Ce que les couleurs de la Lune racontent de ses roches

Photographier la Lune « minérale » et mesurer sa teneur en titane depuis la campagne haut-marnaise.

Observation et traitement : Philippe BABELON · observatoire d'Eric GRUOT à Villiers-sur-Suize (Haute-Marne) · astrographe TS 130/650mm - caméra ASI 6200MM Pro · nuit du 29 au 30 octobre 2026.

À l'œil nu, la Lune paraît grise. Pourtant, ses roches n'ont pas toutes la même teinte : certaines sont très légèrement bleutées, d'autres légèrement orangées. Ces nuances sont trop faibles pour être visibles par l'oeil, mais elles peuvent être enregistrées par une caméra, puis amplifiées. Cet article raconte comment une soirée d'observation a permis d'obtenir une image de la Lune en couleurs «minérales», puis d'aller plus loin en estimant la teneur en titane des grandes plaines lunaires en s'appuyant sur les analyses faites sur les échantillons de la surface rapportés par les astronautes des missions Apollo entre 1969 et 1972.

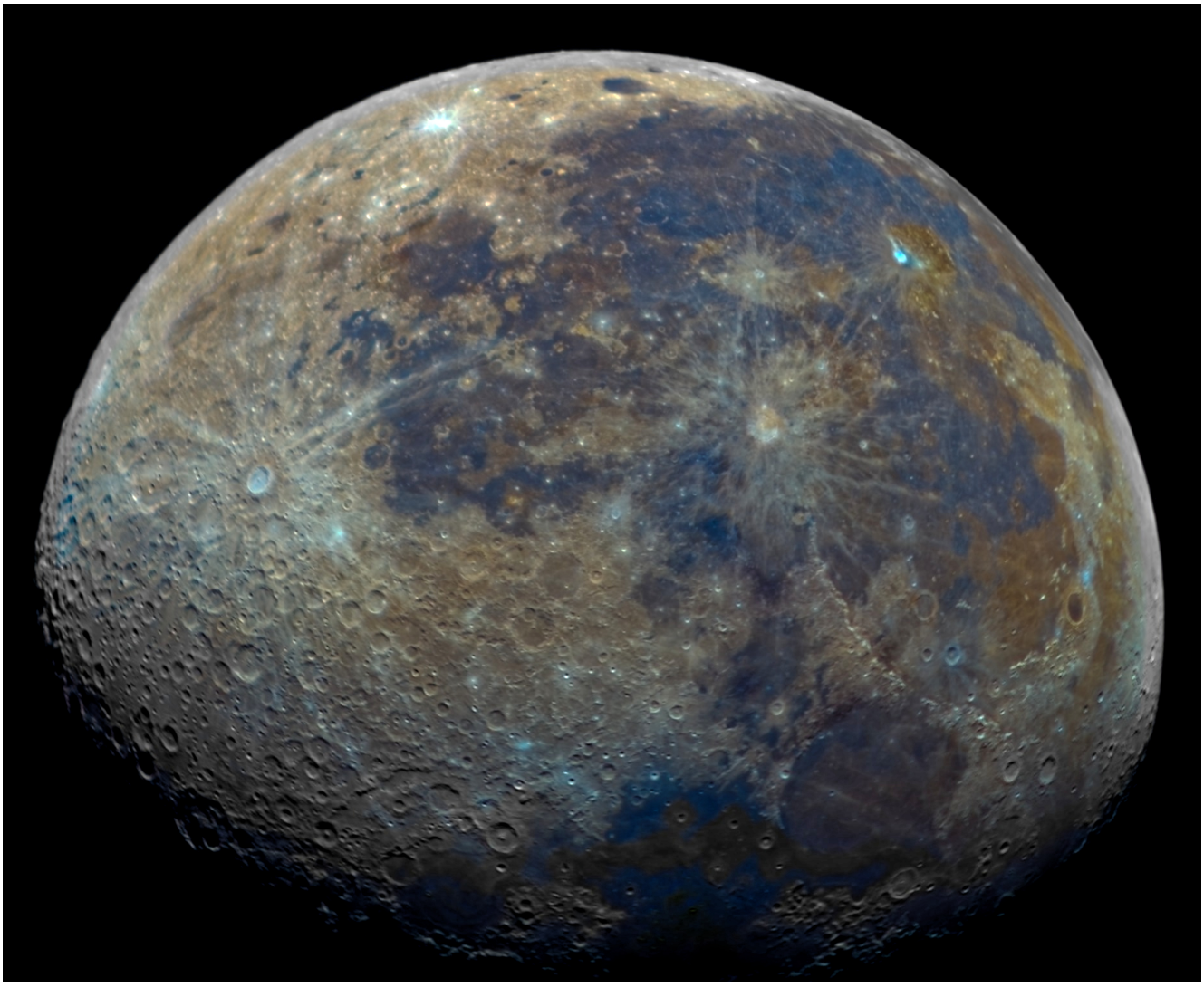


Figure 1. La Lune « minérale » du 30 octobre 2026. Les couleurs sont exagérées, mais leur répartition est réelle : bleu pour les laves riches en titane, orangé pour les laves plus pauvres, tons neutres pour les hautes terres. L'image est en miroir : le nord est à droite, l'ouest en haut.

1. Pourquoi la Lune n'est pas vraiment grise

