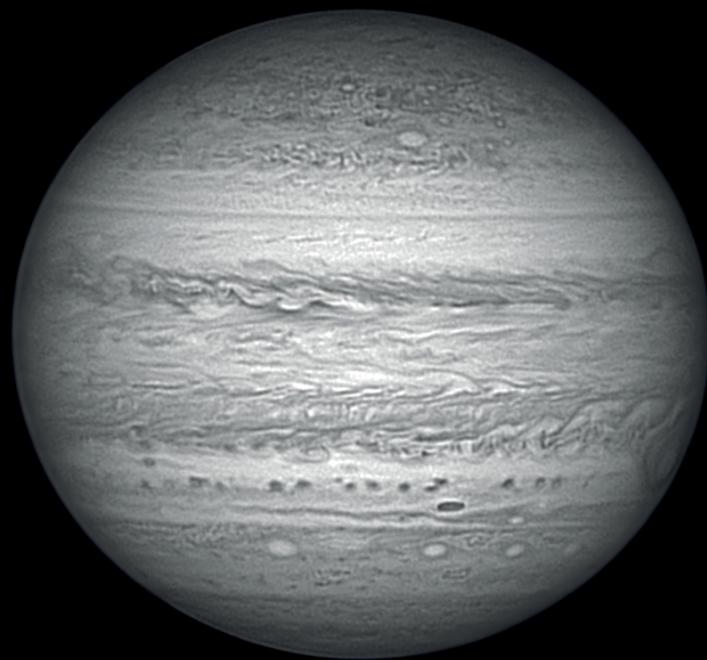
***OBSERVATION
et IDENTIFICATION
de FORMATIONS***

à la surface de Ganymède

Le repérage de configurations à la surface des satellites galiléens n'est pas réservé aux professionnels. Des astronomes amateurs parviennent à identifier des formations, comme l'illustrent admirablement l'observation et l'identification de quelques structures géomorphologiques à la surface de Ganymède menées par deux observateurs.



1. Le télescope de 62 cm (T62)
installé à l'observatoire de Saint-Véran.



2. Image de Jupiter acquise le 22 septembre 2022,
deux heures avant celle de Ganymède le 23 à
1 h 33 min TU. Diamètre apparent de Jupiter : 49,9".
Valeur du méridien central : 92,8° (système I) ; 96,5°
(système II) ; 26,1° (système III). Caméra ASI290.
(J. Dijon, B. Balusseau, T62 AstroQueyras)

Les satellites galiléens présentent des diamètres apparents compris entre 0,8" et 1,8" d'arc. Par conséquent, l'observation de détails à la surface de ces lunes de Jupiter depuis la Terre se révèle très difficile et nécessite des conditions de turbulence extrêmement faibles ainsi que des télescopes avec un pouvoir séparateur élevé. Les premières observations ont été effectuées visuellement avec des grossissements de l'ordre de 1000 fois. Voici ce qu'en dit Audouin Dollfus¹ :

« De 1941 à 1945, B. Lyot, ainsi que H. Camichel et M. Gentili ont entrepris une première reconnaissance des configurations de surface des satellites, avec les réflecteurs de 38 et 60 cm alors disponibles au Pic-du-Midi (Camichel et al., 1943²; Lyot, 1953³). Notre programme de surveil-

lance a débuté en 1958 avec le réfracteur de 60 cm, puis le réflecteur de 107 cm du Pic-du-Midi, ainsi que la grande lunette de 83 cm de Meudon. »

La présente étude avait pour but de voir ce qu'il était possible de faire avec des moyens modernes (caméra CMOS + *lucky imaging* (poses très courtes) + traitement d'image) dans un site accessible à des amateurs pouvant présenter un *seeing* bon à très bon.

Nous avons profité de l'opposition remarquable de Jupiter fin septembre 2022 pour acquérir des images du système jovien au télescope Cassegrain de 62 cm (T62) de l'observatoire de Saint-Véran (Hautes-Alpes). Ce télescope à F/D 15 (9,3 m de focale), abrité par une coupole, permet de réaliser des images à haute résolution des planètes directement au foyer (figure 1).

