

DETECTION DE LA VEGETATION TERRESTRE DANS LA LUMIERE LUNAIRE DU 'CLAIR DE TERRE'

Luc Arnold, OHP, CNRS arnold@obs-hp.fr
Sophie Gillet, LISE, CNRS
Olivier Lardière, LISE, CNRS
P. Riaud, LISE, CNRS & Obs. de Meudon
J. Schneider, Obs. de Meudon

Résumé:

L'objet des observations qui sont présentées brièvement ci-dessous est de montrer que la végétation terrestre est visible pour un observateur éloigné, qui verrait la Terre sous la forme d'un point. La végétation verte a une réflectance de seulement 5 à 10% dans le visible (<680nm), mais de 60% dans le proche IR (>730nm). Cette signature doit être présente dans la spectre de réflectance globale de la Terre, aux environs de 700nm, sous la forme d'un front montant (le VRE pour *Vegetation Red Edge*). Sa hauteur doit être de 2 à 10% du continu selon les modèles. Contrairement à une affirmation répandue, la mission Galileo ne pouvait faire cette observation car le domaine spectral de son spectrographe n'était pas adapté.

Nous avons observé la lumière cendrée (le 'Clair de Terre' sur la Lune) en spectroscopie basse résolution entre 400 et 800nm pour avoir un spectre global de la réflectance terrestre. Nous avons extrait de ces spectres le spectre d'albédo de la Terre qui présente trois caractéristiques intéressantes (figure 1) :

1/ La Terre est bleue. Ceci est due essentiellement à la diffusion Rayleigh dans l'atmosphère terrestre, qui rend la Terre bleutée.

2/ Le spectre montre clairement les signatures des composants de l'atmosphère terrestre : O₂, H₂O vapeur et O₃ (bande large de Chappuis)

3/ La végétation (le VRE vers 700nm) est partiellement cachée par les raies atmosphériques, et il faut retirer du spectre ces signatures spectrales si l'on veut voir clairement le VRE. Pour cela, nous divisons le spectre d'albédo terrestre par un spectre atmosphérique ajusté pour un *air-mass* de 2 environ. Le résultat obtenu ne montre plus de raies atmosphériques, mais vers 700nm, une marche de hauteur 4 à 10% selon les jours, que nous attribuons à la végétation. La figure 2 illustre ce résultat.

