

# Observer les phénomènes mutuels des satellites de Jupiter de mars à novembre 2021

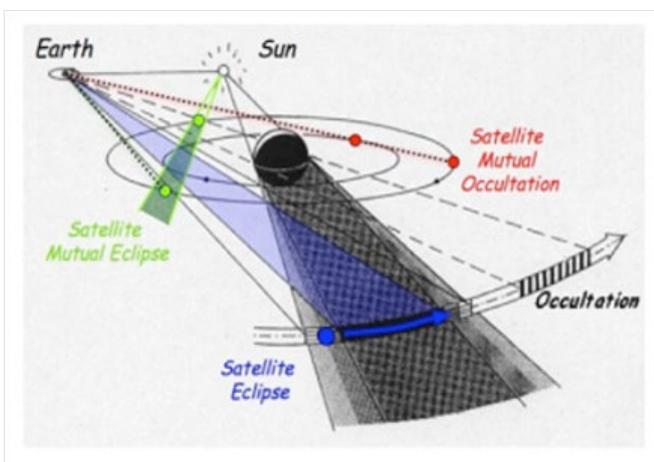
Jean-Eudes Arlot

*La planète Jupiter gravite autour du Soleil avec une période de 12 ans. Tous les 6 ans le Soleil et la Terre traverse le plan équatorial sur lequel orbitent les satellites galiléens de Jupiter. Depuis la Terre il est alors possible d'observer une série d'éclipses et d'occultations entre ces satellites. C'est la période dite des PHEMU (phénomènes mutuels des satellites de Jupiter). Les astronomes amateurs sont invités à faire des relevés photométriques de ces événements et de les transmettre aux professionnels afin d'améliorer la connaissance précise des orbites des satellites.*

## Introduction

En 2021, ce sera l'équinoxe sur Jupiter, c'est-à-dire que le Soleil va passer dans le plan équatorial de la planète. Les orbites des satellites galiléens se trouvent dans ce plan, si bien que des éclipses et des occultations entre satellites vont se produire durant cette période. L'observation de ces phénomènes rares est essentielle. Les données obtenues permettent d'approfondir notre connaissance de ce système et une campagne d'observation internationale va se dérouler à cette occasion, avec une forte participation des astronomes amateurs.

Bien que faciles (les satellites galiléens de Jupiter ont une magnitude de l'ordre de 5 et sont observables avec une petite lunette) les observations de ces phénomènes requièrent un soin particulier pour pouvoir être utilisées pour la validation des modèles de formation et d'évolution du système jovien. La mobilisation des observateurs pour cette opportunité qui ne se reproduit que tous les 6 ans est nécessaire et il est temps de se préparer.



*Le principe des phénomènes mutuels et des éclipses classiques.*

## L'enjeu scientifique

Le système des satellites galiléens est complexe, c'est un système solaire en miniature – Ganymède étant de la taille de Mars ou de Mercure – dont l'évolution rapide est riche d'enseignement. Les volcans de Io, la banquise et les éventuels océans d'Europe restent inexpliqués et mal connus. Des modèles de formation et d'évolution de ce système sont à l'étude et des observations astrométriques précises permettant de décrire les orbites sont essentielles pour la validation de ces modèles. Les sondes spatiales fournissent des données précieuses mais sur des temps trop courts pour valider des modèles d'évolution, aussi des observations du sol sont nécessaires. Il s'avère que les observations de ces phénomènes rares ont une précision proche de celles des sondes ce qui entraîne une mobilisation internationale pour ces observations.

## Le contexte

Ces phénomènes, observables pendant six mois tous les six ans, sont observés depuis l'équinoxe de 1973. Les prédictions nécessitant des calculs par ordinateur, ces observations sont donc récentes mais existantes depuis une quarantaine d'années elles permettent l'accumulation de données précieuses. La table jointe donne le bilan des observations pour chaque période favorable. Il est à noter que si l'équinoxe sur Jupiter tombe au moment de la conjonction Jupiter-Soleil, cela rend les observations très difficiles et donc peu nombreuses. En 2021, l'équinoxe jovien a lieu le 2 mai, l'opposition de Jupiter et du Soleil le 20 août et la plupart des observations se feront entre ces deux dates. La déclinaison de Jupiter sera négative, favorisant les observations dans l'hémisphère sud. Les observations seront bien entendu possibles dans l'hémisphère nord mais Jupiter sera assez bas sur l'horizon.