Notre principal objectif était la résolution

sommaire de la surface de Ganymède, le plus grand satellite de Jupiter (et du Système solaire). Comme Europe, il présente une surface glacée abritant un océan souterrain réputé riche en saumures de sulfate de magnésium⁴.

Voici ce qu'écrivait Audouin Dollfus de son observation : « *Ganymède, beaucoup plus facile à observer [que les autres satellites] montre aisément des régions blanches et des taches sombres formant de forts contrastes, la région polaire nord est volontiers claire et très blanche.* »

Comme nous allons le voir, notre objectif a été atteint, bénéficiant d'une résolution estimée sur Jupiter à 0,25" d'arc lors des meilleures périodes d'observation (figure 2). Cette résolution est proche du pouvoir séparateur du télescope T62 dans le visible.



IMAGERIE ET SIMULATION D'IMAGE DE GANYMÈDE



A

20/09/2020 à 0 h 38 min TU (MC : 128°)

B

20/09/2022 à 23 h 24 min TU (MC : 179°)

1. Méthodologie

Les images de Ganymède ont été obtenues sur trois jours, du 20 au 23 septembre 2022, elles sont placées à gauche sur les figures 3 A, B et C. Elles ont été acquises dans le proche infrarouge pour minimiser la turbulence (longueur d'onde de la coupure du filtre infrarouge > 645 nm). Nous avons utilisé un correcteur de dispersion atmosphérique dont le réglage a été effectué en utilisant une caméra couleur (ASI 224) et réalisé les films avec une caméra noir et blanc ASI 290 directement au foyer du télescope Cassegrain avec un échantillonnage de 0,064" d'arc. Compte tenu de la luminosité de Ganymède, les poses unitaires ont été de 16 ms et les films d'une durée de 240 s. Les vidéos ont été traitées avec le logiciel AutoStakkert!. Seulement 5 à 10 % des meilleures images ont été retenues puis renforcées avec le logiciel AstroSurface. Au regard de la petite taille de l'image, il faut minimiser les rebonds sur le limbe du satellite en évitant les traitements trop agressifs.

Les images simulées (à droite sur les figures 3A, 3B et 3C) servent de référence pour identifier les formations. Elles ont été obtenues à partir de planisphères du satellite⁵ aux dates d'observation (voir encadré). Ces images ont été floutées par une convolution gaussienne pour se rapprocher de la résolution des images acquises avec le T62. Les écarts d'albédo entre ces dernières et celles de la simulation sont sans doute à attribuer à la différence de longueur d'onde.

2. Résultats

1. Les meilleurs résultats ont été obtenus sur l'image du 20 septembre (figure 3A), avec 128° W comme valeur du méridien central (MC)⁶. On peut presque en faire une carte orographique en s'appuyant sur les photos de la Nasa et sur la carte géologique réalisée par l'USGS^{7 et 8} (figures 4 à 6).

Cinq géomorphologies principales sont identifiées (voir plus bas), dont la grande zone sombre de Galileo regio au nord-nord-est et, au sud-ouest, le secteur blanchâtre du cratère d'Osiris et de ses environs. Cela n'est pas une surprise, car cette face de Ganymède est celle qui présente les plus forts contrastes (figure 5).

2. La nuit suivante, le MC était de 179° W (figure 3B). On remarque le déplacement de ces principales structures lié à la rotation du satellite (la période de révolution sur lui-même est de 7,15 jours).

3. Sur l'image avec un MC de 282° W enregistrée deux jours plus tard (figure 3C), bien qu'acquise avec un meilleur *seeing*, on ne distingue pas de structures aussi nettes. Là non plus, pas de surprise, car comme le montre la photo mosaïque de la Nasa et la carte de l'USGS, c'est la région de Ganymède la moins contrastée, et les différentes acquisitions de la Nasa la représentent avec une résolution spatiale à la fois moins bonne et très variable (voir figures 4 et 5). Elle s'étend globalement à l'ouest de la longitude 180° W jusque vers le premier méridien (0°)⁹. Toutefois, comme sur les deux vues précédentes, on peut confirmer la présence d'une zone claire dans la région boréale. Cette clarté serait due à la présence d'une calotte de givre provenant d'une eau mobilisée par l'action de flux de plasma sur la surface glacée du satellite¹⁰, moins développée au pôle Sud.

