



# L'astronomie dans le monde

*Image finale du trou noir de M87.  
(EHT Collaboration)*

## **Premières photos d'un trou noir**

La collaboration EHT (Event Horizon Telescope) a révélé la première photo d'un trou noir, celui situé au cœur de la galaxie M87 (=NGC 4486 ou Virgo A).

Le EHT est un réseau de radiotélescopes répartis sur le globe et permettant par interférométrie de simuler un télescope virtuel d'un diamètre équivalent à celui de la Terre.

Ce n'est évidemment pas le trou noir lui-même qui a été observé mais une image de son environnement, fortement altérée par l'intense gravitation. Le gaz qui tombe sur le trou noir via un disque d'accrétion est échauffé et émet dans tous les domaines de longueurs d'onde avant de disparaître une fois franchi l'« horizon des événements ». Les derniers photons qui parviennent à s'échapper sont tellement attirés par le trou noir qu'ils tournent d'abord autour de lui et forment un « anneau de photons ». C'est cet anneau que les scientifiques de l'EHT ont observé.

Le diamètre du trou noir n'est que d'un jour-lumière et demi, à comparer aux 57 millions d'années-lumière qui nous séparent de la galaxie. Cela lui donne un diamètre apparent de  $1,5/(365 \times 57\,000\,000) = 7 \cdot 10^{-11}$  radian ou 15 millièmes de seconde d'arc ( $\mu$ as).

Il s'agit pourtant du trou noir avec le deuxième plus grand diamètre apparent connu. Sgr A\*, le trou noir central de notre galaxie, bien qu'intrinsèquement beaucoup plus petit, a un plus grand diamètre apparent car il n'est qu'à 26 000 années-lumière. Son observation est cependant plus délicate en raison de sa plus grande variabilité. Le disque d'accrétion, beaucoup plus compact, tourne en effet mille fois plus vite que celui de M87.

Les autres trous noirs sont trop petits pour la résolution angulaire du EHT à la longueur d'onde de 1,3 mm utilisée cette fois-ci. Il est dans les projets du EHT d'utiliser des longueurs d'onde plus courtes, ce qui augmentera d'autant la résolution. À plus long terme, on utilisera des interféromètres de plus grande taille que la Terre. Par exemple, des antennes en orbite géostationnaire offriraient une base spatiale six fois plus large que la Terre et une résolution spatiale accrue d'un même facteur.

L'image obtenue par EHT est en bon accord avec les simulations, ce qui renforce la confiance des astronomes dans leurs modèles

d'accrétion. Elle confirme une fois de plus les idées d'Albert Einstein.

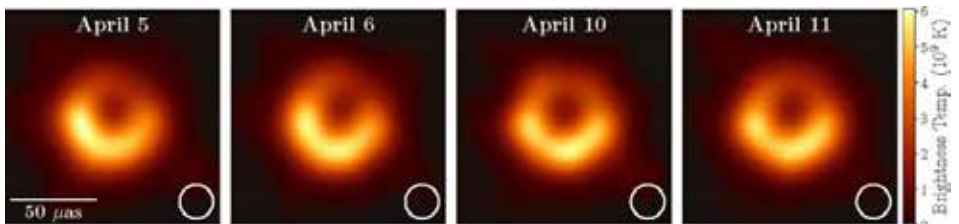
La taille de l'ombre a permis d'évaluer la masse du trou noir à 6,5 milliards de fois celle du Soleil, une valeur en accord avec certaines estimations antérieures.

L'asymétrie de l'image est due à la rotation du disque d'accrétion. La partie brillante au sud est due au gaz venant vers nous. Au nord on voit le gaz qui s'éloigne.



▲ Huit radiotélescopes répartis sur six sites ont été utilisés en avril 2017 pour capturer l'image de l'anneau de photons du trou noir de M87. ALMA et APEX (Chili), JCMT et SMA (Hawaii), LMT (Mexique), Pico Veleta (Espagne), SMT (USA), et le South Pole Telescope.  
 (© APEX, IRAM, G. Narayanan, J. McMahon, JCMT/JAC, S. Hostler, D. Harvey, ESO / C. Malin)

Images EHT du trou noir lors de chacune des quatre nuits d'observation. Le cercle blanc donne la résolution de l'interféromètre.  
 (EHT Collaboration) ▼



## CaSSIS

Lancée vers la Planète rouge le 14 mars 2016 à bord du TGO (ExoMars Trace Gas Orbiter), la caméra bernoise CaSSIS a commencé ses observations en avril 2018 et fournit des images couleur en haute résolution de la surface.

