

Sciences à l'École



C.gENial

Fondation pour la culture  
scientifique et technique

Lélia AUVARE 1ere S1

Luna DIDAT 1ere S1

Sainte Marie de Chavagnes

Professeur encadrant : Jean-Luc MARTIN

## A la recherche d'ET

Comment découvrir la vie sur une exoplanète ?

*Gilbert Choquette :*

*« Depuis l'aube des temps, sur toutes les planètes de toutes les galaxies,  
combien de civilisations ont pu naître, poser des questions que nous  
posons, et puis s'évanouir dans un souffle de vent ? »*

## I. Introduction / Problématique:

C'est à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle (grâce aux sciences de la chimie, physique, biologie, géologie,) qu'émerge l'astrobiologie sur l'hypothèse que les lois physiques et chimiques qui régissent sur terre sont les mêmes dans le reste de l'univers. Des découvertes majeures ont permis l'avènement de cette science mais aussi l'évolution de l'astronomie observationnelle, l'étude des planètes hors du système solaire.

La vie est la capacité qu'ont les molécules et les atomes de s'assembler en structures organisées autoreproductibles. Selon les biologistes la vie doit répondre aux critères suivants : autoreproduction (à l'identique), évolution par mutation (exceptions accidentelles dans reproduction), autorégulation face aux conditions environnementales qui tendent à dégrader leur structure (qui assure croissance et conversion de l'entité vivante).

Depuis la première exoplanète découverte en 1995 à l'Observatoire de Haute Provence, les découvertes de nouveaux mondes se succèdent à un rythme effréné. Au jour d'aujourd'hui, nous comptabilisons plus de 3000 exoplanètes dont certaines sont des superTerre (des planètes un peu plus grosses que la Terre). Une question resurgit alors depuis la nuit des temps : Sommes-nous seuls dans l'Univers. ?

Au vu des distances astronomiques qui nous séparent de ces nouveaux mondes et en attendant la construction de télescopes suffisamment grands pour avoir des images de la surface, le seul moyen actuel pour détecter la présence de vie est d'analyser la lumière provenant de ces planètes. Grâce à une étude spectroscopique de cette lumière, on peut espérer détecter d'éventuels biotraceurs provenant soit de l'atmosphère soit de la surface de la planète.

La tâche est ardue car le signal reçu est très faible.

La seule planète connue actuellement qui abrite la vie est la Terre. Si nous vivions sur une exoplanète par exemple 51 Pegasi située à 55 al, et que nous regardions la Terre, serions-nous capables d'y détecter la présence de vie ?

Mettons-nous alors dans la peau de ces exoastronomes qui étudient la Terre. Mais comment faire ?

L'astronome avant-gardiste Arcichovskyi avait déjà proposé il y a près de 100 ans de tenter la détection de la signature de la chlorophylle dans la lumière cendrée de la Lune afin de calibrer les observations faites sur d'autres planètes.

Voilà la solution ! En analysant la lumière cendrée de la lune, on voit la Terre comme une exoplanète sans résolution spatiale, depuis notre jardin ! Quelle idée lumineuse !

**Notre problématique étant la suivante :**

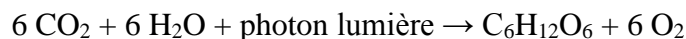
## **Pouvons-nous détecter la présence de vie sur Terre à partir de la lumière cendrée de la lune ?**

### **II. Les Biotraceurs**

Que doit on chercher ? Nous allons essayer d'identifier des biomarqueurs qui pourraient indiquer la présence d'une activité biologique.

Les raies d'absorption sont dues à la présence de nombreux biomarqueurs dans la biosphère terrestre. Ce sont des espèces chimiques qui indiquent la présence de vie sur une planète. Il existe par exemple