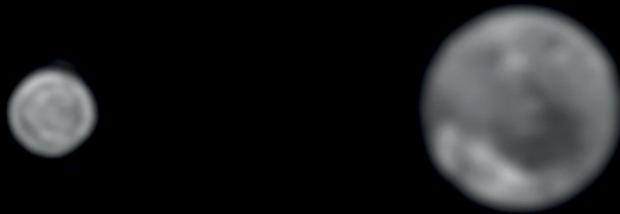
Sur cette image également, dans une région répertoriée comme peu contrastée, un grand C vertical, assez clair, est perceptible (figure 3C). Il pourrait correspondre à une zone de dépressions s'étendant entre deux grands cratères aplatis, au nord Hershef (120 km de diamètre à 47° N) et au sud Tashmetum (135 km de diamètre à 40° S), comme le montre la figure 4. Ces cratères, bien moins clairs et donc plus anciens qu'Osiris, sont entourés de vastes halos correspondant aux rayons émoussés de leurs couronnes d'éjectats.

3. Principales géomorphologies identifiées

Les principales structures géomorphologiques du plus grand satellite de Jupiter ont pu être différenciées. Sur l'image de Ganymède obtenue par la Nasa (figure 5), en se dirigeant du nord-est au sud-ouest, on retrouve successivement la large plage sombre de Galileo regio, l'ensemble plus clair du sulcus¹² d'Uruk et de Marius regio, et le secteur très lumineux du cratère d'Osiris.

Les deux structures les plus emblématiques sont Galileo regio et le secteur du cratère d'Osiris. Elles correspondent aux zones d'albédo les plus contrastées qui témoignent d'un âge de ces terrains respectivement le plus ancien et le plus récent de Ganymède :

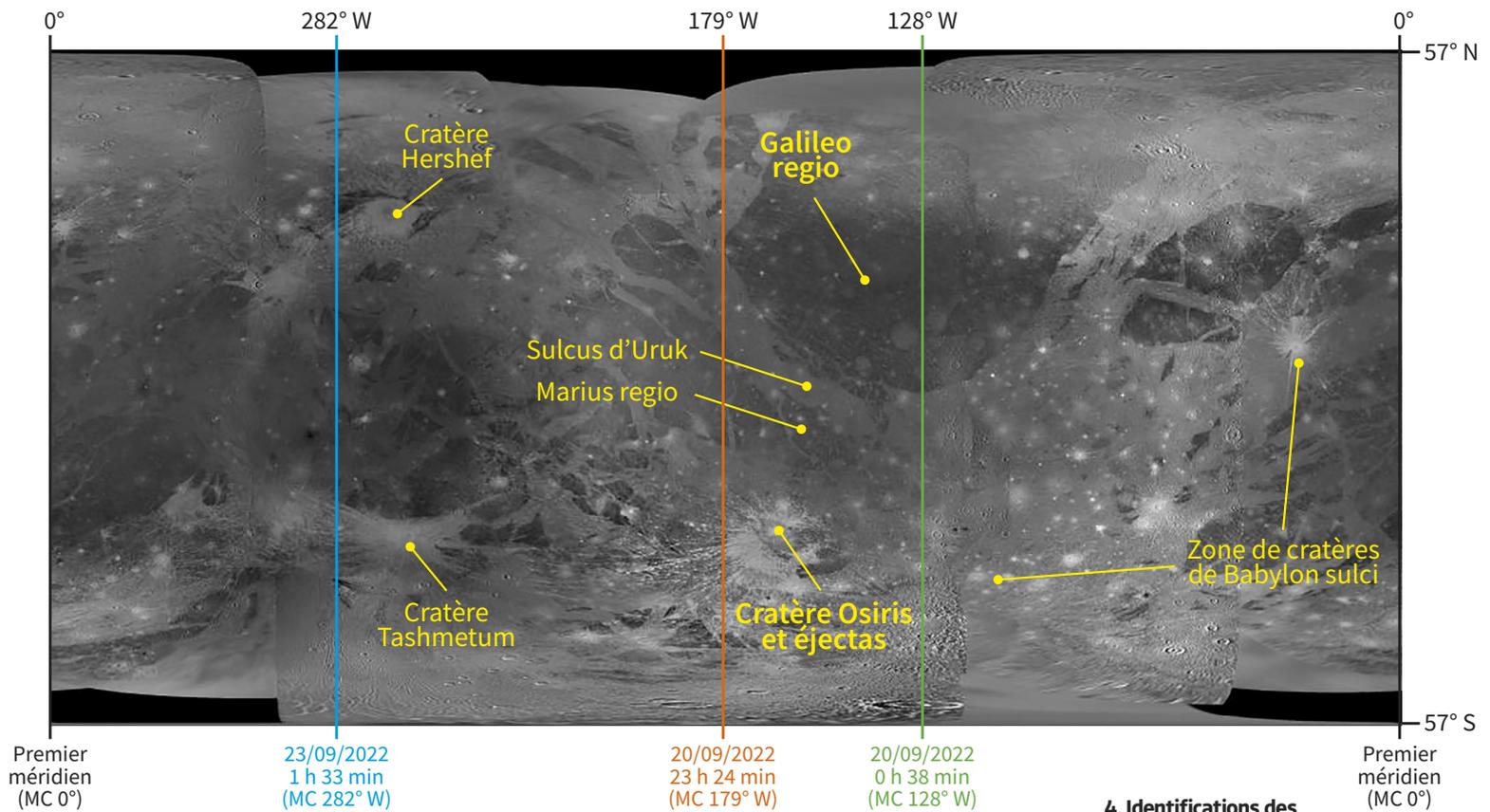
Galileo regio est une vaste région développée dans l'hémisphère Nord du satellite. Sa forme arrondie, d'environ 4 500 km de diamètre, présente un faible albédo. Sur la carte géologique de l'USGS (figure 6), elle est représentée en brun. Ces terrains, les plus anciens de Ganymède, sont striés de nombreuses rainures souvent parallèles correspondant vraisemblablement à des fractures distensives qui affectent la croûte glacée, peu épaisse,



