

## Impressions lunaires : À la découverte des rainures d'Hyginus

Pierre Le Fur

*Cet article nous invite à refaire les observations historiques décrites par François Arago dans son « Astronomie Populaire » sur une région particulière de notre satellite naturel : le cratère Hyginus et ses rainures. Un exemple d'activité motivante à réaliser avec des élèves en utilisant les outils modernes.*

### Un monde se découvre

Vous rappelez-vous de l'étonnement ressenti lors de votre premier regard à l'oculaire d'un télescope braqué sur les reliefs lunaires ? Cette impressionnante vision d'un nouveau monde qui se découvre à nous est restée imprimée dans notre cœur autant que dans notre mémoire. Cette émotion ressentie, nul ne sait mieux l'exprimer que Victor Hugo dans le « promontoire des songes » [1] : « Tout à coup, j'eus un soubresaut, un éclair flamboya, ce fut merveilleux et formidable, je fermai les yeux d'éblouissement. Je venais de voir le soleil se lever dans la lune. »...

« Puis successivement resplendirent, comme les couronnes de flamme que porte l'ombre, comme les margelles de braise du puits de l'abîme, le mont Proclus, le mont Cléomèdes, le mont Pétavius, ces Vésuves et ces Etnas de là-haut; »... « des vallées se creusaient, des précipices s'ouvraient... » « Cela existait magnifiquement. »... « Arago m'expliqua ». « Cette vision est un de mes profonds souvenirs. »

Il écrivit ces lignes trente ans après avoir observé la blonde Phoebe, en 1834, à l'Observatoire de Paris, invité par son ami Arago, directeur de l'observatoire [2]. L'immense émotion avait frappé son esprit et imprimé sa mémoire. Ce monde si lointain à cette époque semble si proche après les épopées lunaires des missions Apollo qu'on pourrait oublier de l'observer, de l'ausculter, de le photographier.

C'est aussi l'occasion de lutter contre les influentes théories du complot qui nient la réalité de l'homme sur la Lune. À l'heure des sondes Kaguya, Chang'e, et des rovers Yutu, je vous invite à redécouvrir ce monde sélène, non dans sa totalité mais dans son originalité, à travers l'exemple d'une région bien particulière : le cratère Hyginus et ses « rainures ».

### Morphologie

#### Schroeter et la rainure d'Hyginus

Dans son « Astronomie Populaire » [3], le même François Arago entame une description détaillée de

notre satellite naturel. Là, il s'appuie sur les observations visuelles de Johan Hyéronimus Schroeter, astronome à Lilienthal (Basse Saxe). Entre 1782 et 1813, dans son observatoire équipé d'un télescope de type Herschel, à miroir de bronze, il parcourut visuellement la Lune et réalisa de nombreux dessins.

Ses travaux regroupés dans « Selenotopographische fragmente » furent publiés en 1802. On y trouvera également les traces de ses recherches sur les séléniens qu'une hypothétique atmosphère aurait permis de maintenir en vie.

Il fut le premier à remarquer des rainures fines [4], [5], « dals vom hyginus zwey eingetifte drillen... » ; fossés visibles aux environs du premier quartier, dont l'existence fut confirmée le 29 février 1792. Ceux-ci se coupent sur le cratère Hyginus, non loin de la mer des vapeurs (voir figure 1).



**Fig.1.** Première représentation de Schroeter du réseau de rainures dans la région d'Agrippa, (avec Hyginus petit cratère en bas à gauche au milieu de la rainure qui se termine dans Agrippa) découvert par Schroeter en décembre 1788 (télescope de 152 mm, Grossissement x134 [6]).

Un télescope d'amateur débutant de 100 mm de diamètre ou une lunette de 80 mm permet de refaire ces observations historiques avec une précision et une résolution accrue par les progrès de l'optique ; des détails de moins de trois kilomètres précisent alors la forme en V de ce fossé de plus de 200 km de long (figure 2).