ExoMars est une mission de l'ESA (European Space Agency) en coopération avec l'agence russe Roscosmos. Son appellation signifie exobiologie sur Mars : pour la première fois depuis les années 70 on y recherche activement des traces de vie. Le TGO traque des gaz comme le méthane. Un autre composant du programme ExoMars, le rover « Rosalind Franklin » qui devrait être lancé l'an prochain s'occupera de l'environnement chimique et de son évolution.

Toute une série d'images prises par CaSSIS viennent d'être publiées. Parmi les plus remarquables on notera des vues de l'atterrisseur de la NASA InSight – une première pour l'Europe. L'atterrisseur avait déjà été photographié par le MRO (Mars Reconnaissance Orbiter) de la NASA.

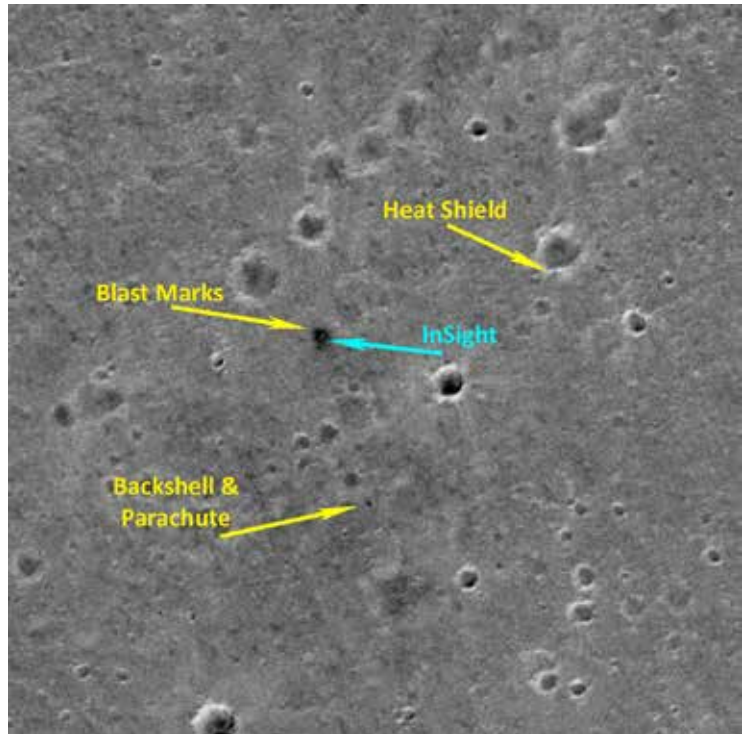
### *Le site d'atterrissage d'InSight dans Elysium Planitia.*