3. Comparaison des trois images de Ganymède acquises pour cette étude (à gauche) avec les images de référence (simulation à droite sur les figures) calculées aux instants d'observation. Le nord est en haut et l'est à droite.



23/09/2022 à 1 h 33 min TU (MC : 282°)



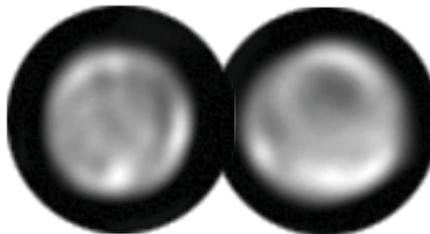
Premier méridien (MC 0°)

23/09/2022
1 h 33 min
(MC 282° W)

20/09/2022
23 h 24 min
(MC 179° W)

20/09/2022
0 h 38 min
(MC 128° W)

Premier méridien (MC 0°)



4. Identifications des principales structures à la surface de Ganymède identifiées dans cette étude, repérées sur le planisphère réalisé par l'USGS de 57° N à 57° S à partir des images composites des sondes *Voyager 1* et 2 (1979) et *Galileo* (1995-2003)¹¹. Les positions des méridiens centraux (MC) des trois images acquises dans cette étude sont reportées par un trait plein en couleur.



recouvrant l'océan. Ils sont de plus mouchetés de nombreuses facules¹⁴ se rapportant pour la plupart à d'anciens cratères très aplanis avec le temps.

Osiris est un des plus récents cratères de Ganymède. Il se situe dans l'hémisphère Sud. Sur la carte géologique, il est représenté en blanc crème. Son fort albédo déborde largement au-delà de la zone du cratère (110 km de diamètre) et s'étend par une couronne radiale formée d'alignements d'impacts secondaires d'éjectats, longs de plusieurs centaines de kilomètres. À proximité, d'autres cratères plus ou moins récents contribuent au fort albédo de cette région.

