



Jupit'airlines



ROLLAND Marie GAYMU May ANDRE-PINHEIRO Mily
RALLI Charlotte MARTIN Ilona ASSERAF Youna ROUBAUD Lucas

Projet encadré par nos professeurs de physique-chimie M. FORT et M.
LEBRAS



**ACADÉMIE
D'AIX-MARSEILLE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Sommaire

I- INTRODUCTION

1. Introduction de Jupit'airlines
2. Résumé du projet et problématique

II- CE QUE L'ON SAIT SUR JUPITER

1. Structure de Jupiter
2. Repérage de Jupiter
3. Nos observations

III- PRINCIPE DE LA SPECTROSCOPIE

1. Spectres d'émission et d'absorption
2. C'est quoi un spectrographe ?

IV- EXPERIENCES PRELIMINAIRES

1. Spectre du néon
2. Mesure de la largeur de la fente

V- OBSERVATIONS DE JUPITER ET ACQUISITION D'IMAGES

VI- TRAITEMENTS DES IMAGES

1. Obtention d'une image du spectre de Jupiter à l'aide du logiciel IRIS
2. Obtention d'un profil calibré à l'aide du logiciel Visual Spec

VII- EXPLOITATION DES RÉSULTATS

1. Détermination des éléments chimiques composant l'atmosphère jovienne
2. Détermination théorique de la vitesse de rotation de Jupiter par l'effet Doppler-Fizeau

VIII- CONCLUSION ET VALIDATION DU PROJET

IX- LIEN DE LA VIDEO

X- SOURCES

I. INTRODUCTION

^{1.} Introduction de Jupit'airlines

Mesdames et Messieurs ici votre commandant de bord, bienvenue dans ce vol en provenance de la planète Terre à destination de Jupiter. Nous venons de quitter l'orbite terrestre, la température de notre destination est de 123.15 Kelvin. Je vous prie d'attacher vos ceintures, l'équipe vous souhaite de passer un agréable séjour. Merci d'avoir choisi Jupit'airlines.

^{2.} Résumé du projet

Nous sommes sept élèves en terminale générale du lycée Aristide Briand de Gap. Lorsque nos professeurs de Physique-Chimie nous ont présenté en début d'année le Concours Cgénial, nous avons tous été immédiatement intéressés. L'idée d'acquérir de nouveaux savoirs et de découvrir de nouveaux domaines, par le biais d'expériences, sur des sujets non-traités au niveau scolaire nous ont motivées. Tous intéressés par l'astronomie, nous nous sommes naturellement tournés vers ce domaine. Une question est notamment apparue : **comment l'Homme est-il parvenu à connaître bon nombre des caractéristiques des planètes et même d'étoiles alors que celles-ci se trouvent à minima à des dizaines de millions de kilomètres de nous ?**

Avec l'aide de nos professeurs de Physique-Chimie M. FORT, M. LEBRAS ainsi qu'avec celle de M. SARRAZIN, nous nous sommes penchés sur l'acquisition et l'étude des spectres. La spectroscopie a pour avantage d'apporter énormément de données telles que la température, la composition chimique ou la vitesse de rotation d'un corps céleste. En définitive, cette science permet d'accéder à l'imperceptible, d'où notre intérêt pour celle-ci.

Tout d'abord, pour illustrer notre projet sur la spectroscopie nous avons décidé de présenter une expérience simple. Nous avons vérifié la largeur de la fente que nous avons par la suite utilisée lors de notre observation de Jupiter. Nous présenterons cette manipulation comme expérience.

Nous nous sommes ensuite intéressés au spectre de Jupiter. Afin de réaliser notre projet, l'association Copernic nous a aimablement prêté leur spectrographe Shelyak Lhires III. Avec celui-ci, nous avons pu apprendre à traiter ces spectres sur le logiciel Visual Spec. C'est la deuxième expérience que nous présentons. Ce spectre nous a ensuite permis de déduire certaines caractéristiques de Jupiter.

II. CE QUE L'ON SAIT SUR JUPITER

La plus grande planète de notre système solaire, 143 000 km de diamètre à l'équateur, la géante gazeuse, Jupiter a toujours fasciné les astronomes.