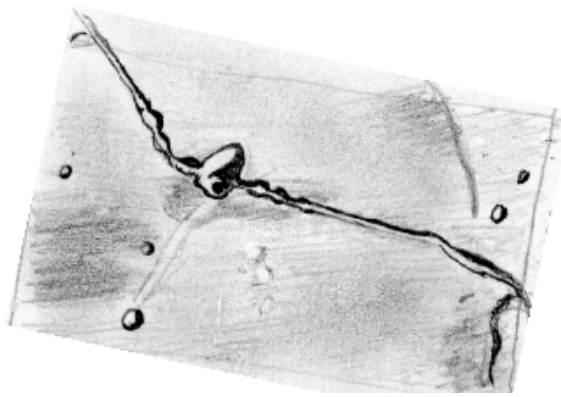
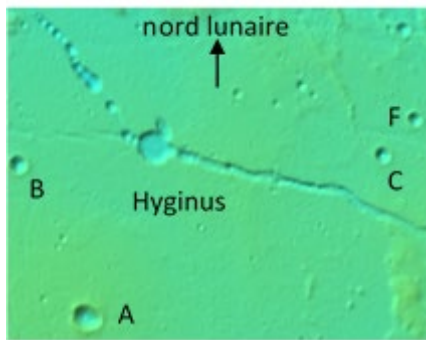


Fig.2. Observation visuelle au télescope de 100 mm, le 08 juin 1973 G=150 X, turbulence très faible. Centrée sur 21h20min TU (durée 25 min) 1 jour après le premier quartier.; résolution  $\approx 1,5''$  d'arc (2 km sur la Lune).



Rainure d'Hyginus de largeur moyenne 3 km.  
Cratère F diamètre 4 km.  
Carte altimétrique par Lunar Reconnaissance Orbiter lancé en 2009 (NASA).

La réalisation de croquis pris à l'oculaire conduit à découvrir minute après minute de nouveaux détails que l'œil révèle d'autant mieux que le cerveau s'adapte à l'analyse de ces visions furtives et turbulentes.

### Le miracle des images numériques

Réaliser des dessins exploitables nécessite beaucoup de patience et reste un travail certes très formateur mais solitaire, une sorte de face à face intime avec notre satellite.

Rares seront les jeunes attirés par ce type d'activité. Alors que réaliser des clichés lunaires, les exploiter, les analyser va motiver nombres d'élèves et d'étudiants. D'autant que cette activité ne nécessite pas un matériel trop sophistiqué : une webcam ou une caméra astronomique simple, des logiciels de traitement gratuits (Autostaekert et Registax 6). On réalise quelques prises de vue vidéo (5 à 6 minutes maximum par prise de 5000 images) avec un petit groupe d'élèves motivés, puis on peut traiter et étudier les images en classe. Nous verrons par la suite des exemples de tels travaux. La figure 3 réalisée avec une focale modeste d'environ 1,50 m présente la région centrale de la Lune au cœur de laquelle « trône » cette rainure.

Examiner une telle image est l'occasion rêvée d'apprendre à utiliser une carte de la Lune ou mieux