## La méthode

Les phénomènes mutuels ressemblent un peu aux éclipses classiques des satellites entrant dans l'ombre de Jupiter et qui se produisent en permanence. Malheureusement ces éclipses n'offrent pas la même qualité d'observation que les phénomènes mutuels. Observées intensivement aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, les éclipses par Jupiter ont été supplantées par les observations photographiques, aujourd'hui elles-mêmes dépassées par les phénomènes mutuels.



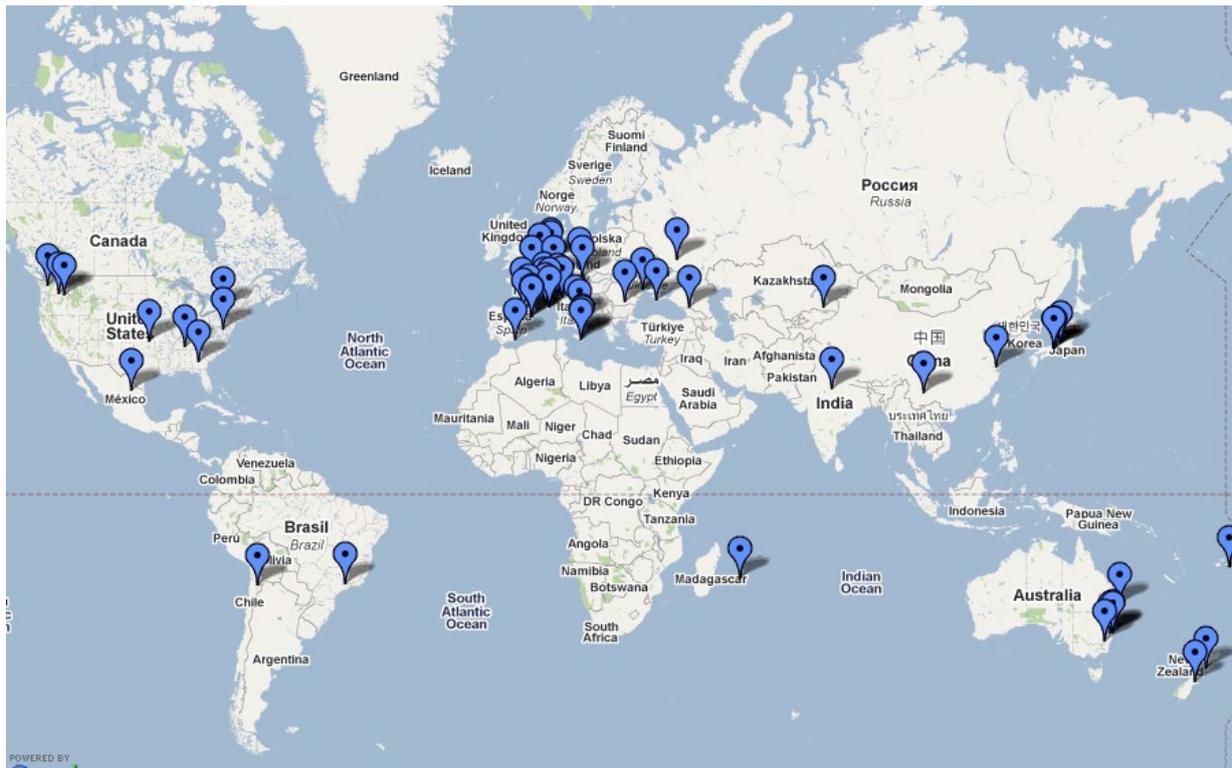
De gauche à droite : l'ombre de Io sur Ganymède, l'occultation d'Europe par Ganymède et un schéma montrant comment se construit la courbe de lumière. La qualité des images n'est pas essentielle : mieux, il est recommandé de défocaliser légèrement les images pour éviter la saturation et obtenir une meilleure photométrie.

L'observation des phénomènes mutuels est une observation photométrique : on réalise une suite

d'images (un film à la vitesse de quelques images par seconde, la cadence vidéo étant souvent utilisée bien qu'un peu trop rapide) et on mesure la quantité de lumière réfléchiée par les satellites durant le phénomène : soit une occultation d'une partie d'un satellite par un autre, soit une éclipse d'un satellite par un autre. L'absence d'atmosphère sur les satellites permet un signal net peu bruité et facile à modéliser contrairement aux éclipses par Jupiter gênées par l'atmosphère épaisse de la planète.