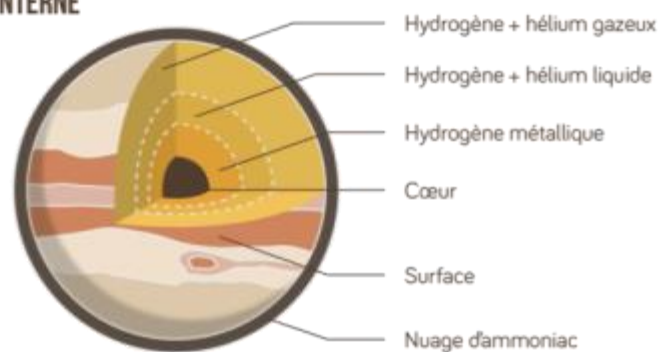
1. Structure de Jupiter

La structure interne de Jupiter est faite d'un noyau compact de roche et de glace formé en partie d'hydrogène et d'hélium compressés et qui représente environ 4% de sa masse. Au dessus, se trouve une couche d'hydrogène métallique

fluide, où les électrons sont détachés des protons, mais libres de se déplacer dans un environnement où la pression est d'environ 3 millions d'atmosphères terrestres. Ensuite se trouve une couche d'hydrogène et d'hélium liquides. La couche suivante est composée d'hydrogène et d'hélium gazeux. Et enfin se trouve l'atmosphère de Jupiter.

Grâce à l'exploitation du spectre de Jupiter, nous pourrions accéder à des informations précises sur la composition de cette atmosphère.

UN MODÈLE THÉORIQUE
DE LA STRUCTURE INTERNE
DE JUPITER



2. Repérage de Jupiter

Jupiter est très facile à repérer sur la voûte céleste, c'est l'astre le plus brillant du milieu de la nuit. Cette planète se situe à une distance de la Terre qui varie entre 628 et 928 millions de km. Il faut attendre qu'elle se trouve en position pour l'observer. Le meilleur moment pour observer Jupiter correspond à celui de son opposition (phénomène au cours duquel un objet céleste se trouve à l'opposé du

Soleil vis-à-vis de la Terre). À ce moment-là, les objets sont entièrement éclairés par le soleil et nous apparaissent au maximum de leur luminosité. Tous les 13 mois les orbites de Jupiter et la Terre se synchronisent brièvement. Pour trouver une planète en opposition, il faut regarder dans la direction opposée au coucher du soleil, vers l'Est. Pendant quelques semaines, la planète sera bien placée vers le moment exact de l'opposition.

3. Nos observations

Pour notre projet, ces dates appropriées correspondaient au mois d'octobre 2022 et novembre 2023. Nous avons fait nos observations en décembre 2022. Cependant, nos résultats n'étaient pas suffisamment exploitables à cause d'un mauvais réglage du spectroscopie. Nous avons alors, de conditions appropriées, utilisé des images prises par un professeur de notre établissement en décembre 2011 afin d'effectuer nos analyses.

II. PRINCIPE DE LA SPECTROSCOPIE

1. Spectres d'émission et d'absorption

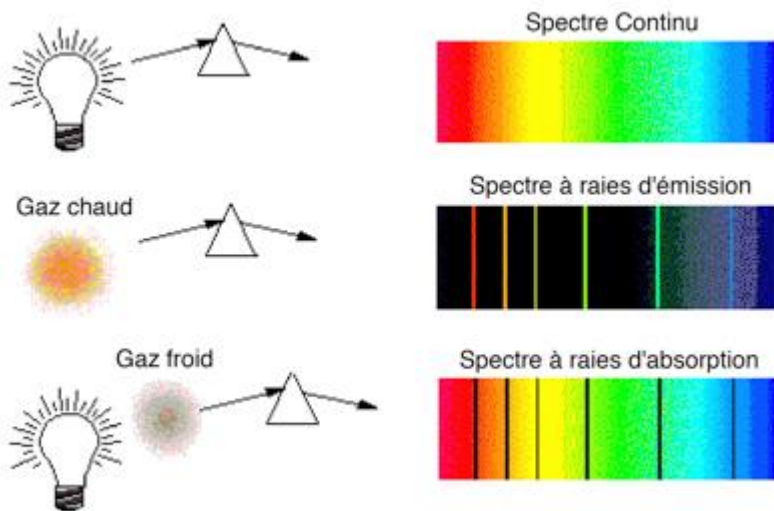
Le principe de la dispersion en physique repose sur le concept selon lequel la lumière peut être séparée en ses composants individuels en fonction de leurs longueurs d'onde ou fréquences. Cette séparation de la lumière en longueurs d'onde qui la composent est ce qui crée un spectre. L'étude des spectres fournit des informations précises sur les propriétés et le comportement des sources émettrices ou absorbant la lumière, comme par exemple pour les étoiles, les planètes, les gaz et d'autres matériaux.