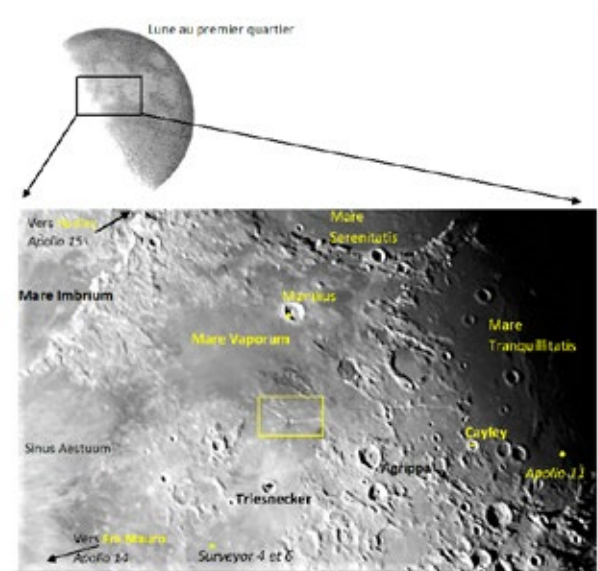


Fig.3. Région du centre lunaire (1200X1800km environ), 28 octobre 2010 5 h 15 TU F/D=5 (Meade 305mm 375 images/1800 caméra Imaging source couleur) 2 jours avant le dernier quartier. La rainure d'Hyginus est contenue dans le cadre jaune central (100x200 km). (photo de l'auteur).

un atlas comme celui du célèbre Antonin Rüchli [7]. De nombreuses informations sont également disponibles dans l'atlas virtuel de la Lune, «AVL », indispensable logiciel, téléchargeable gratuitement sur internet [8]. On y apprend qu'Hyginus est le nom d'un écrivain-poète de langue latine qui vécut autour de l'an 0 de notre ère.

On peut alors reconnaître la mer des vapeurs, les cratères voisins Agrippa et Triesnecker. Un site de grande importance géologique apparaît en haut à gauche, c'est la mer des pluies (Mare Imbrium) bordée au sud-est par la chaîne des Apennins lunaires.

Elle donne son nom à une période majeure de l'histoire de la formation de la Lune : l'Imbrium situé entre -3,7 et - 3,2 giga-années juste après le maximum du bombardement météoritique massif [9].

On remarque qu'à 600 km au sud, deux sondes Surveyor lancées fin 1967 par la NASA attendent posées (pour Surveyor 6) mais invisibles pour l'observateur, ou fracassées (Surveyor 4) sur le sol du sinus medii (golfe du centre). Cette région devait être le lieu d'un alunissage Apollo. Mais c'est la mer de la tranquillité, 1 200 km à l'Est, qui fut retenue pour le premier pas de l'homme sur la Lune, lors de la mission Apollo 11 le 21 juillet 1969. D'ailleurs, un premier test de décollage depuis le sol lunaire fut réalisé avec succès par Surveyor 6 en novembre 67 : il fallait être certain que les astronautes pourraient assurer ainsi le retour sur Terre.

À l'époque d'Apollo, la photo argentique utilisée par les professionnels comme les amateurs était le seul moyen de fixer les détails lunaires. On se souvient des photographies réalisées au télescope d'1 m du Pic du Midi afin de

préparer les cartes pour l'exploration lunaire et de celles de l'atlas d'amateur de Georges Viscardy qui balaya notre satellite depuis son observatoire «monégasque» équipé d'un télescope de 350 mm. Toutefois l'observation visuelle restait plus précise encore.

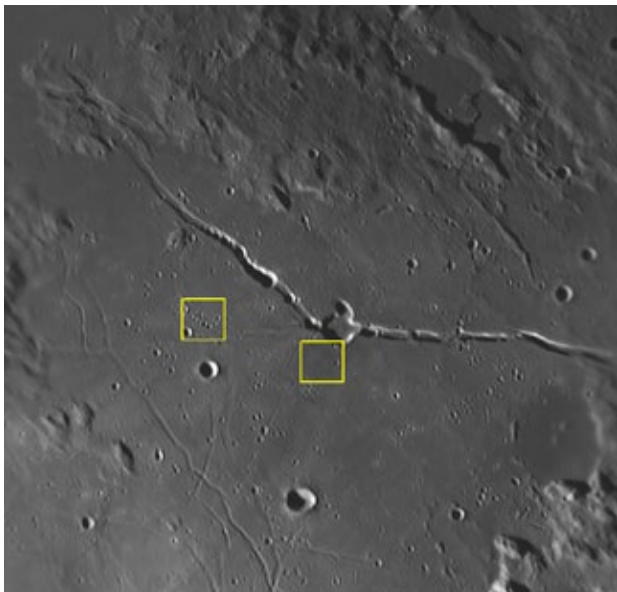
La révolution des images numériques permet maintenant d'atteindre la résolution théorique des instruments lorsque l'atmosphère reste raisonnablement calme. Pour preuves les fabuleux travaux photographiques des Higgins, Thierry Legault et autres Damian Peach, [10] [11], dont la résolution de 500 m à 300 m sur la Lune dépasse totalement celle des atlas précédents et même rivalise avec les résultats de la sonde Clémentine [12].