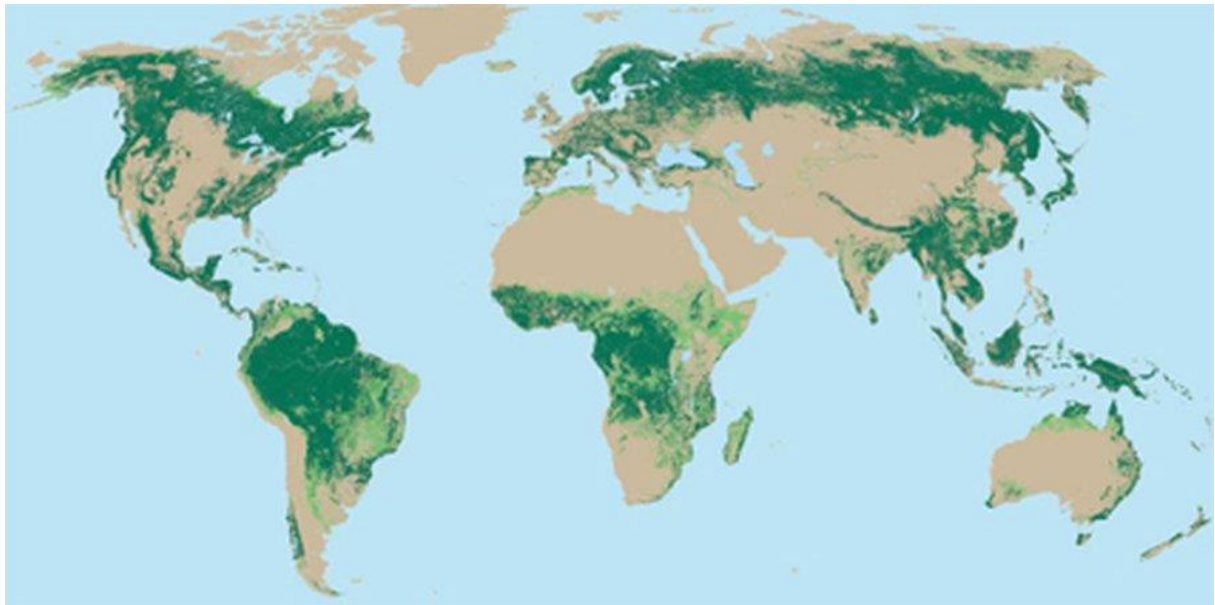
- Les hydrocarbures comme le méthane (CH<sub>4</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, 400nm), sont essentiels à la vie car le dioxyde de carbone est primordial dans la photosynthèse et toute molécule organique a une structure d'hydrocarbure.
- Du fait de ses 4 liaisons chimiques covalentes le carbone est capable de se lier aux atomes par des liaisons simples, triples ou doubles ce qui lui permet de former toutes les molécules. De plus, le carbone est le moins stable de sa famille (par exemple le silicium est plus stable), ce qui lui permet de réagir par interaction électromagnétique lors des transformations chimiques.
- L'eau (H<sub>2</sub>O), en effet la vie est apparue dans les océans car l'eau est un parfait solvant pour l'émergence de la vie grâce à sa polarité (molécule qui forme un dipôle). Et elle est présente dans tous les organisme vivant (80% pour l'humain).
- L'oxygène (O<sub>2</sub> 630nm/680nm / 760 nm) est essentiel à la respiration des êtres vivants et est également un excellent indicateur de photosynthèse.



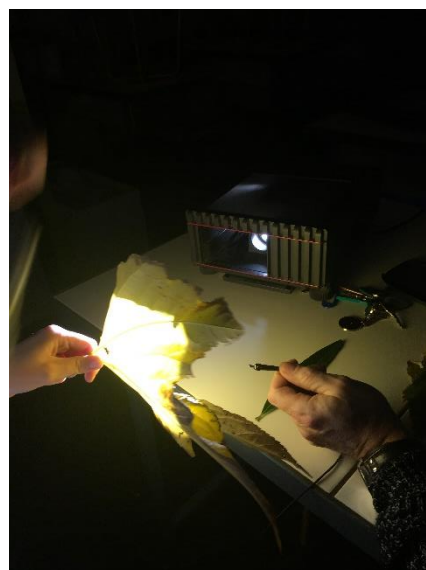
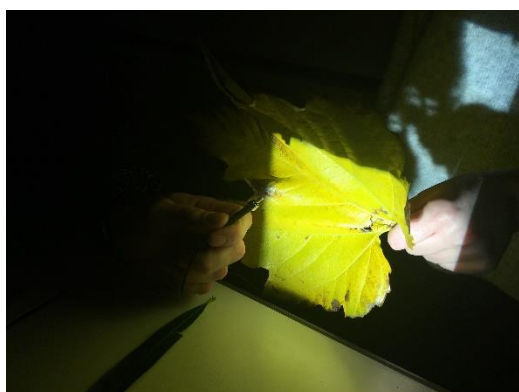
- L'ozone (O<sub>3</sub> 500 à 650 nm) a permis l'apparition de la vie sur Terre en formant une couche de gaz protectrice dans la stratosphère contre les rayonnements UV néfastes aux êtres vivants. Cependant certaines raies d'ozone sont des faux positifs dues aux océans.
- Nous avons également cherché la signature d'une activité biologique dans la couleur de la planète : pigments chlorophylliens de la végétation, en analysant par spectroscopie les photons manquants utilisés comme énergie dans la photosynthèse avec la VRE.