Un spectre est donc caractéristique des éléments présents dans le matériau étudié.

Lorsque de la lumière blanche traverse un gaz, les atomes ou les molécules du gaz peuvent absorber des longueurs d'onde spécifiques de lumière. Il en résulte des lignes sombres, appelées lignes d'absorption, superposées au spectre continu (cf. figure A). Les positions de ces lignes indiquent les éléments ou molécules présents dans le matériau absorbant.

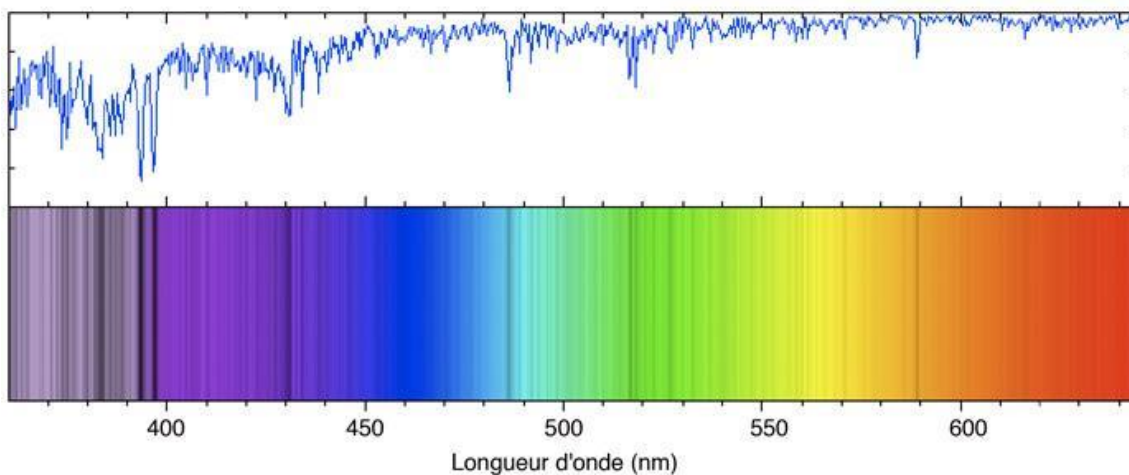
La spectroscopie, l'étude des spectres, est un outil puissant pour comprendre la composition, la température, le mouvement et d'autres propriétés des objets, des gaz et des matériaux célestes. Dans notre projet, c'est ce qui nous permet de connaître les caractéristiques de Jupiter.

Figure A : Exemples d'un spectre continu, d'émission , d'absorption
(d'après <http://www.obs-hp.fr/>)



On représente ensuite l'absorbance A en fonction de la longueur d'onde λ (cf. figure B).

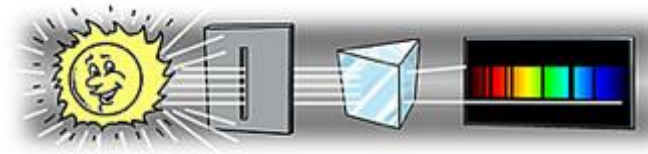
Figure B : Profil et raies d'absorption
(d'après <http://www.obs-hp.fr/>)



Le profil du spectre une fois étalonné représente la luminosité en fonction de la longueur d'onde. Les raies d'absorption correspondent alors à des baisses de luminosité.

2. C'est quoi un spectrographe ?

C'est un instrument d'optique qui disperse les différentes couleurs de la lumière d'un astre, puis les enregistre. Chaque couleur est identifiée alors par sa longueur d'onde. Dans un spectrographe, on dispose en entrée une fente très étroite pour que la pureté du spectre soit la meilleure. Les raies d'absorption sont alors les plus nettes possibles.



IV. EXPERIENCES PRELIMINAIRES

1. Le spectre du néon

Pour calibrer le spectrographe, nous avons besoin d'une lampe pratique à utiliser et dont le spectre est connu.