La surface lunaire est constituée de deux grands types de terrains :

* Les **hautes terres**, claires et criblées de cratères, sont la croûte primitive de la Lune, une roche riche en aluminium appelée **anorthosite**.

* Les **mers**, vastes plaines sombres, sont d'immenses coulées de lave (des basaltes) qui ont rempli de grands bassins d'impact il y a 3 à 4 milliards d'années. Toutes ces laves n'ont pas la même composition chimique : certaines contiennent beaucoup d'un minéral noir, appelé **ilménite,** qui renferme du titane.

L'ilménite modifie la façon dont la roche renvoie la lumière : u**ne lave riche en titane renvoie un peu plus de bleu, relativement au rouge, qu'une lave pauvre en titane**. L'écart de quelques pourcents est invisible à l'œil, mais mesurable par une caméra.

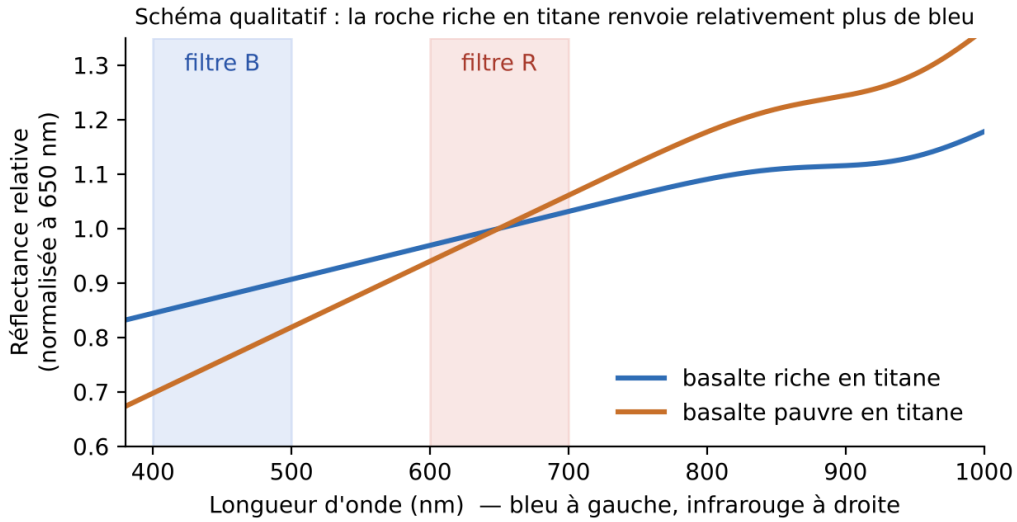


Figure 2. Principe (schéma qualitatif). Les deux types de lave ont presque la même luminosité dans le rouge, mais la lave riche en titane renvoie relativement plus de lumière dans le bleu. En comparant ce que voient un filtre bleu et un filtre rouge, on obtient donc un indicateur de la teneur en titane.

2. Une soirée d'observation

La soirée était initialement prévue pour une étude sur un groupe de galaxies lointaines, mais la Lune, trois à quatre jours après la pleine lune, éclairait encore trop le ciel.