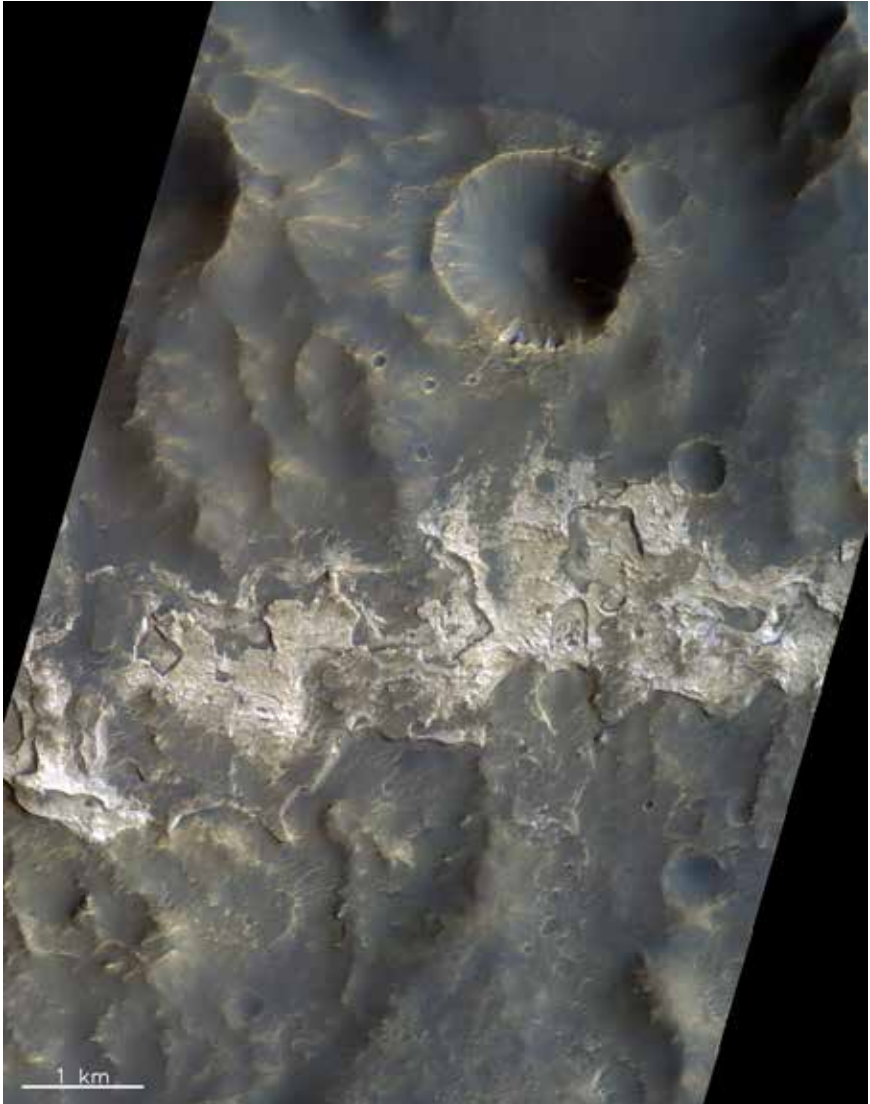
*L'image prise par CaSSIS montre une aire de 2,25 kilomètres de côté. Au moment de la prise de vue, InSight tentait d'enfoncer une sonde dans le sol martien afin d'estimer le flux de chaleur s'échappant des entrailles de la planète. InSight est le pixel plus clair au centre d'une tache sombre produite par les rétrofusées. Le bouclier thermique libéré juste avant l'atterrissage est visible au bord d'un cratère. Le couvercle de protection est également sur l'image. (ESA/Roscosmos/CaSSIS)*

Le TGO collabore avec InSight. Il lui sert de relais de communication. CaSSIS devrait aussi aider à identifier les sites d'impacts météoritiques que pourrait détecter le sismomètre d'InSight.

Parmi les autres images on note des vues à haute résolution de formations curieuses, des vues stéréo, des images mettant en évidence la diversité des minéraux, les dépôts polaires, les champs de dunes. Les images stéréo fournissent des informations essentielles sur les différences d'élévation, permettant ainsi de déchiffrer l'histoire des différentes couches.

En combinant les données de CaSSIS avec celles d'autres missions, les scientifiques peuvent par exemple reconnaître les régions qui ont été affectées par l'eau. Les images pourront aussi servir de guide pour les prochaines missions d'exploration.





*Image par CaSSIS du cratère Columbus de 100 kilomètres de diamètre dans Terra Sirenum. Des minéraux hydratés, dont des sulfates, recouvrent des roches plus claires. Ces dépôts sont attribués à des lacs qui se sont évaporés.  
(ESA/Roscosmos/CaSSIS)*