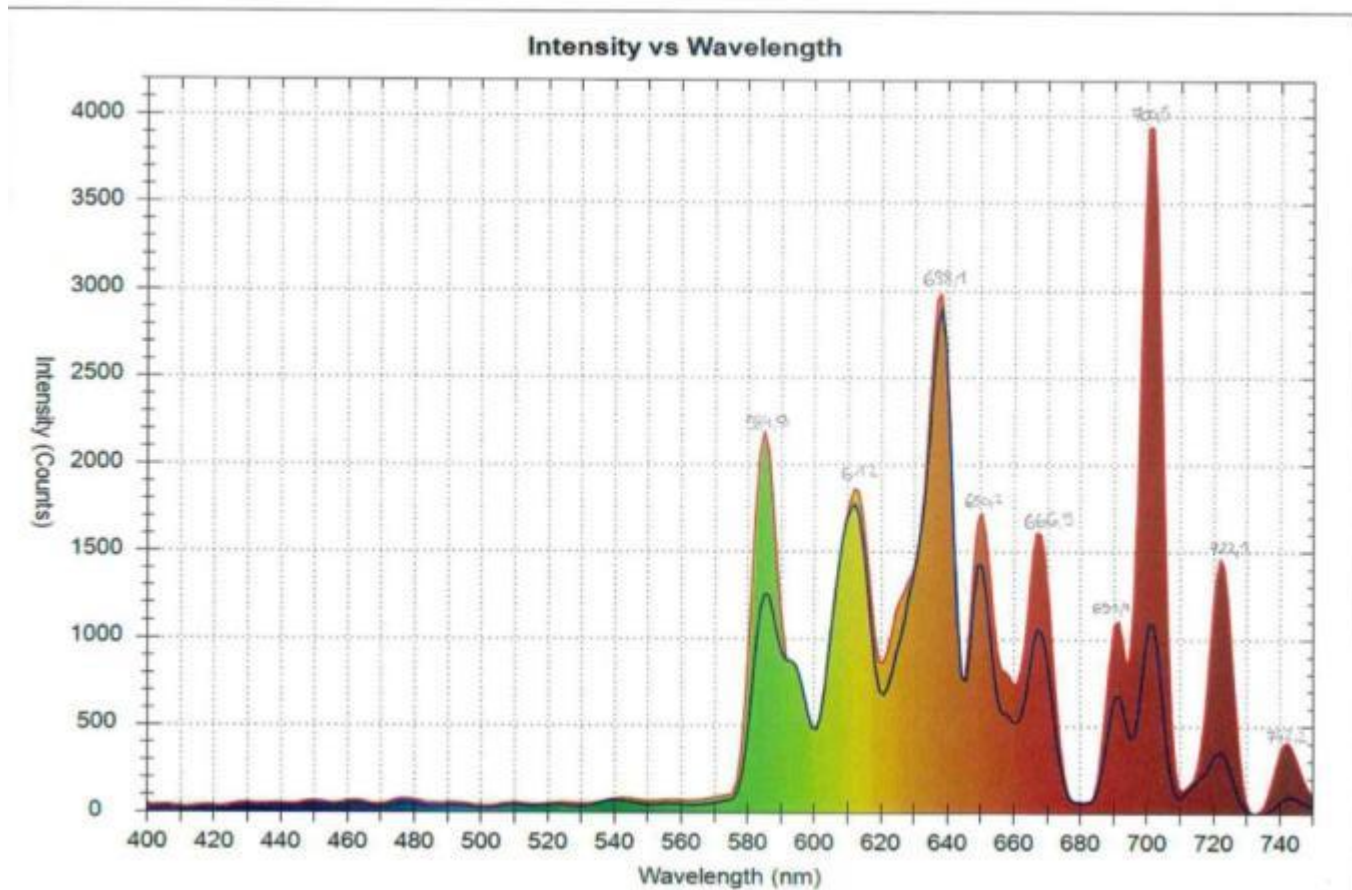
Notre professeur nous a apporté un voyant au néon.

Nous avons alors recherché sa composition en étudiant son spectre afin de le comparer à celui d'une lampe à vapeur de néon et vérifier que la lumière du voyant ne comporte que les raies de cet élément chimique.

Nous avons enregistré le spectre de la lampe du voyant à l'aide de fibre optique reliée à un spectromètre. Puis nous avons enregistré le spectre d'un néon de la même manière (cf. figure C).



Figure C : Enregistrement du spectre de la lampe de calibrage (photographie de gauche) et de celui de la lampe néon (photographie de droite):



- spectre du néon
- spectre d'un voyant

Figure D : Intensité (u.a.) en fonction de la longueur d'onde (en nm) des spectres d'une lampe néon et de la lampe du voyant :

Nous avons alors comparé les deux spectres obtenus (*cf. figure D*) et constaté qu'ils avaient les mêmes raies d'émission. En effet, nous avons observé des pics d'émission semblables sur les deux spectres à par exemple 584.9 nm, 638.1 nm, 669.9 nm ainsi qu'à 722.1 nm. Puisque tous les pics d'émission de la lampe du voyant correspondent à ceux de la lampe néon, nous concluons que la lampe du voyant est bien composée à 100% de néon.