La VRE (Végétation Réflexion Edge) est un indicateur de présence de végétaux et correspond au spectre par réflexion des plantes (déterminer la face à observer pour avoir la plus grande surface

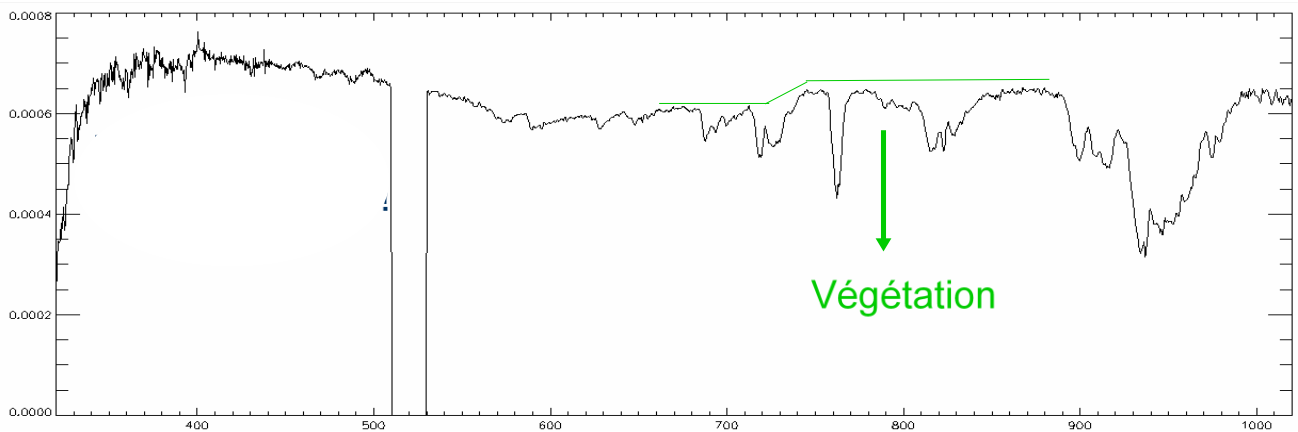
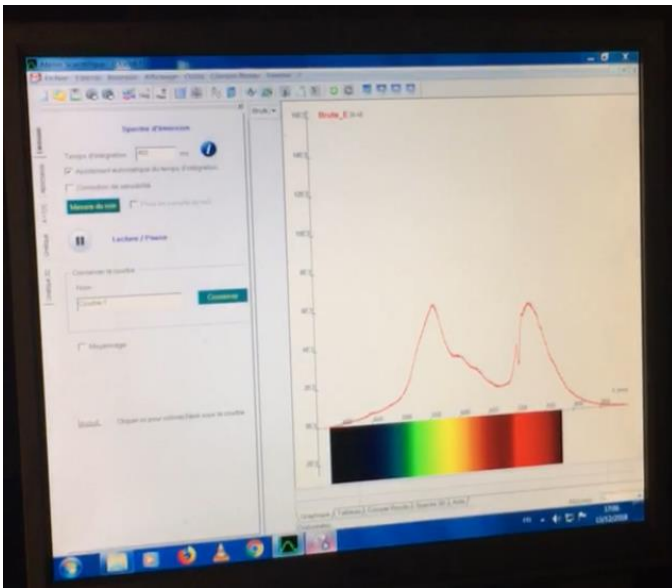
de végétaux et donc de biomarqueurs). La raie d'absorption sur le spectre de la Terre est confondue avec celle de l'oxygène ce qui montre le lien par la photosynthèse. Les forêts sur Terre occupent 40 millions km<sup>2</sup> de terrain, soit 9,4 % de la surface de la planète. La face qui a le plus grand pourcentage de VRE est la face avec 12 à 15% de VRE soit la face atlantique avec l'Amérique du Sud (forêt amazonienne) et l'Europe. La raies d'absorption de la VRE est comprise dans le domaine est 700 nm à 750 nm.



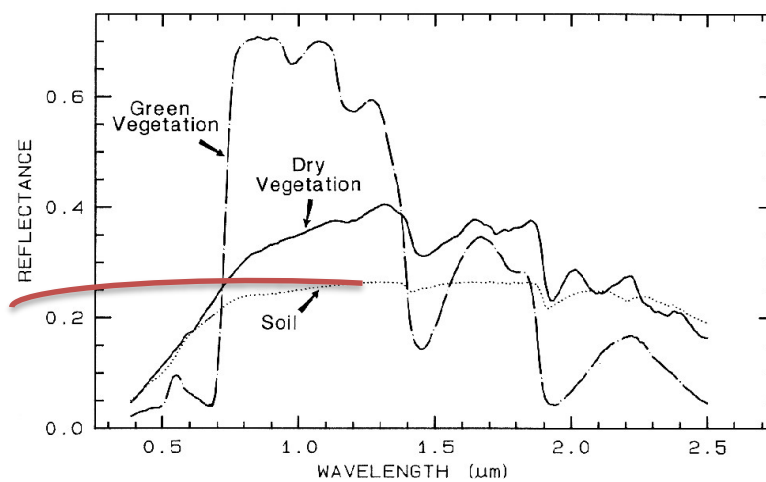
Nous avons réalisé une expérience préliminaire, pour se familiariser avec la technique d'analyse. Nous sommes allés en laboratoire de physique pour analyser le spectre de certaines plantes par réflexion spectrale du pigment chlorophyllien afin d'obtenir le spectre de la VRE : avec une source de lumière incandescente, une fibre optique, une feuille avec un pigment chlorophyllien.