Un grand soin doit être apporté à cette observation pour être sûr qu'aucune lumière parasite ne va troubler l'observation.

Toutes les observations réalisées doivent être connectées entre elles : pour cela chaque image doit être datée en Temps Universel (le UTC de l'horloge parlante ou du GPS) avec une précision de 0,1 seconde de temps. Sans cela, l'observation est inutilisable. Des informations et un protocole d'observation est donnée sur le site web de la campagne [www.imcce.fr/phemu](http://www.imcce.fr/phemu)



La répartition des sites d'observation en longitude est essentielle pour observer le maximum de phénomènes © Google Maps.

## Les résultats

L'accumulation d'observations a déjà permis d'obtenir des résultats intéressants sur le système de Jupiter. Ainsi, les volcans de Io sont générés par les marées créées par Jupiter sur ce satellite et l'étude de l'évolution de l'orbite de Io, grâce à toutes les

observations astrométriques accumulées, a permis de démontrer que Io était en équilibre thermique : il ne se refroidit pas, son volcanisme étant entretenu par les marées provoquées par Jupiter. Plus directement, les volcans de Io ont été détectés lors d'une occultation de Io observée dans l'infrarouge.

Campagne	Taille des télescopes		Nombre de	
	< 50 cm	> 50 cm	sites	observations
	amateurs	professionnels		
1973	4	20	24	94
1979	4	7	11	22
1985	12	16	28	166
1991	37	19	56	374
1997	32	10	42	292
2003	34	15	42	377
2009	70	12	74	457
2015	74	13	75	609

Des statistiques sur les précédentes campagnes : en 1973, les amateurs observaient visuellement ; en 1979, la période favorable aux phénomènes avait lieu durant la conjonction Jupiter-Soleil. Les équinoxes dans l'hémisphère nord sont ceux de 1979, 1991, 2003 et 2015.

## Choix d'un phénomène mutuel à observer

Si vous souhaitez observer un phénomène mutuel, trois critères doivent être appliqués lors du choix du phénomène à observer :

- Jupiter doit être bien observable, suffisamment haut au-dessus de l'horizon et le Soleil doit être suffisamment sous l'horizon. Les observations sont possibles au crépuscule mais nécessitent quelques précautions ;
- les images du phénomène doivent être faciles à enregistrer, celui-ci doit se produire suffisamment loin du disque brillant de la planète (les images infrarouges avec des télescopes à focale longue permettent d'observer des phénomènes au plus près de Jupiter) et il doit avoir une chute de magnitude suffisante. La baisse de flux prévue doit être supérieure à 5 % pour être facilement mesurée. Cependant, lorsque plusieurs événements se produisent au cours d'une nuit, on peut essayer d'observer des événements même difficiles ;
- un autre satellite, différent de celui qui est occulté ou éclipsé doit être présent dans le champ afin d'être une référence photométrique pendant l'observation permettant d'éliminer la brume ou les nuages légers passant dans le ciel pendant le phénomène car nous faisons de la photométrie relative.

Nos logiciels interactifs permettront à l'observateur de trouver les meilleurs phénomènes observables depuis son propre site d'observation.

Visibilité des phénomènes pour un site donné sur :

<http://nsdb.imcce.fr/multisat/nsszph517he.htm>

Il convient aussi de bien identifier les satellites pour observer celui qui va être occulté ou éclipsé. On obtiendra la configuration du système jovien à tout moment sur :

<http://nsdb.imcce.fr/multisat/nssima5he.htm>

## Le télescope à utiliser

Les satellites galiléens sont très lumineux et les observations peuvent être faites avec de très petits télescopes. Cependant, certains critères indiquent si un télescope est capable de faire des observations utiles :

- l'instrument doit être très stable pour garantir des images stables pendant toute l'observation et le guidage du télescope doit être sûr afin d'éviter un décalage des images pendant l'observation.
- lunettes ou télescopes même avec une petite ouverture peuvent être utilisés pour observer les phénomènes mutuels.

## Détecteur et filtre

L'observation est une observation photométrique (mesure de la chute de luminosité lors de l'occultation ou de l'éclipse) réalisée grâce aux images enregistrées. L'observation sera la mesure d'un flux lumineux et il faut éviter tous les dispositifs modifiant le flux lumineux : tout système anti-éblouissement ou tout gain automatique rendra l'observation inutile, assurez-vous que ces dispositifs sont inexistantes ou débrayables sur votre détecteur.