## ***Une autre croix d'Einstein***

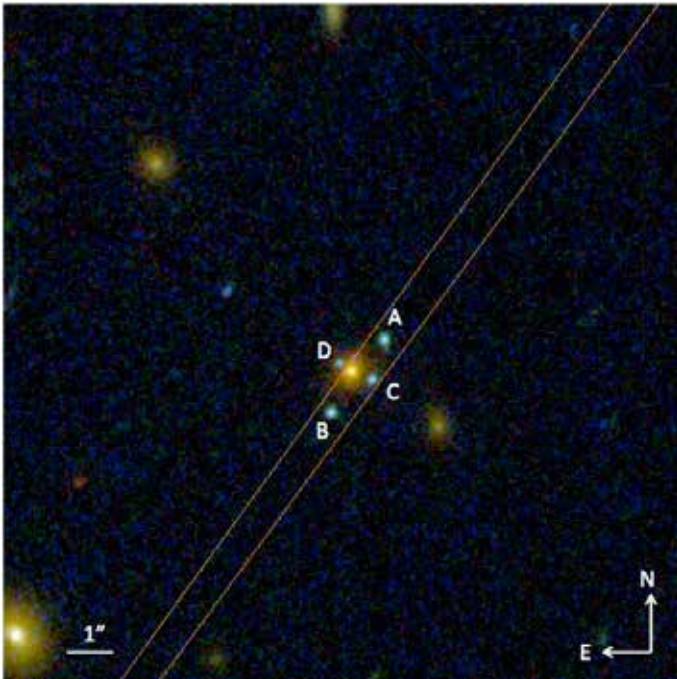
La théorie de la relativité générale explique le phénomène de lentille gravitationnelle qui modifie l'aspect d'un objet d'arrière-plan situé sur la ligne de visée d'un objet massif. Une galaxie lointaine peut être déformée en arc, en anneau et même multipliée en plusieurs images selon la qualité de l'alignement. Un cas extrême est la formation de quatre images, la « croix d'Einstein ». La séparation entre les images est petite et il faut une bonne résolution pour observer le phénomène.

L'appellation de croix d'Einstein a été donnée pour la première fois au quasar QSO 2237+0305 G qui montre quatre images bien réparties autour de celle du noyau de la galaxie, le tout sur moins de deux secondes d'arc. Le redshift des quatre images est exactement le même, ce qui laisse peu de doute

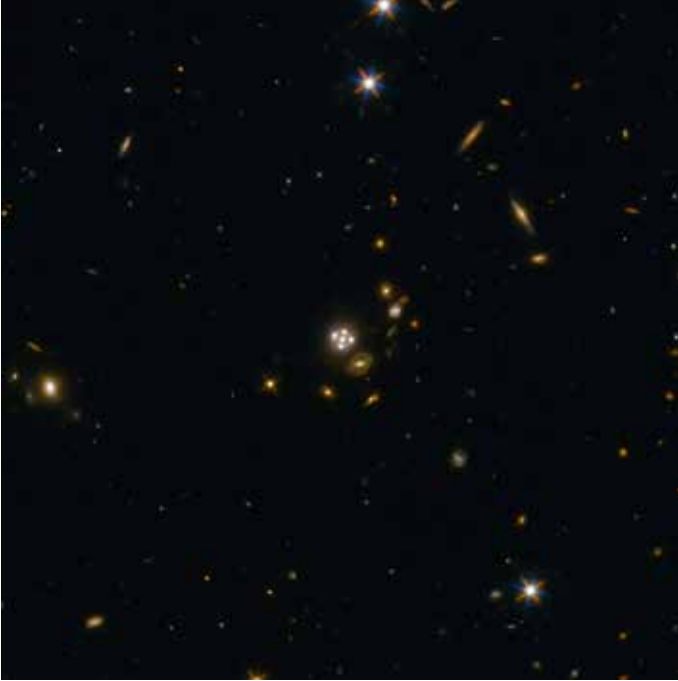
sur le fait qu'il s'agisse bien du même objet. On estime que l'alignement de la galaxie et du quasar est meilleur que 0,05 seconde d'arc.

D'autres exemples ont été découverts par la suite, comme HE0435-1223. Le dernier est A J2211-0350. Contrairement à la plupart des autres, il ne s'agit pas d'un quasar mais d'une galaxie montrant une forte activité de formation stellaire. Des observations spectroscopiques ont pu confirmer la nature des images.