A la fin de l'expérience, un spectre d'absorption de la VRE est apparu :



Cependant certaines raies d'absorption sont des faux positifs dues aux minéraux comme le mercure ou le sulfure qui absorbent les photons de même longueur d'onde :



### III- Analyse lumière cendrée

#### 1. lumière cendrée



Léonard de Vinci fut le premier à mentionner le terme de «  
Lumière Cendrée ». Il s'agit du cercle pâle lumineux perçu  
dans la partie non éclairée par le Soleil. Le Soleil éclaire la  
Terre d'un flux lumineux que la terre réfléchit avec un angle

$\Omega$  sur la Lune (l'angle  $\Omega$  limite le phénomène de lumière cendrée à la nouvelle lune et à la  
pleine Terre voire la maquette expérience). Le flux est ensuite réfléchi par la lune sur le Terre.  
Et nous obtenons alors le spectre de la lumière cendrée (par réflexion spectrale) du flux  
lumineux (image) La raison pour laquelle la Terre éclaire bien la Lune est sa présence  
importante de nuages et d'océans. Afin de calibrer les outils utilisés pour détecter des  
exoplanètes, il est nécessaire d'avoir des informations sur la Terre. Le spectre de notre Planète  
Bleue nous permettrait de déterminer les raies d'absorption des biotraceurs (marqueurs de la  
vie). La difficulté ici est d'obtenir le spectre d'absorption de la Terre alors que nous nous  
situons sur la Terre.

La Lumière cendrée (earthshine en anglais) est la combinaison de la lumière de la Lune, du  
Soleil, et de la Terre. La modélisation peut s'écrire ainsi :

$$LC = S * R_e * R_m * T_e$$

avec S : lumière solaire

Re : lumière réfléchiée par la lune

Rm : lumière réfléchiée par la Terre

Te : lumière transmise par la Terre

Le croissant de Lune ne correspond qu'aux spectres du Soleil, de la Lune et l'atmosphère de la  
Terre. Son opération serait la suivante :

$$C = S * R_m * T_e$$

## 2. Maquette de la lumière cendrée

Nous avons tenté de reproduire le phénomène de lumière cendrée dans notre vidéo avec des outils que nous avons en notre disposition :

Le but était de distinguer la partie sombre de la Lune et de reproduire ainsi toutes les phases de la Lune, de la Pleine Lune à la Nouvelle Lune.

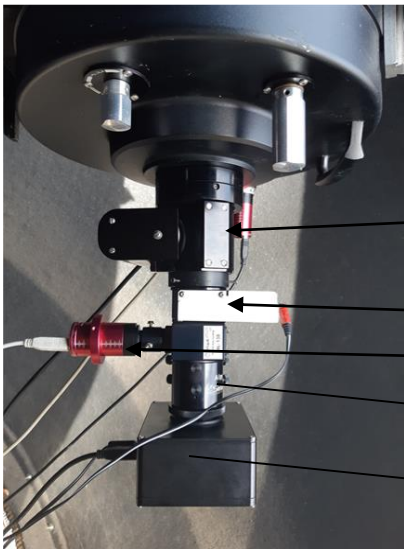
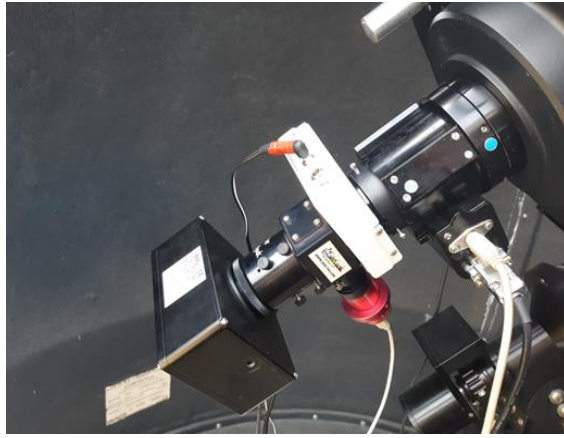
Réflexion terrestre( $\alpha$ )=Rayonnement terrestre/rayonnement Lune



## 3. Obtention des spectres

Nous avons obtenu le spectre de la lumière cendrée avec le matériel de spectroscopie suivant :