Rappelons la relation très approchée entre le diamètre de l'instrument D et la résolution sur le sol lunaire R (km) :  $R(km) \approx 200 / D(mm)$

Des détails de près d'1 km sont accessibles avec un instrument de 200 mm.

### Estimer les dimensions avec Géogebra

Obtenir un cliché détaillé exploitable ne nécessite plus qu'un instrument optiquement bien réglé doté d'une monture motorisée qui permet de compenser la rotation de la Terre. L'exemple proposé figure 4 montre un gros plan obtenu en ville, par turbulence modérée, avec un télescope de 300 mm équipé d'une monture de médiocre qualité, assurant un suivi approximatif, pendant une prise de film de 5 minutes. Malgré tout, la



**Fig.4.** Gros plan sur Hyginus (environ 200x200 km<sup>2</sup>) obtenu avec un télescope Meade 305 mm LX 90 à monture azimutale le 6 août 2015 à 2 h 20 min TU. F/D = 25 ; 2 000 images sur 6 869, pose 20 ms à 22 images par seconde avec une caméra noir et blanc « I Nova » résolution 0,5 » soit environ (élévation du Soleil 13°) un jour avant le dernier quartier (auteur).

**Fig.4bis.** En jaune deux carrés de 10 x 10 km de côté permettant de calculer la densité locale de cratères.

Au nord d'Hyginus B, 10 cratères / 100 km<sup>2</sup> (diamètre moyen 1,3 km) soit 0,1 cratère / km<sup>2</sup> et au sud d'Hyginus 2 cratères / 100 km<sup>2</sup> soit 0,02 cratère / km<sup>2</sup>.

résolution y approche 650 m environ.

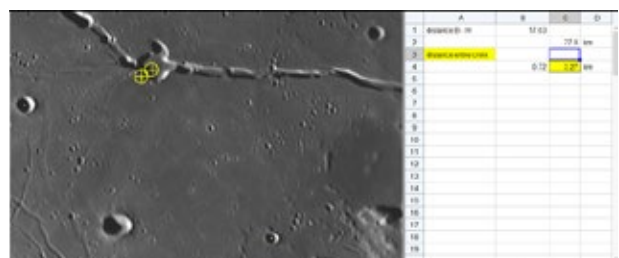
Cette image est idéale pour une exploitation quantitative à l'aide de «Géogebra» afin de faire des mesures de tailles de cratères, de longueur d'ombre donc d'altitude ou de profondeur mais aussi pour caractériser la densité locale en cratères.

En utilisant «Editer» puis «insérer une image depuis» on met en place le cliché. À l'aide d'un atlas [7] on détermine la distance entre centres des cratères Hyginus B et H (voir figure 2) soit  $d = 77,8$  km. On place deux points aux centres de ces cratères, ils seront fixes. On définit le segment correspondant BH.

Puis on génère deux points mobiles C et D, associé au segment variable CD. Avec le tableur, on calcule  $d \cdot CD / BH$  qui est la distance en kilomètres entre les points mobiles C, D que l'on placera sur la photo agrandie avec l'outil loupe en fonction des besoins :

- Si C et D sont diamétralement opposés sur un cratère minuscule de l'image, ils donnent la résolution de 650 m soit le diamètre des plus petits cratères visibles.
- La largeur du fossé à l'est du cratère atteint 2,7 km.
- En plaçant C au centre de la caldeira et en déplaçant D en deux fois vers les extrémités nord-ouest et sud-est des fossés, on obtient  $124 + 106 = 230$  km de longueur totale.
- Le diamètre moyen de la caldeira d'Hyginus vaut près de 8,7 km et au maximum 11,2 km.
- L'ombre des parois portée sur le fond supposé plat du cratère principal donne 3,3 km.