Plutôt que de renoncer, la Lune est devenue le sujet principal de la soirée. Les images ont été prises depuis l'observatoire d'Eric GRUOT, à Villiers-sur-Suize, en Haute-Marne.

L'instrument utilisé est un astrographe TS de 130mm de diamètre et 650mm de longueur focale, équipée d'une caméra astronomique ASI6200MM Pro noir et blanc de 62 millions de pixels, d'une roue à filtres ZWO EFW et de filtres LRVB Baader optimisés pour les caméras CMOS.

Une caméra noir et blanc ne «voit» pas les couleurs : on photographie successivement à travers un filtre rouge (R), vert (V), bleu (B) et un filtre clair qui laisse passer toute la lumière (L, pour luminance), puis on reconstitue une image couleur en superposant toutes les photos avec un ordinateur.

Dans cette étude, le disque lunaire mesure environ 1760 pixels de diamètre sur la caméra et chaque pixel couvre à peu près **2 km² de terrain lunaire**.

3. Figer la turbulence ou la photographie « chanceuse »

Le principal ennemi de l'astronome n'est pas la distance, mais l'air. L'atmosphère est toujours agitée et fait onduler l'image, comme l'eau le fait avec le fond d'une piscine. La parade s'appelle le *lucky imaging ou* l'imagerie «chanceuse» : au lieu d'une seule photo, on filme des milliers d'images, puis un logiciel les classe par netteté, ne garde que les meilleures — celles prises pendant les brefs instants où l'air était plus calme — et les additionne. Cette addition fait disparaître le bruit électronique, comme plusieurs témoins qui se corrigent mutuellement.



Figure 3. Les étapes de la photographie « chanceuse » jusqu'à l'image en couleurs.

Deux séries ont été tournées, avec 1.000 puis 2.000 images par filtre, soit 12.000 images au total. Une question pratique se pose ensuite : faut-il garder la meilleure moitié des images, le meilleur quart, ou seulement le meilleur dixième ?
Plus on est sévère et plus l'image est nette, mais moins on additionne d'images et donc plus le « grain » réapparaît.
Les mesures de netteté sur les séries ont permis de déterminer que conserver **25 %** des images est le meilleur compromis. Le dixième gagne encore un peu en détails, mais le « grain » augmente nettement plus vite.

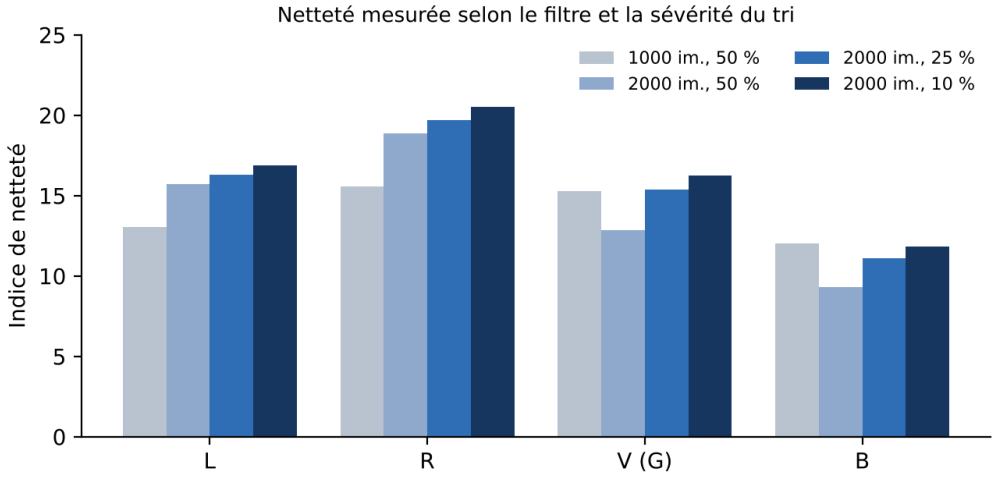


Figure 4. Netteté mesurée sur chaque filtre. La deuxième série triée à 25 % (bleu moyen) est le meilleur équilibre. Les filtres vert et bleu de la deuxième série n'étaient bons qu'une fois triés plus sévèrement : l'air devait était plus agité pendant l'acquisition de leurs images.