- Télescope MEADE 300 mm de diamètre F/D=6.3
- Spectroscopie ALPY 600 + module de calibration Ar/Ne + module autoguidage
- Logiciel d'acquisition MaximDL + PHD Guiding
- Camera d'acquisition ST402 SBIG + camera T7 autoguidage



Mise au point

Module calibration

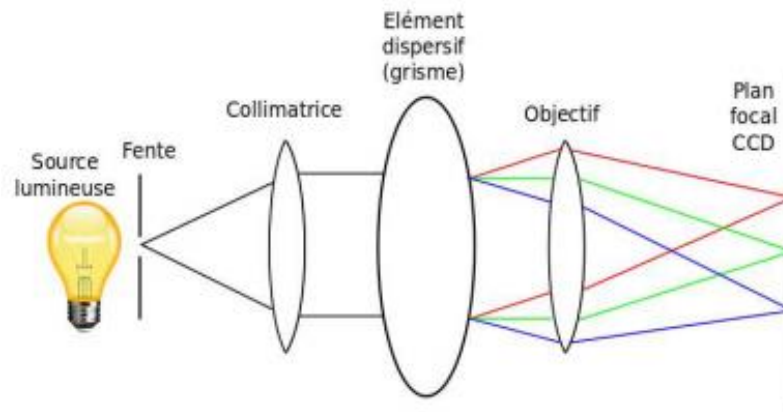
Camera autoguidage

Spectroscopie ALPY

camera

Nous pouvons représenter notre matériel de spectroscopie par un schéma simple :