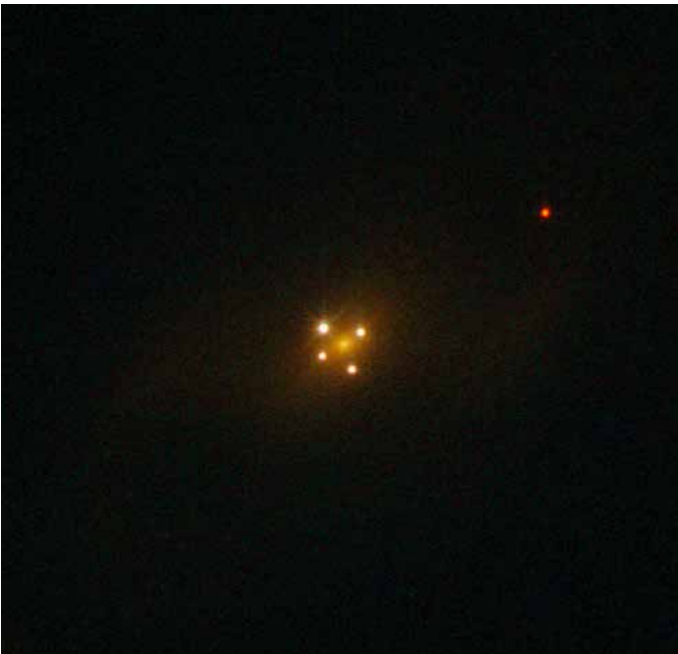
Les lentilles de ce genre sont intéressantes pour les astronomes. La lumière de l'objet a suivi quatre trajets différents, traversé des régions différentes et mis des temps différents pour nous parvenir. On peut en déduire des informations sur la galaxie lentille et sur la variabilité de la source par exemple. Des modèles montrent que l'éclat de la galaxie source a été amplifié d'un facteur cinq environ.



*La nouvelle croix d'Einstein, J2211-0350. Une galaxie elliptique (jaune) agit comme lentille gravitationnelle et produit quatre images d'une galaxie trois fois plus lointaine. (Instituto de Astrofísica de Canarias)*



*Le quasar HE0435-1223 est l'un des plus jolis exemples de lentille gravitationnelle. Outre les quatre images, on peut voir un anneau qui les relie.  
(ESA/Hubble, NASA, Suyu et al.)*



*UZC J224030.2+032131 est une autre croix d'Einstein : un quasar situé dix fois plus loin qu'une galaxie sur la même ligne de visée.  
(ESA/Hubble & NASA)*

## **Un cratère au Nicaragua ?**

*Basé sur un communiqué CNRS/INSU*

Une large dépression circulaire de 14 kilomètres de diamètre dans les roches volcaniques des montagnes du nord du Nicaragua, nommée Pantasma, était généralement réputée provenir d'un effondrement volcanique. Cependant une étude de terrain menée en 2016 et les analyses pétrologiques et géochimiques montrent que cette dépression résulte de l'impact d'un astéroïde qui aurait eu lieu il y a 800 000 ans, un événement beaucoup plus récent que le volcanisme local.

La datation a été obtenue par la *radiochronologie* argon/argon sur un verre produit par l'impact. La formation de ce verre lors d'un impact est démontrée par la très faible teneur en eau et la présence de deux phases de haute pression polymorphes du quartz et du zircon : la coésite ( $\text{SiO}_2$ ) et la reidite ( $\text{ZrSiO}_4$ ). Les conditions pendant l'impact sont estimées à une température supérieure à 2000°C et une pression supérieure à 30GPa. Une brèche d'impact trouvée dans le centre du cratère révèle la trace de matière extraterrestre, démontrée par les rapports isotopiques du chrome. La composition isotopique de l'impacteur en provenance de la ceinture d'astéroïdes correspond à une chondrite ordinaire.

Pantasma est le premier cratère d'impact découvert en Amérique centrale, et seulement le quatrième de plus de dix kilomètres et de moins de trois millions d'années connu sur Terre (avec les cratères de Bosumtwi au Ghana, Zhamanshin au Kazakhstan et Hiawatha au Groenland).