4. Assemblage des couleurs

Chaque filtre étant filmé séparément, à quelques minutes d'intervalle, les quatre images ne se superposent pas parfaitement. Un simple décalage d'ensemble ne suffit pas : le logiciel d'empilement déforme chaque image de manière légèrement différente, de 2 à 4 pixels selon les endroits. Résultat, une fois les couleurs amplifiées, chaque cratère se retrouve bordé de rouge d'un côté et de bleu-vert de l'autre, comme sur une image en relief à regarder avec des lunettes 3D. Il a fallu recaler les images localement, zone par zone, par une technique de suivi de mouvement (le « flux optique ») utilisée aussi en vidéo.

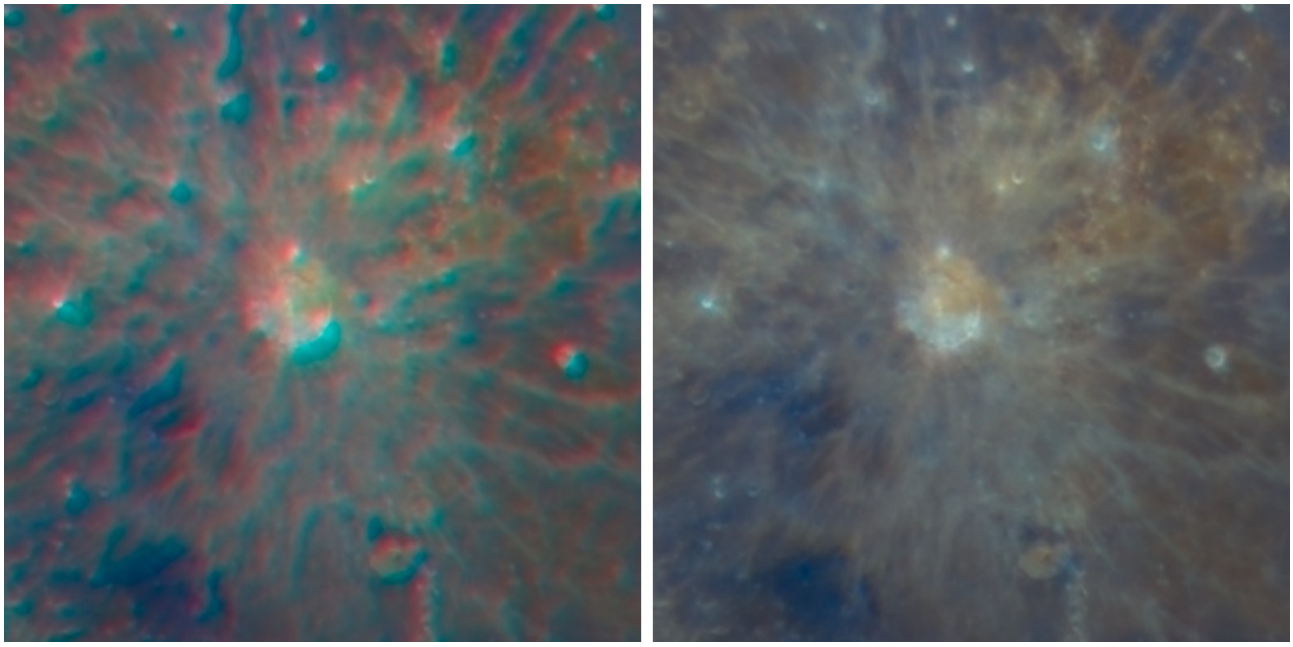


Figure 5. Le cratère Copernic. À gauche, couleurs simplement superposées : fausses franges rouges et bleu-vert autour de chaque relief. À droite, après recalage local : les couleurs restent à leur place et seules subsistent les vraies différences de roche.

5. La Lune minérale

Une fois les images alignées, on utilise la luminance (filtre clair et filtre rouge, les plus nets) pour les détails et les filtres colorés uniquement pour la couleur, volontairement adoucie. Puis on étalonne : la moyenne du sol lunaire doit sortir grise. Enfin, on multiplie les écarts de couleur par douze environ. Le résultat est une véritable carte géologique.