Grâce à cette dernière mesure on accède à la profondeur d'Hyginus. La hauteur du Soleil au-dessus de la plaine peut se déterminer avec le logiciel AVL [8] par différence entre la longitude du lieu et celle du terminateur (approche rapide). Pour deux heures solaires différentes (figures 5 et 5bis) les mesures restent cohérentes et donnent une profondeur de 750 m environ. La littérature spécialisée retient une valeur moyenne [13] comprise entre 650 m [13] et 800 m [8].

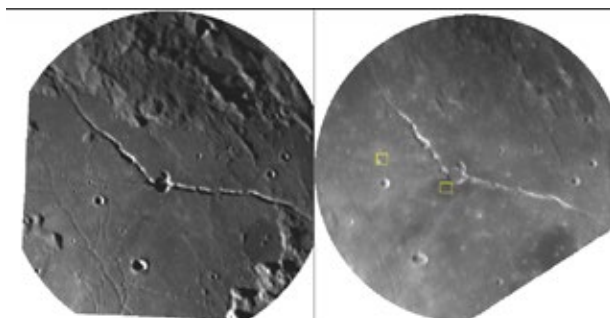


**Fig. 5.** La largeur de l'ombre entre les croix vaut 3,27 km, connaissant l'élévation du Soleil, on en déduit la profondeur H.  $H = 3,27 \tan (13^\circ) = 750$  m.



**Fig. 5bis.** Pour une nouvelle élévation solaire de 44°  $H = 0,79 \tan (44^\circ) = 760$  m.

On remarquera une absence quasi-totale de parois surélevées entourant le cratère principal Hyginus, contrairement aux cratères d'impact Hyginus A et B : même sous un éclairage rasant correspondant à une élévation solaire faible il n'y a pas d'ombres portées par d'éventuelles parois annulaires (voir figure 6).



**Fig. 6.** 17 août 2014 à 3 h 20 min TU image sur 3500 (élévation du Soleil 6°) 0,5 jour avant le dernier quartier (auteur).

**Fig. 6bis.** 16 juillet 2014 à 3 h 06 min TU (élévation du Soleil environ 44°) 3 jours avant le dernier quartier (auteur).

Le comptage de la densité en petits cratères montre des différences très nettes suivant la zone de 100 km<sup>2</sup> considérée (figure 4 bis), en relation avec la réflectance du sol ou albédo (figure 6 bis). La zone à faible densité est sombre, celle à forte densité est claire.

Mais nous voilà déjà aux portes de l'étude géologique qui nous permettra de connaître les origines de ces formats.

## Géologie

### Albédo et géologie

L'observation de la Lune depuis le sol a permis d'obtenir des cartes précises comme celles destinées à préparer les missions Apollo.

Mais la constitution de cartes géologiques a nécessité l'utilisation de multiples moyens télescopiques utilisés sous fortes illuminations ou éclairages rasants (télescope de 61 cm Catalina ou celui de l'US Naval Observatory à Flagstaff) [15] complétés par des vues rapprochées obtenues par les « Lunar Orbiters » entre 1965 et 1967. Cela amena même les américains à financer en partie l'installation du télescope de 106 cm dans la coupole Gentili du Pic du Midi en 1963 [14].