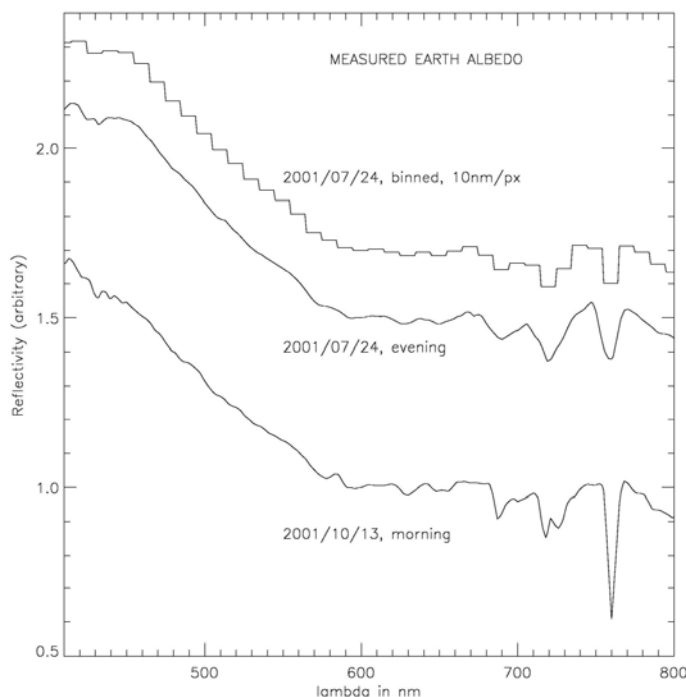


Figure 1 : Exemples de spectres d'albedo de la Terre. En bas et au milieu, des spectres mesurés de l'albedo terrestre (normalisés à 1 à 600nm). Le spectre du bas a une résolution de 240, celui du milieu environ 70. En haut le spectre est *binné* à 10nm/pixel, pour simuler une résolution comparable à celle qui sera utilisée pour la spectroscopie des exoplanètes. Ces spectres montrent la remontée vers le bleu due à la diffusion Rayleigh, les raies atmosphériques, O₂, H₂O et O₃ (la bande de Chappuis est responsable du 'coude' visible vers 600nm, c'est le centre de la raie qui s'étend de 450 à 700nm). On devine la végétation, par le fait que le continu au-delà de 700nm semble plus haut que dans le visible. Mais il faut soustraire proprement les raies atmosphériques pour conclure.

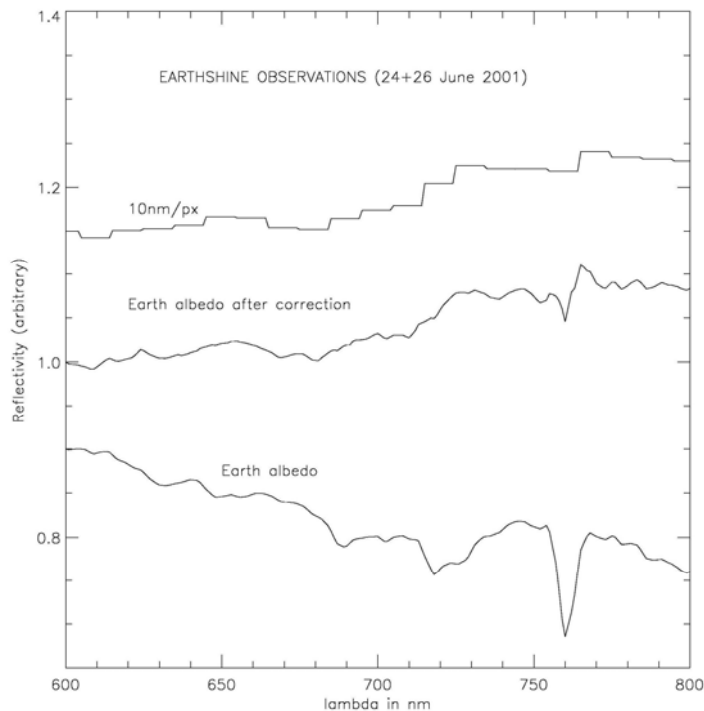


Figure 2 : Extraction du signal de végétation. En bas, le spectre d'albedo de la Terre, qui montre la remontée vers le bleu et les raies atmosphériques O₂ et H₂O. Au milieu, le spectre corrigé des raies atmosphériques et de la diffusion Rayleigh. On observe une remontée entre 680 et 730nm que nous attribuons au VRE. Ici, il vaut 7% du continu, en accord avec les modèles. Au-dessus le même spectre, mais dégradé à une résolution spectrale de 10nm/pixel, qui serait comparable à la résolution utilisée pour la spectroscopie des exoplanètes.

Conclusion : Nous avons montré que la végétation terrestre est un biomarqueur observable dans le spectre intégré de la Terre. Cependant, pour voir cette signature, il faut retirer les raies atmosphériques, ce qui dans le cas d'une exoplanète nécessitera de connaître le spectre de son atmosphère et/ou d'en avoir un modèle correct. On note que si la Terre était observée par le pôle, on verrait l'Antarctique par exemple, et le VRE serait plus faible. Par ailleurs, une planète très verte pourrait générer un VRE fort, mais cela est peu probable, car la couverture nuageuse serait sans doute forte. Reste ouverte la question des artefacts possibles, bien que sur Terre, on ne connaisse pas d'autres signatures vers 700nm. Mais sur une exoplanète, le VRE peut être décalé en longueur d'onde, en particulier si la vie s'est adaptée au spectre stellaire d'une étoile-mère différente du type solaire.

Référence :

Arnold L., Gillet S., Lardièrre O., Riaud P., Schneider J., 'A test for the search for life on extrasolar planets : Looking for the terrestrial vegetation signature in the Earthshine spectrum', 2002, A&A, accepté