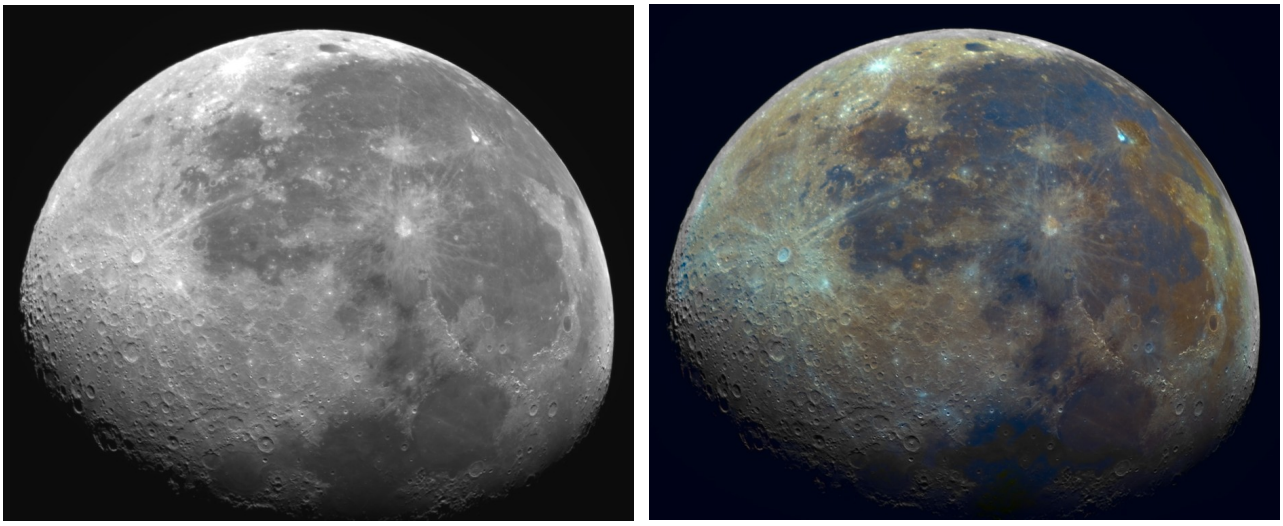


Figure 6. La même Lune, à gauche telle que l'enregistre le filtre rouge, à droite en couleurs minérales.

Couleur	Ce que c'est	Exemples sur l'image
Bleu	Laves anciennes riches en titane (ilménite)	Mare Tranquillitatis, une partie d'Oceanus Procellarum
Orangé, brun	Laves plus pauvres en titane, plus riches en fer ; verres volcaniques	Centre de Mare Serenitatis, plateau d'Aristarque
Tons neutres, clairs	Hautes terres : croûte primitive riche en aluminium	Régions autour de Tycho
Traînées claires bleutées	Débris d'impacts récents, encore peu « vieillis » par le vent solaire	Rayons de Tycho et de Copernic

6. Du joli au mesurable : combien de titane ?

Une image colorée reste qualitative. Peut-on en déduire combien de titane contient chaque mer ? Les sondes spatiales l'ont fait dans les années 1990, avec des filtres très étroits. Nous avons tenté une version amateur de l'étude, avec nos filtres ordinaires, en suivant la même logique en six étapes.

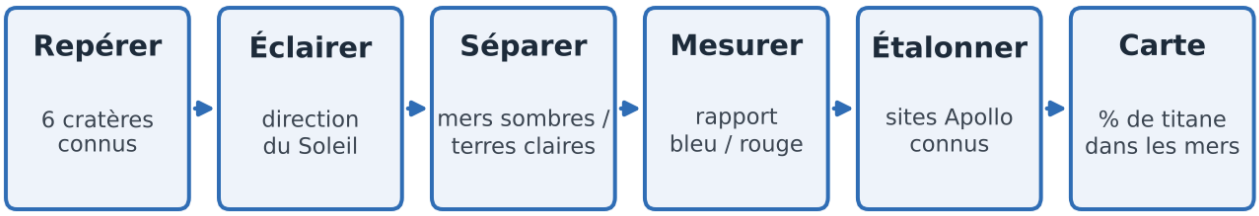


Figure 7. De la photographie à la carte du titane.