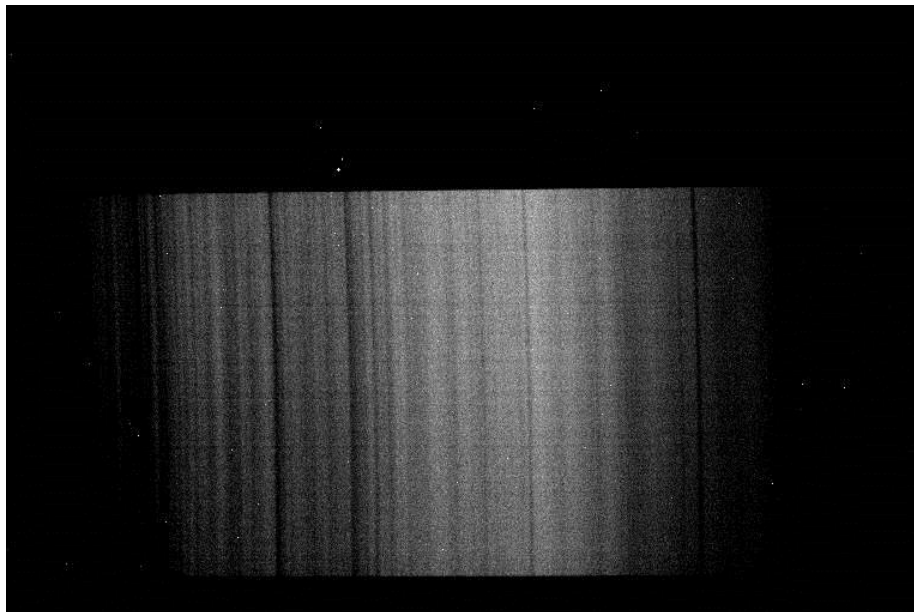


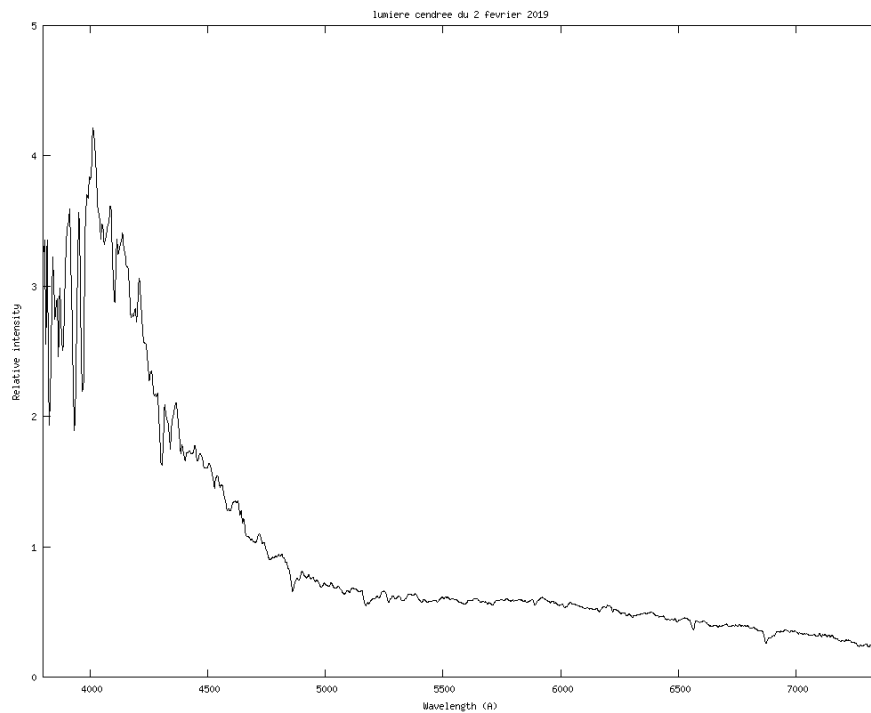


#### 4. Spectre lumière cendré de la Terre

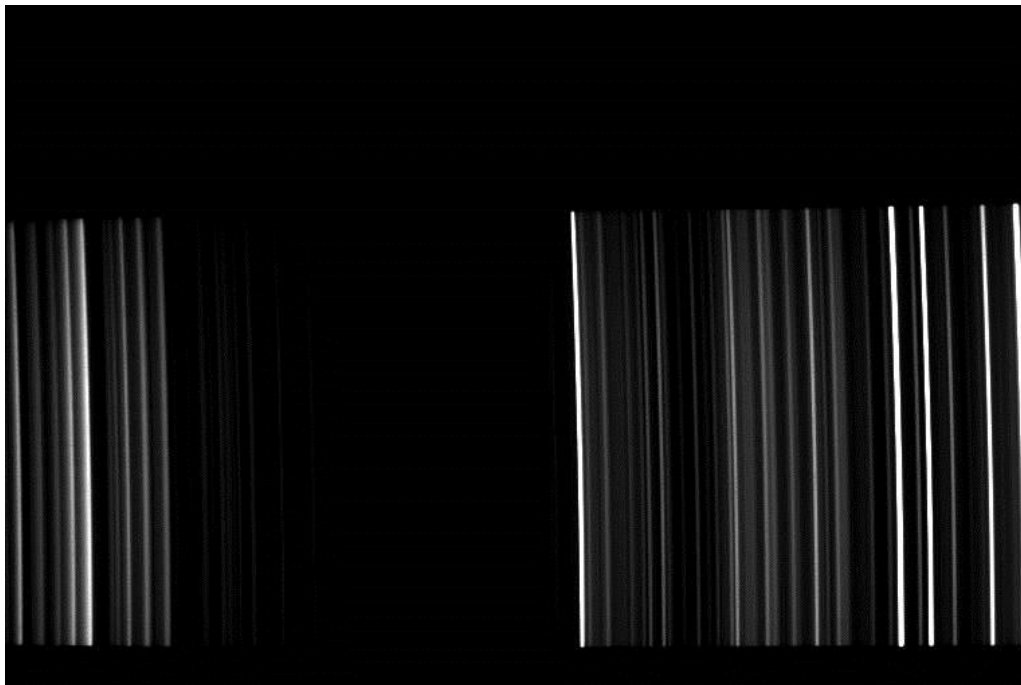
Afin de d'analyser le spectre de la lumière cendrée de la Terre, nous avons effectué un prétraitement de l'image avec la logiciel ISIS de spectroscopie développée par Christian Buil. Le prétraitement consiste à faire subir à l'image brute un certain nombre de traitement afin d'obtenir une image scientifiquement exploitable (traitement offset, flat et dark). Nous ne rentrerons pas dans le détail de ces opérations.