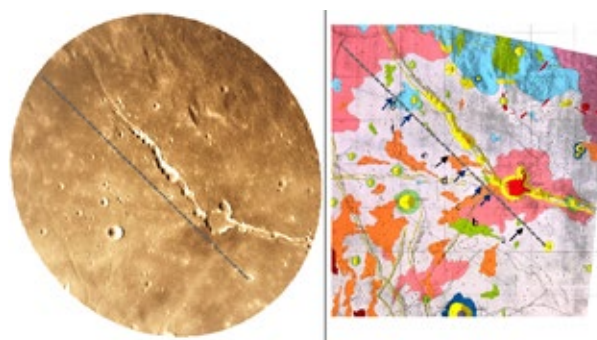
Le Lunar and Planetary Institute fondé en 1963 à Houston Texas, donne accès à une très riche documentation qui témoigne des recherches lunaires anciennes et récentes [16]. On y trouve l'ouvrage de référence de géologie lunaire écrite par Don Wilhelms en 1987 « *The Geologic History of the Moon* » téléchargeable sur le site du LPI [17] (USGS professional paper 1348).

La suite de cet article est largement inspirée par deux cartes et leurs annexes I.945 (par Pike en 1976) et I.543 (par Wilhelms en 1968) décrivant la structure du sous-sol de la région d'Hyginus. D'ailleurs un projet d'un

alunissage Apollo près de la bordure nord d'Hyginus avait été mis sur pied mais jamais réalisé.

Afin de concrétiser la relation entre aspects du sol lunaire et géologie, une expérience simple peut être conduite en traçant un profil de luminosité du sol dans une région géologiquement connue décrite par la carte I.945. En augmentant le contraste de l'image correspondant à une hauteur solaire de 44° (16 juillet 2014- figure 6 bis), on peut analyser l'albédo (intensité lumineuse) avec le logiciel « SalsaJ » et ses outils « sélection rectiligne » puis « analyse » et « coupe ».

Le résultat présenté figure 7 montre nettement la concordance entre la nature géologique du sol et sa réflectivité. Ce qui retient l'attention est la région de laves (ou dépôts pyroclastiques) sombres qui entoure la caldeira d'Hyginus.



**Fig.7.** Image du 16 juillet 2014 à contrastes augmentés : étude de l'albédo. Élévation solaire 44°. En pointillés la trace de la coupe choisie.

**Fig.7bis.** Carte géologique de la Lune (US Geological Survey par Richard Pike 1976) contribution principale Lunar Orbiter V [18].

### Vers une histoire géologique d'Hyginus et sa région

Avant de proposer une histoire géologique plausible de la région des rainures d'Hyginus, rappelons les grandes périodes de l'histoire géologique de la Lune, entre la formation de Lune (-4,6 Gannées) et celle des premiers grands bassins d'impacts comme Sérénita-tis, on trouve le Prénectarien.

À partir de -4,0 Ga, commence la formation de la plupart des grands bassins d'impact (Nectar, Humorum, Humboldt) : le Nectarien.

À -3,8 Ga on place l'Imbrien puisque le dernier grand bassin de la face visible, celui de la mer des pluies (Imbrium), apparaît tardivement suivi de la mer orientale. L'ensemble conduit à la formation des plus vieilles « mers » par des épanchements volcaniques massifs.

La quatrième période, l'Ératosthénien débute à -3,2 Ga par la formation du cirque éponyme et s'achève vers -1,2 Ga. Elle se caractérise par les dernières formations de mers et la cratérisation faible mais continue qui

donne des cratères à trainées d'éjectas fines. La dernière période, le Copernicien nous amène jusqu'à notre époque. Les derniers grands cratères d'impact comme Copernic se dévoilent clairement par leurs éjectas immenses, rectilignes, qui recouvrent les formations plus anciennes.

Le tableau décrivant une histoire géologique plausible de la région d'Hyginus tente de concrétiser les hypothèses formulées par les géologues américains de l'USGS en Impressions lunaires :

1976, 1987 et plus récemment 2010 et 2013. Il ne prend en compte que les formations dont les traces sont visibles actuellement ; nombre de cratères d'impacts ont disparus, érodés ou ensevelis sous les impacts ou dépôts volcaniques.

On remarque que trois sortes de cratères existent dans cette zone : les cratères d'impacts comme Hyginus A (voir figure 2), le cirque principal d'Hyginus qui semble être une véritable caldeira volcanique [13], [18], entourée par les dépôts pyroclastiques sombres et récents (peu cratérisés). Enfin à l'intérieur du fossé constituant la rainure elle-même, une longue série de cratères d'effondrements s'est formée au cours des milliards d'années.