Marius regio. Nous avons identifié cette extension sud-ouest de Galileo regio. Elle est séparée de celle-ci par l'Uruk sulcus, un sillon proche de l'équateur, de couleur plus claire, formé probablement par la remontée à la surface d'eau de l'océan souterrain à la faveur de failles ou de cratères d'impact.

Babylon sulci est une grande zone claire située dans l'hémisphère Sud, à des latitudes centrées vers -30° . Son origine est similaire à celle de l'Uruk sulcus (ces sulci étant colorés en bleu sur la carte géologique). Elle inclut plusieurs cratères blanchâtres, plus ou moins récents, dont certains s'apparentent à Osiris. Cette grande zone s'observe au sud-est de notre image centrée à 128° W (figures 3 et 4).



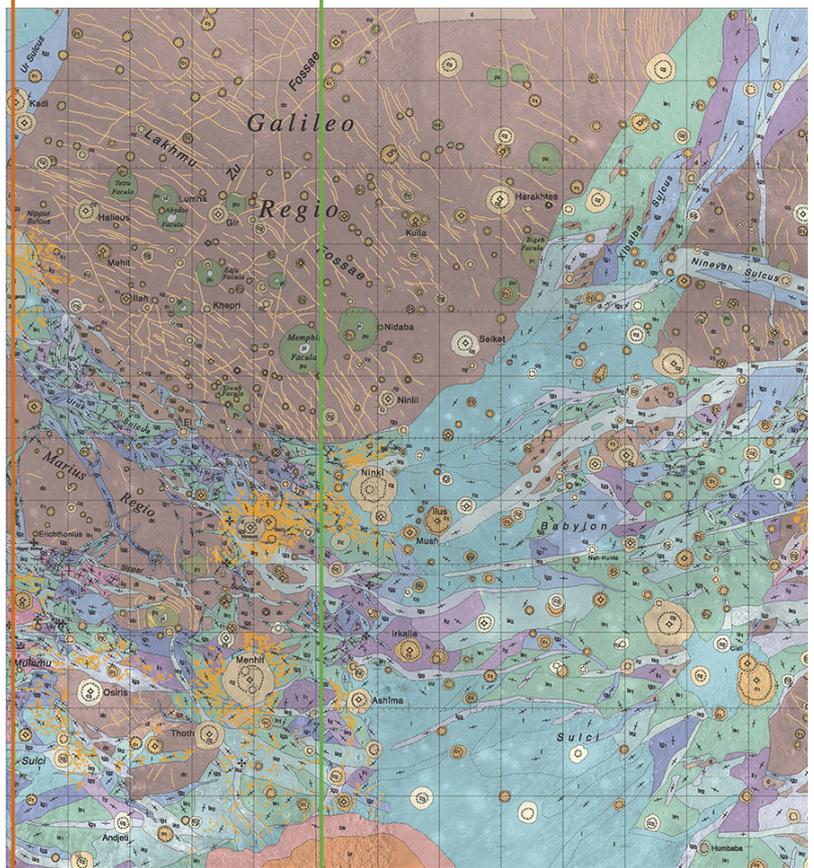
1. Galileo regio 2. Osiris 3. Sulcus d'Uruk
4. Marius regio 5. Babylon sulci

5. Comparaison des positions des cinq ensembles géomorphologiques identifiés dans cette étude entre, à droite, notre image en infrarouge centrée sur le MC 128° W acquise le 20 septembre 2022 à 0 h 38 min TU, et, à gauche, une photo en vraies couleurs de la sonde Galileo en 1996¹⁵.

Conclusion

Les amateurs qui photographient Jupiter obtiennent assez fréquemment des images des satellites galiléens montrant des détails. Cependant, très peu d'entre eux se sont intéressés à l'identification des structures observées. Ce compte rendu montre que cela est tout à fait possible et que la comparaison entre les images obtenues et les cartes provenant de l'observation des sondes spatiales permet d'identifier les détails observés et donc d'en assurer leur validité.