A partir des images de spectres 2D, on les transforme en un profil spectral 1D

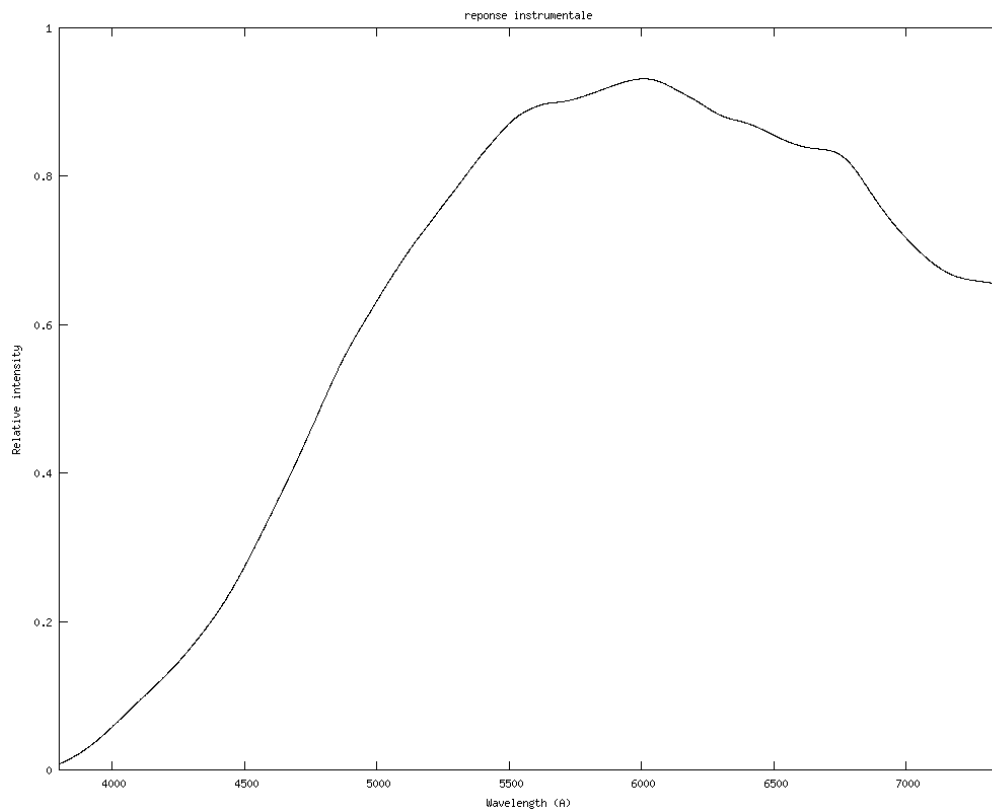




L'étape suivante est d'étalonner en longueur d'onde le spectre. Pour ce faire on utilise une lampe à décharge Argon/ Néon afin d'obtenir des raies d'émission dont on connaît précisément les longueurs d'onde.

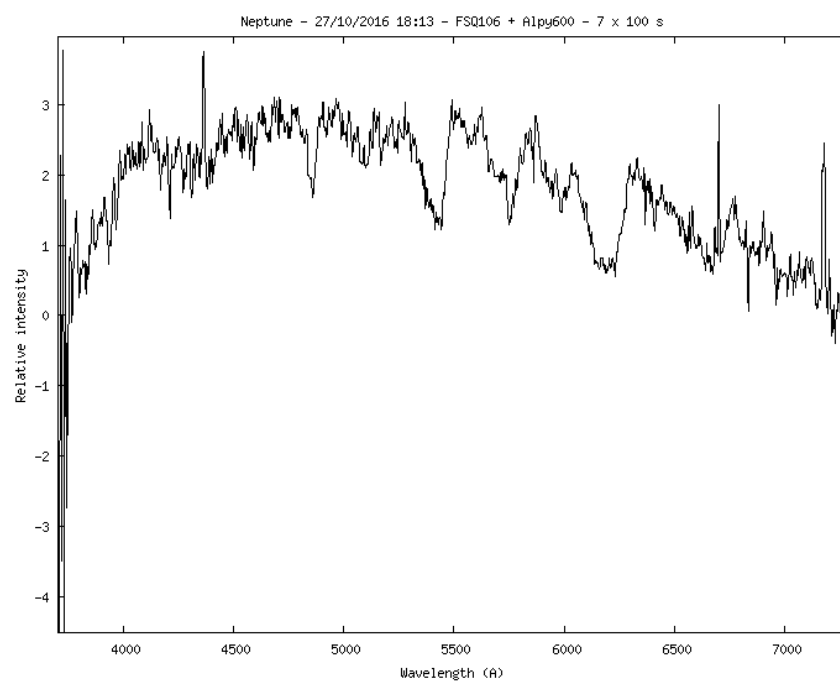


L'étape suivante est d'étalonner en réponse instrumentale. Pour ce faire on utilise une étoile de calibration prise dans les mêmes conditions que le spectre à calibrer notamment en hauteur sur l'horizon. Cette étape nous permet de calculer la réponse instrumentale.



### 3. Exploitation des spectres

Nous avons testé cette méthode sur les spectres des planètes Uranus et Neptune.