Cette collection de types de cratères montre l'originalité de cette zone puisque l'immense majorité des cirques lunaires reste d'origine « météoritique ».

## Conclusion

Ces rainures d'Hyginus correspondent donc à une région lunaire tout à fait particulière que des phénomènes complexes, multiples et étalés dans les temps géologiques ont formée.

L'histoire de ces formations nous est accessible grâce aux résultats des missions Apollo et du travail de longue haleine des géologues. Cette recherche fondamentale axée sur notre satellite continue aujourd'hui et certains travaux d'amateurs [12], [22] y contribuent grâce aux progrès de l'imagerie numérique.

Explorer notre satellite par la photographie et l'observation visuelle reste une source sans limites de découvertes et de questionnements.

Partageons cette quête avec nos élèves. Mais n'oublions pas de leur faire ressentir la poésie des nuits éclairées par Phoebe, de leur apprendre à savourer ces subtils instants de douces lumières des quartiers de Lune que nos yeux saisissent directement sans interfaces.

Ressentir cette force énigmatique de la nuit décuple notre envie de savoir ; elle fit écrire à Victor Hugo : « *Les poètes ont créé une lune métaphorique et les savants une lune algébrique. La Lune réelle est entre les deux* ».

## Bibliographie-«netographie» :

1. Victor Hugo le promontoire des songes, 2012, (1901) Gallimard, (Calmann-Lévy) p. 25 à 29.
2. Victor Hugo le promontoire des songes, 2012, (1901) Gallimard, (Calmann-Lévy) p. 17, annotations.
3. François Arago Astronomie Populaire 1865, Théodore Morgand p. 420, tome III 2ème édition.
4. François Arago Astronomie Populaire 1865, Théodore Morgand p. 425, tome III 2ème édition.
5. Schroeter Hieronymus, selenotopographie fragmente... 1802 Baier p219 § 792.
6. Schroeter Hieronymus selenotopographie fragmente... 1802 Baier tableau LXII fig 2.
7. Rückl Antonin Atlas de la lune 1990 Gründ carte 34 et p92 à 95.
8. Patrick Chevalley, Christian Legrand <https://www.ap-i.net/avl/fr/start>.
9. Tanaka Hartmann Lakdawalla  
<http://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2013/09301225-geologic-time-scaleearth-moon.html>
10. Higgins <http://higginsandsons.com/astro/>
11. Damian Peach <http://www.damianpeach.com/lunarindex.htm>
12. Wood, Pau, Daversin and all, A New Source of High Resolution Lunar Images: Amateur Astronomers 2004 Lunar and Planetary Science XXXV (1749.pdf).
13. Giger, Wilson and all 41st lunar and planetary science conference 2010 LPSC 1129 pdf.
14. <http://www.tbl.omp.eu/Multimedia/histoire/coupolegentili>
15. Pike Richard J. us geological survey 1976 usgs I 945.
16. <https://www.lpi.usra.edu/lunar/>
17. Don Wilhelms [http://ser.sese.asu.edu/GHM/ghm\\_geologic\\_history\\_of\\_the\\_moon](http://ser.sese.asu.edu/GHM/ghm_geologic_history_of_the_moon).
18. Pike Richard J. <https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/usgs/index.shtml> 1976 I-945, Geologic Atlas of the moon Rima Hyginus region.
19. Don Wilhelms <https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/usgs/I548/I50dpi.jpg> 1968 I-548 Geologic Atlas of the moon Mare Vaporum Quadrangle region.
20. Don Wilhelms geologic history of the moon chapter 6 1987 usgs p 120 relation imbrium branche nord ouest rima.
21. Don Wilhelms geologic history of the moon chapter 6 1987 p 115 relation procellarium branche sud est.
22. R. Lena and all <https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2013/pdf/1003.pdf> 2013.