Repérer. Six cratères faciles à identifier (Tycho, Copernic, Aristarque, Kepler, Platon, Grimaldi) permettent de calculer comment la sphère lunaire est projetée sur l'image. On peut alors placer n'importe quel point dont on connaît les coordonnées lunaires, en particulier les six sites où se sont posés les équipages d'Apollo, à environ 60 km près.

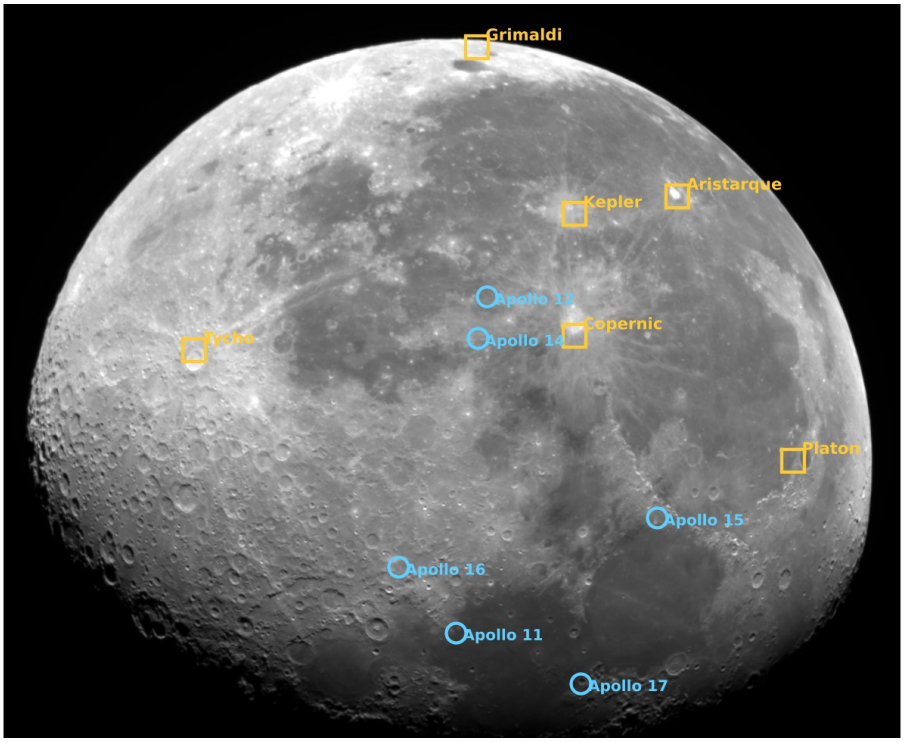


Figure 8. Les six cratères de repère (carrés jaunes) et les sites Apollo placés par le calcul (cercles bleus).

Corriger l'éclairage. Près du terminateur, la ligne qui sépare le jour de la nuit, le Soleil est rasant et tout paraît plus sombre. La forme du terminateur indique la direction du Soleil (angle de phase de 44°), ce qui permet de corriger cet assombrissement et de distinguer de façon fiable les mers sombres des hautes terres claires.

Mesurer et étalonner. En chaque point, on calcule le rapport entre la lumière bleue et la lumière rouge. Puis on le compare à la «vérité terrain» des échantillons de sol rapportés par Apollo, analysés en laboratoire, dont on connaît la teneur en titane (exprimée en TiO2, oxyde de titane). Sur les cinq sites situés dans des mers, le rapport bleu/rouge suit exactement l'ordre des teneurs : Apollo 15, 14, 12, puis 17 et 11, le plus riche. Une simple droite relie les deux grandeurs.