Enfin, rappelons que la mission spatiale **JUICE** (*Jupiter Icy Moons Explorer*) de l'EsA, dont le lancement est actuellement prévu en 2023, s'intéressera aux trois des quatre satellites galiléens (à l'exception de Io) supposés abriter des océans sous-glaciaires, avec une attention particulière pour Ganymède¹⁶. ■



20/09/2022
23 h 24 min
(MC 179° W)

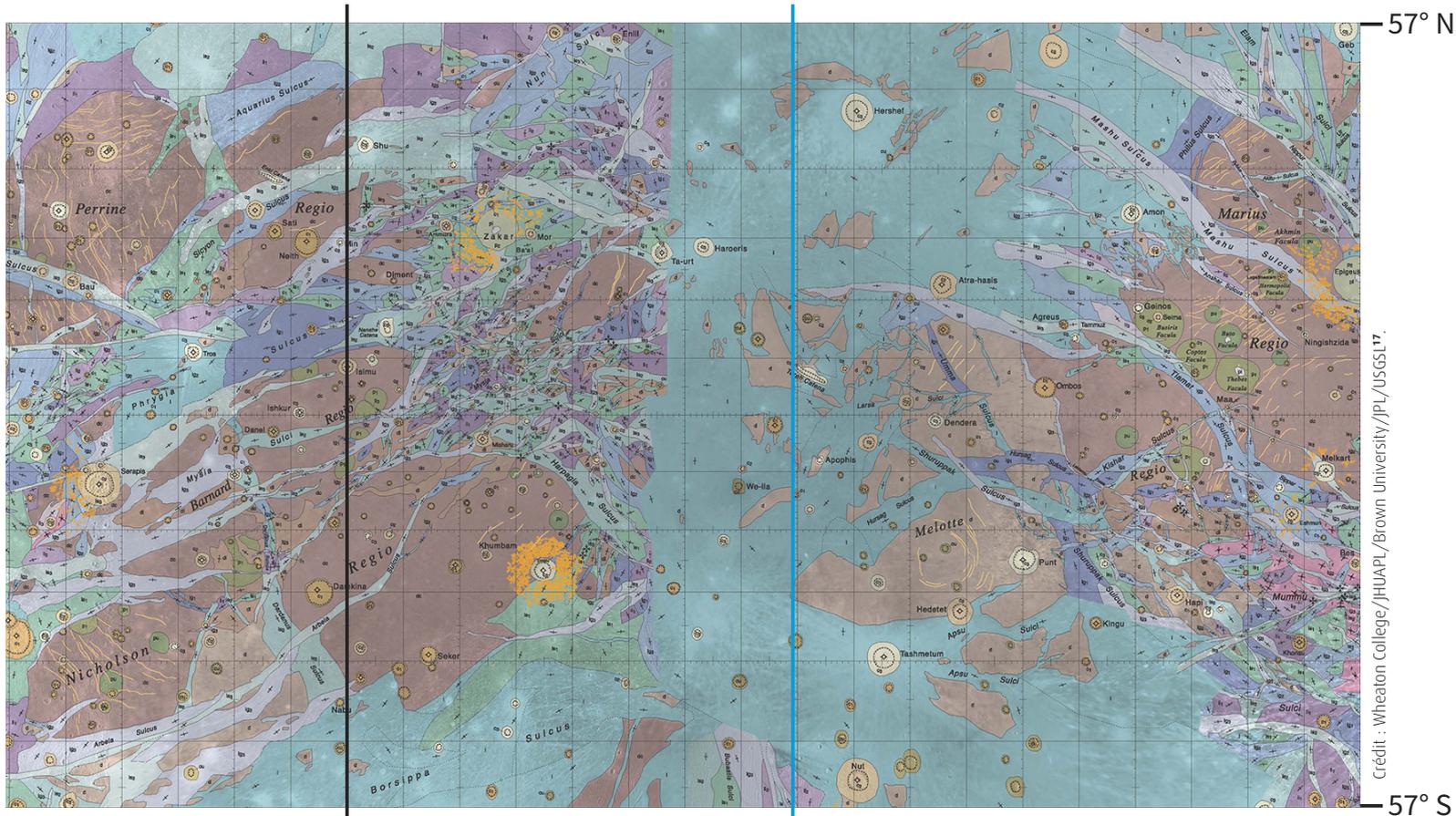
20/09/2022
0 h 38 min
(MC 128° W)

Remerciements

Nous tenons à remercier l'Observatoire de Paris (Syrté) ainsi que l'association AstroQueyras pour l'utilisation du T62. Merci également à B. Dauchet pour l'organisation de la mission CAA S38 2022 ainsi qu'aux participants pour avoir rendu ces observations possibles.