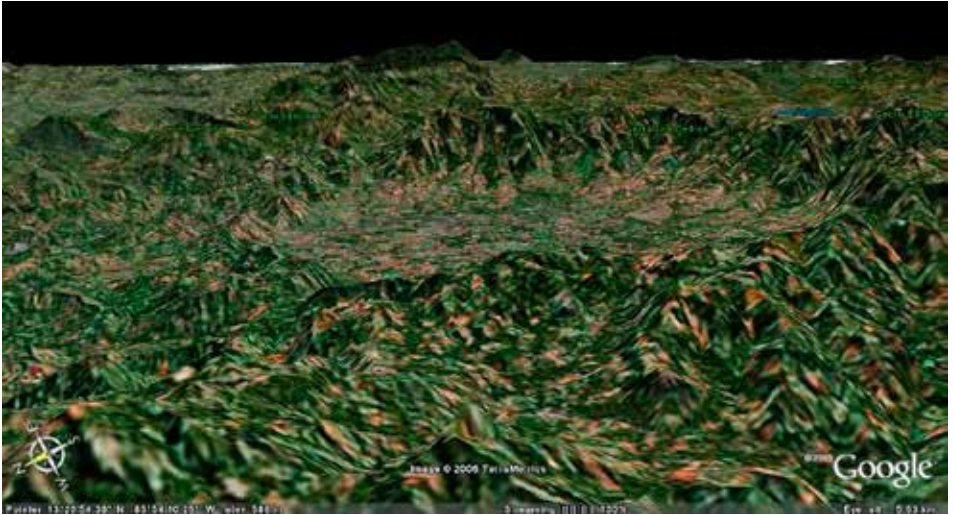
La modification de la forme du cratère par l'érosion très active de la région a été modélisée et est compatible avec l'âge de l'impact. Cette découverte confirme qu'il reste



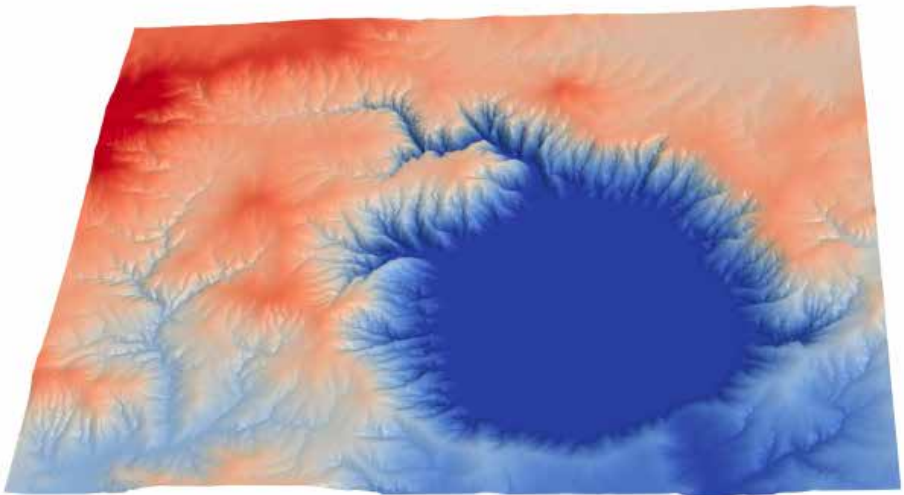
***La Vallée de Pantasma, au nord du Nicaragua, aurait été formée par l'impact d'un astéroïde il y a 800 000 ans.***  
***(Rochette et al., 2019)***

de nombreux gros cratères exposés en surface à découvrir sur Terre, de préférence dans les régions reculées (telle que le Groenland) ou peu étudiées (Afrique, Amérique latine, Asie), où la densité de gros cratères connus est en moyenne cinq fois plus faible qu'en Europe, Amérique du Nord et Australie. Le premier groupe de continents compte seulement quatorze cratères de plus de dix kilomètres exposés en surface, soit deux fois moins que le deuxième groupe, alors que sa superficie est plus du double.