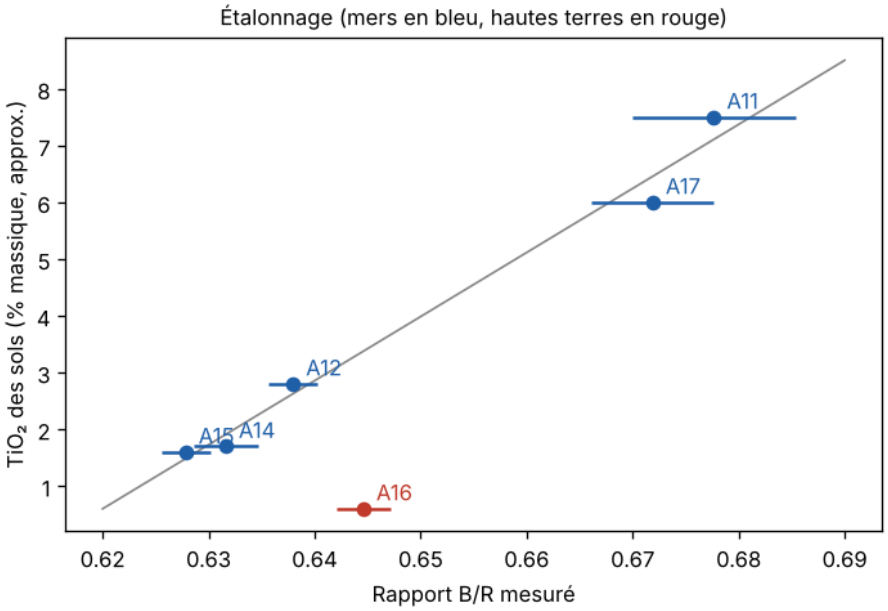


Figure 9. Étalonnage. En bleu, les sites de mer, bien alignés. En rouge, Apollo 16, situé dans les hautes terres : il sort de la droite, car l'âge du sol et sa clarté y brouillent la mesure. La carte n'est donc valable que pour les mers. Les teneurs des sols Apollo sont approximatives.