Notes

1. Audoin Dollfus, « La rotation, la cartographie et la photométrie des satellites de Jupiter », John B. Murray Woszczyk et Iwaniszewska (eds.), *Exploration of the Planetary System*, 513-525. 1974 IAU. - 2. Camichel *et al.*, 1943. H. Camichel, G. Gentili, B. Lyot. *Astronomie*, 57 (1943), p. 49. - 3. Lyot Bernard (posthume), « L'aspect des planètes au Pic du Midi dans la lunette de 60 cm d'ouverture », *L'Astronomie : Bulletin de la Société astronomique de France*, janv. 1953.
4. Thomas B. McCord, Gary B. Hansen et Charles A. Hibbitts, « Hydrated Salt Minerals on Ganymede's Surface: Evidence of an Ocean Below », *Science*, 25 mai 2001, vol. 292, Issue 5521 p. 1523-1525 [https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1059916].
5. [https://space.jpl.nasa.gov/]. - 6. Valeurs des MC obtenues à partir du logiciel WinJUPOS [http://www.grischa-hahn.homepage.t-online.de].
7. [https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Ganymede/Voyager-Galileo/Ganymede_Voyager_GalileoSSL_global_mosaic_1km]. - 8. USGS : United States Geological Survey (Institut d'études géologiques des États-Unis). - 9. Le premier méridien (PM) de Ganymède a été choisi sur la longitude centrale de la face de Ganymède toujours exposée à Jupiter (rotation synchrone). - 10. Khurana Krishan K., Pappalardo Robert T., Murphy Nate, Denk Tilmann (2007), « The origin of Ganymede's polar caps », *Icarus*. 191 (1): 193-202.
11. [https://astropedia.astrogeology.usgs.gov/download/Ganymede/Voyager-Galileo/thumbs/Ganymede_Voyager_GalileoSSL_global_mosaic_1024.jpg]. - 12. En exogéologie, un sulcus désigne un sillon, un fossé, un pli ou une ride. - 13. shorturl.at/dM246 - 14. Taches plus brillantes. - 15. À la différence de la photo mosaïque réalisée par l'USGS (figure 4) où le premier méridien est aux deux extrémités de l'image. - 16. *Global Geologic Map of Ganymede*, 2013, Geoffrey C. Collins, G. Wesley Patterson, James W. Head, Robert T. Pappalardo, Louise M. Prockter, Baerbel K. Lucchitta, and Jonathan P. Kay [https://pubs.usgs.gov/sim/3237/pdf/sim3237_mapsheet.pdf].
17. [https://www.jhuapl.edu/Content/images/pressrelease/140212_1_lg.jpg].
18. [https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice].



Premier méridien (MC 0°)

23/09/2022
1 h 33 min
(MC 282° W)

6. Carte géologique de la bande de 57° N à 57° S, avec le premier méridien au centre¹⁵, réalisée en 2013 par l'USGS¹⁶ et¹⁷ à partir d'images de *Voyager 1* et *2* (1979) et *Galileo* (1995-2003). La circonférence équatoriale est de 16 532 km. Les positions des méridiens centraux (MC) des trois images acquises dans cette étude sont reportées par un trait de couleur.

Crédit : Wheaton College / JHUAPL / Brown University / PL / USGS¹⁷.

SIMULATION DE L'ASPECT DE GANYMÈDE

Le Jet Propulsion Laboratory, centre de recherche spatial de la Nasa, met à disposition un simulateur du Système solaire. La position des astres et l'aspect des planètes et de leurs satellites sont accessibles à cette adresse : <https://space.jpl.nasa.gov>



Écran d'accueil avec les différentes options pour visualiser Ganymède depuis la Terre le 20 septembre 2022 à 23 h 25 min.

La fenêtre suivante montre l'aspect de Ganymède.