La longueur d'onde dans laquelle vous ferez l'observation doit être bien connue pour faciliter la réduction. Vous pouvez combiner le profil de

sensibilité du détecteur avec un filtre pour diminuer la lumière provenant des satellites galiléens trop brillants mais vous devrez l'indiquer. Le filtre CH4 à 890 nm peut être utile : il assombriera le disque de Jupiter permettant d'observer même avec Jupiter proche des satellites.

## La datation du phénomène

Le timing de l'événement est fondamental. Toutes les observations faites dans le monde seront rassemblées pour l'analyse de la dynamique des satellites. Afin de relier les observations entre elles, nous avons besoin que chaque image soit datée en UTC (temps universel) à 0,1 seconde près. Plusieurs méthodes peuvent le permettre. Dans tous les cas, chaque image doit être datée selon une échelle de temps (interne ou locale). Cette échelle de temps peut être liée à UTC via le GPS, mais si ce n'est pas possible, il suffit de déterminer la différence par rapport à UTC avant et après le phénomène afin d'obtenir la différence et une éventuelle dérive de l'échelle. L'interpolation permettra alors de revenir en UTC pour chaque image. Notez que ce point est très important. Sans synchronisation UTC, une observation est inutile.

## Faire l'observation

Tout d'abord, l'observateur doit identifier le champ bien à l'avance. Nous fournissons des configurations sur notre site Web afin d'identifier les satellites et la taille du champ. Nous avons besoin de la présence de trois satellites dans le champ, le troisième, pas trop proche des autres étant la référence photométrique. Si le satellite éclipsant est suffisamment éloigné du satellite éclipsé, il peut être utilisé comme référence photométrique. Lors de l'observation, veillez à enregistrer le bon champ en identifiant correctement le nord et l'est. Choisissez soigneusement le temps d'intégration et la fréquence des images. Une plus grande intégration du temps (temps d'exposition pour chaque image) augmentera le rapport signal / bruit mais méfiez-vous de la forte luminosité des satellites. Plus de 10 images par seconde rendront la réduction difficile.

La prédiction des phénomènes n'est pas très précise et le phénomène peut commencer plusieurs minutes avant le temps prévu. Alors, commencez à observer au moins cinq minutes avant le début prévu. À des fins photométriques, enregistrez les satellites impliqués séparément avant ou après le phénomène. Pour cela, vous devrez peut-être faire des images (pendant une ou deux minutes) des satellites 15 ou 30 minutes avant ou après chaque phénomène. La plupart du temps, cela n'est possible qu'avant

ou après l'événement en raison du mouvement des satellites s'approchant de Jupiter ou de l'arrivée du crépuscule.

Pour que la séquence d'observation soit soigneusement suivie :

- être sûr de l'échelle de temps ;
- faire une observation des satellites séparément soit avant soit après le phénomène ou mieux, avant et après ;
- commencer l'observation au moins cinq minutes avant le début prévu et arrêter au moins cinq minutes après la fin prévue.

## La réduction des données

Le résultat final de l'observation est une courbe de lumière, c'est-à-dire un fichier de valeurs successives du flux lumineux, chacune datée en UTC ou à une échelle de temps référencée à UTC. Vous pouvez effectuer vous-même cette réduction comme suit :

- mesure du flux de chaque satellite présent dans le champ en soustrayant le fond du ciel de chaque mesure (d'abord les satellites séparément comme observé, ensuite les satellites pendant l'événement);
- utiliser le satellite de référence pour éliminer l'absorption en divisant le flux des satellites observés par celui du satellite de référence.

Une note technique Phemu est disponible pour vous aider à la réduction :

[https://www.imcce.fr/content/medias/recherche/campagnes-observations/phemu15/notes\\_tech/note05-fr.pdf](https://www.imcce.fr/content/medias/recherche/campagnes-observations/phemu15/notes_tech/note05-fr.pdf)

Votre courbe de lumière est maintenant prête à être envoyée pour une analyse globale.

## Envoi de votre observation

Un site est prévu pour que vous téléchargiez votre observation :

<http://www.sai.msu.ru/neb/nss/phemuobsai.htm>

Vous pouvez aussi envoyer votre enregistrement brut (même des images en format fits) accompagné d'un rapport indispensable pour une analyse de vos données utilisant la fiche d'observation à

<https://www.imcce.fr/content/medias/recherche/campagnes-observations/phemu15/fiche-obs-phemu-v4-fr.txt>