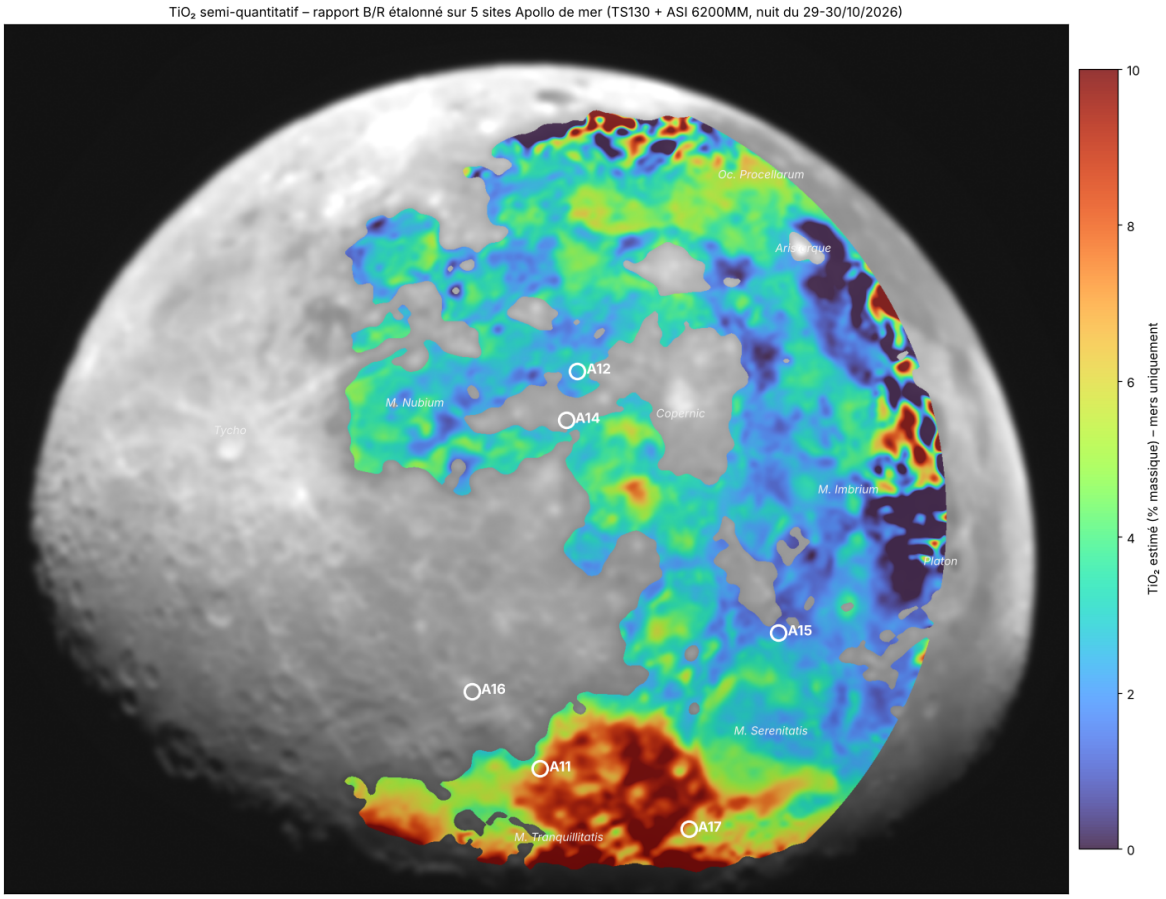


Figure 10. Carte semi-quantitative de l'oxyde de titane dans les mers lunaires obtenue. Les hautes terres (en gris) sont exclues. Les bandes colorées le long du bord droit, près de Platon, sont des artefacts dus à l'atmosphère, pas de la géologie.

Les résultats obtenus sont cohérents avec ce que l'on sait de la Lune : Mare Tranquillitatis où s'est posé Apollo 11 est une grande mer riche en titane, les centres de Mare Serenitatis et de Mare Imbrium sont pauvres en titane et Oceanus Procellarum est contrasté.

Mer	TiO_2 estimé (% en masse)	En clair
Mare Tranquillitatis	≈ 9 %	Laves très riches en titane
Oceanus Procellarum (ouest)	≈ 5 %	Riche, avec de fortes variations
Mare Nubium	≈ 3 %	Intermédiaire
Mare Serenitatis (centre)	≈ 2,5 %	Pauvre en titane
Mare Imbrium	≈ 2 %	Pauvre en titane

Quelle confiance accorder à ces chiffres ?

L'incertitude réaliste est de l'ordre de **± 1,5 à 2 points de pourcentage**. Les filtres colorés Baader sont larges et mélangent beaucoup de longueurs d'onde ; aucune image de référence de l'éclairage du capteur (« flat ») n'a été prise ; la droite d'étalonnage repose sur seulement cinq points ; les teneurs Apollo utilisées sont des valeurs approximatives. La finesse de la carte, environ 2 km, est limitée par la turbulence de l'air plus que par l'instrument.

C'est donc une carte **semi-quantitative** : elle classe correctement les mers et donne des ordres de grandeur justes, mais ne remplace pas les cartes établies par les sondes spatiales.

7. Pour aller plus loin :

Plusieurs améliorations sont envisagées pour la seconde phase de cette étude :

- Photographier la Lune plus haute dans le ciel, donc avec moins d'air traversé et moins de déformation des couleurs : les prochaines pleines lunes de novembre et décembre, ainsi que celle de janvier 2027, qui culmineront jusqu'à environ 70° au dessus de l'horizon s'y prêteront particulièrement ;
- Utiliser des filtres de couleurs plus étroits, centrés sur des longueurs d'onde vers 415, 750 et 950nm : c'est la méthode des sondes spatiales, qui permet aussi d'estimer la teneur en fer et de corriger l'effet du vieillissement des sols et donc d'inclure les hautes terre ;
- Remplacer l'astrographe TS 130/650mm par un télescope Orion Optics UK ODK14 de 355mm de diamètre et 2410mm de focale qui produira des photos plus détaillées de la surface lunaire.

Il reste quelque chose de saisissant dans cette étude : depuis la campagne haut-marnaise, avec du matériel d'amateur, on peut retrouver la signature chimique des sols que les astronautes ont foulés il y a plus d'un demi-siècle et mettre en évidence sur une image que les laves de la Mer de la Tranquillité (Mare Tranquillitatis) ne sont pas les mêmes que celles de la Mer des Pluies (Mare Imbrium).

Les calculs et la rédaction de cet article ont été réalisés en collaboration avec l'IA Claude Opus 5.5 d'Anthropic.