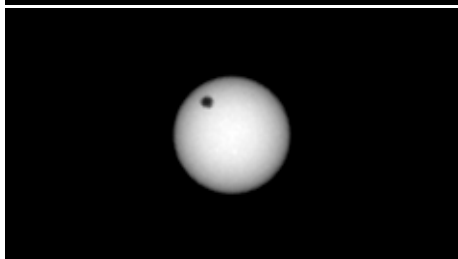
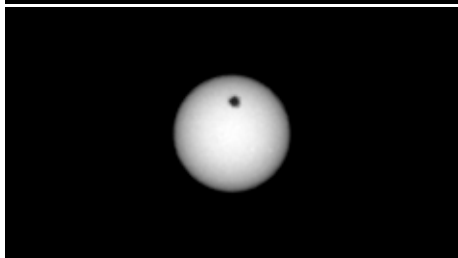
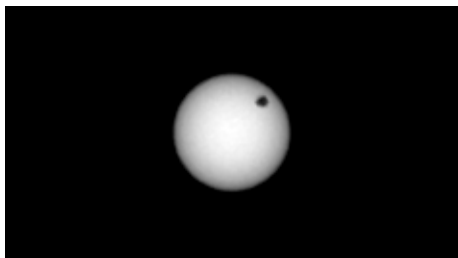
Les auteurs proposent aussi de tester l'hypothèse que le champ de verres d'impact (tectites) découvert au Belize, à 500 km plus au nord, provienne du cratère de Pantasma. Les âges argon/argon sont concordants ainsi que la composition isotopique et chimique. Le couple [tectite du Belize, cratère de Pantasma] présente des caractéristiques très proches du couple [tectite de Côte d'Ivoire, cratère de Bosumtwi], y compris le même type d'impacteur.



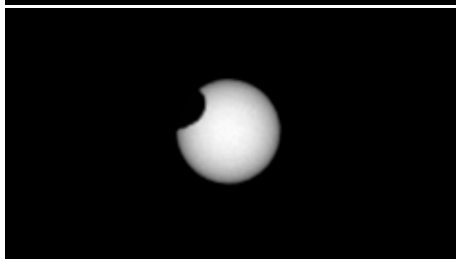
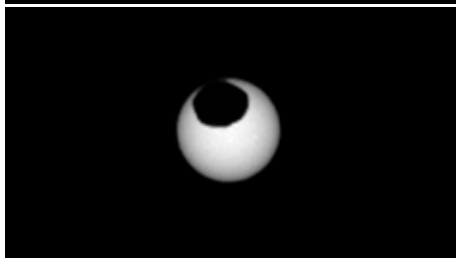
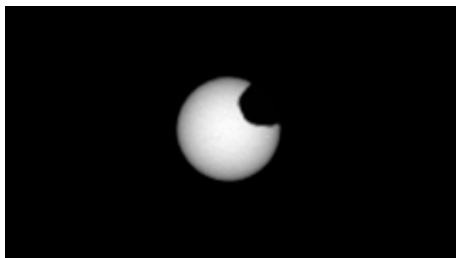
*La vallée de Pantasma.  
(Google Earth)*



*Modèle topographique d'érosion partant de la topographie actuelle et incluant la formation d'un lac au fond du cratère de Pantasma. (Rochette et al., 2019)*



*Transit de Deimos devant le Soleil le 17 mars, vu par Curiosity depuis la surface de Mars. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)*



*Transit de Phobos devant le Soleil le 26 mars, vu par Curiosity. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)*

## ***Transits martiens***

Les satellites de Mars, Phobos et Deimos, sont trop petits ou trop lointains pour projeter une ombre vraie sur la surface de Mars. Autrement dit, un observateur martien ne voit jamais d'éclipse totale du Soleil, mais des éclipses partielles ou plutôt des transits. Jusqu'à présent les rovers martiens Spirit, Opportunity et Curiosity ont accumulé un total de 8 transits de Deimos et 40 de Phobos. L'intérêt principal de ces observations est de déterminer avec précision les orbites des satellites, ceux-ci étant soumis à de constantes perturbations gravitationnelles de la part de Mars, ou de l'un sur l'autre.

En mars de cette année, outre le transit de chacun des satellites, Curiosity a pu photographier le passage de l'ombre de Phobos dans la haute atmosphère, alors que le Soleil venait de se coucher. Il aurait fallu s'élever en altitude pour observer le transit, mais on peut dire qu'il a été vu de façon indirecte.

*Page de droite : l'ombre projetée par Phobos dans l'atmosphère le 25 mars après le coucher du Soleil.*

*Phobos tourne autour de Mars en moins de 8 heures, donc beaucoup plus vite que la planète elle-même. Un observateur martien voit ainsi Phobos tourner en sens inverse du Soleil. L'ombre projetée sur les images est donc celle d'un Phobos en train de se lever devant un Soleil couchant. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)*