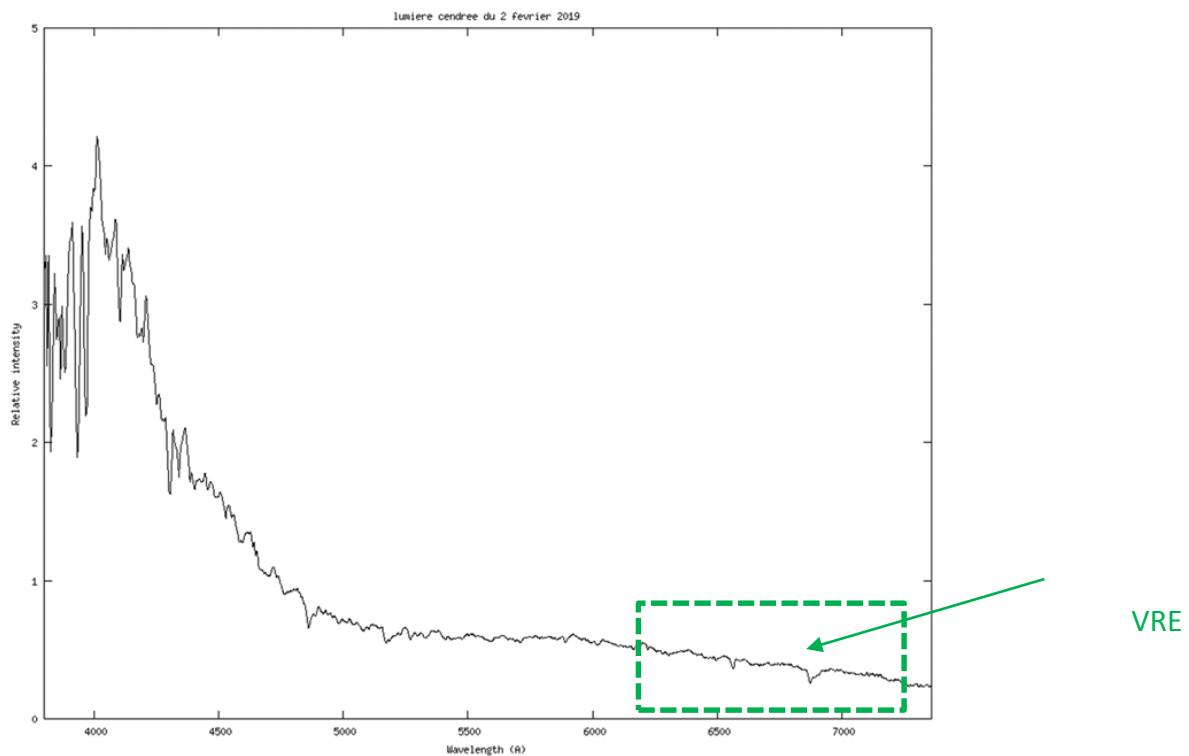


On remarque sur le spectre d'Uranus, et en vérifiant sur Internet, des bandes d'absorption de méthane aux longueurs d'onde 4860, 5430, 5760, 5960, 6190 et 6680nm.

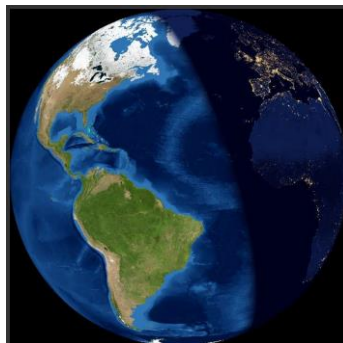
Le spectre de Neptune représente beaucoup de similitudes avec celui de Uranus : il y a énormément de marques de méthane

Nous avons comparé le spectre de Vénus au spectre de l'étoile G2iv, une étoile similaire au soleil. Les deux se ressemblaient énormément. Nous en avons déduit que le spectre obtenu de Vénus était en réalité la réflexion du Soleil. De plus, nous avons remarqué quelque chose d'étrange : la raie de longueur d'onde 6916 nm aurait dû correspondre avec le spectre de l'eau obtenu en cliquant sur l'option H<sub>2</sub>O. Cela fait partie des difficultés avec les logiciels.

Concernant le VRE, nous n'avons pas pu actuellement l'identifier. Il faut préciser qu'il s'agit de détecter une variation de quelques % du continuum. C'est donc une mesure assez délicate !



Position de la Terre au moment du de l'obtention du spectre



Le spectre de la Terre présente des variations (raies d'absorptions) dans le flux lumineux, expliquées par la présence de nombreux biomarqueurs dans la biosphère terrestre. Ce sont des espèces chimiques qui indiquent la présence de vie sur une planète de par leurs spécificités chimiques et leur rôle dans les écosystèmes à l'échelle macroscopique et microscopique

#### IV - Conclusion

Il reste encore beaucoup de travail et des problèmes à résoudre afin d'obtenir des résultats vraiment probants sur l'existence de la vie sur Terre.

Vue les limitations de notre spectroscope dans l'infrarouge, domaine dans lequel il y a beaucoup de biomarqueurs, nous sommes en train d'étudier la possibilité d'utiliser un nouveau spectroscope plus adapté au proche IR .

Ce projet est enthousiasmant.

Nous avons choisi ce sujet car c'est un thème passionnant et actuel. En effet, de nombreuses équipes à travers le monde, travaillent dans ce domaine. En effet découvrir la vie sur une autre planète aurait un impact colossal aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan philosophique ou spirituel.

Nous nous sommes mis dans la peau d'ET l'extraterrestre qui n'a pas, pour l'instant, réussi à détecter cette vie sur Terre. Peut-être y arrivera-t-il bientôt ?