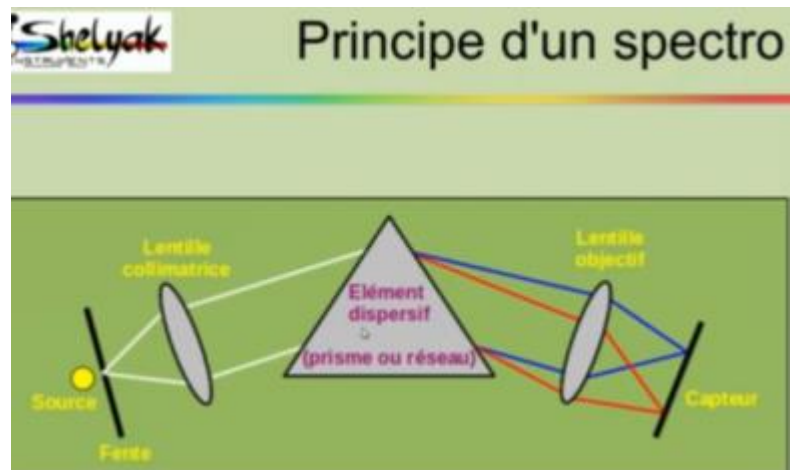
2. Mesure de la largeur de la fente (expérience présentée)

La largeur de la fente est un point crucial de l'instrument: c'est elle qui détermine la résolution des spectres.

Nous avons mesuré la largeur de la fente de notre spectrographe afin de vérifier si elle correspond bien à la valeur "nominale" énoncée qu'il faut, c'est-à-dire $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ nm}$.

Au-dessus, nous perdrons en résolution... et en dessous, nous ne gagnerions plus rien, mais nous

perdrions en flux. Il faut donc essayer de s'approcher au mieux de cette dimension quand on choisit la fente.



Pour mesurer la fente nous avons placé un laser aligné avec la fente et un écran à l'aide d'un banc optique (cf. premier schéma figure E et photographies). Durant notre expérience le laser et la fente sont fixes, nous déplaçons l'écran pour observer l'évolution de la taille de la figure de diffraction. Tous les 20 cm nous mesurons la largeur (f) de la figure de diffraction. Nous reportons les valeurs de la distance (l) entre la fente et l'écran et de la largeur (f) dans un tableau (cf. tableau de la figure F). Ces valeurs nous donnent alors un graphique présentant une droite (cf. graphique de la figure F) ainsi que l'expression de la fonction $F(l)=f$.

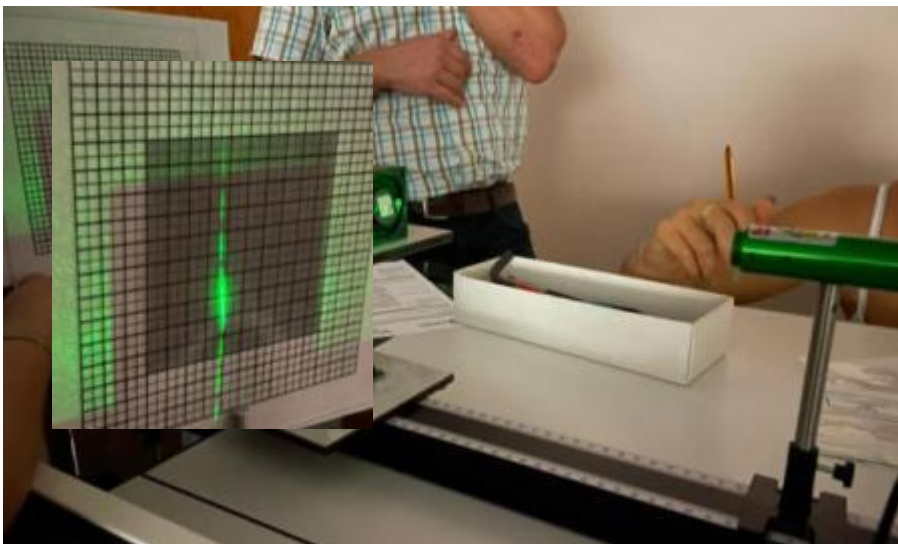


Figure E : Schémas de la mesure de la fente :

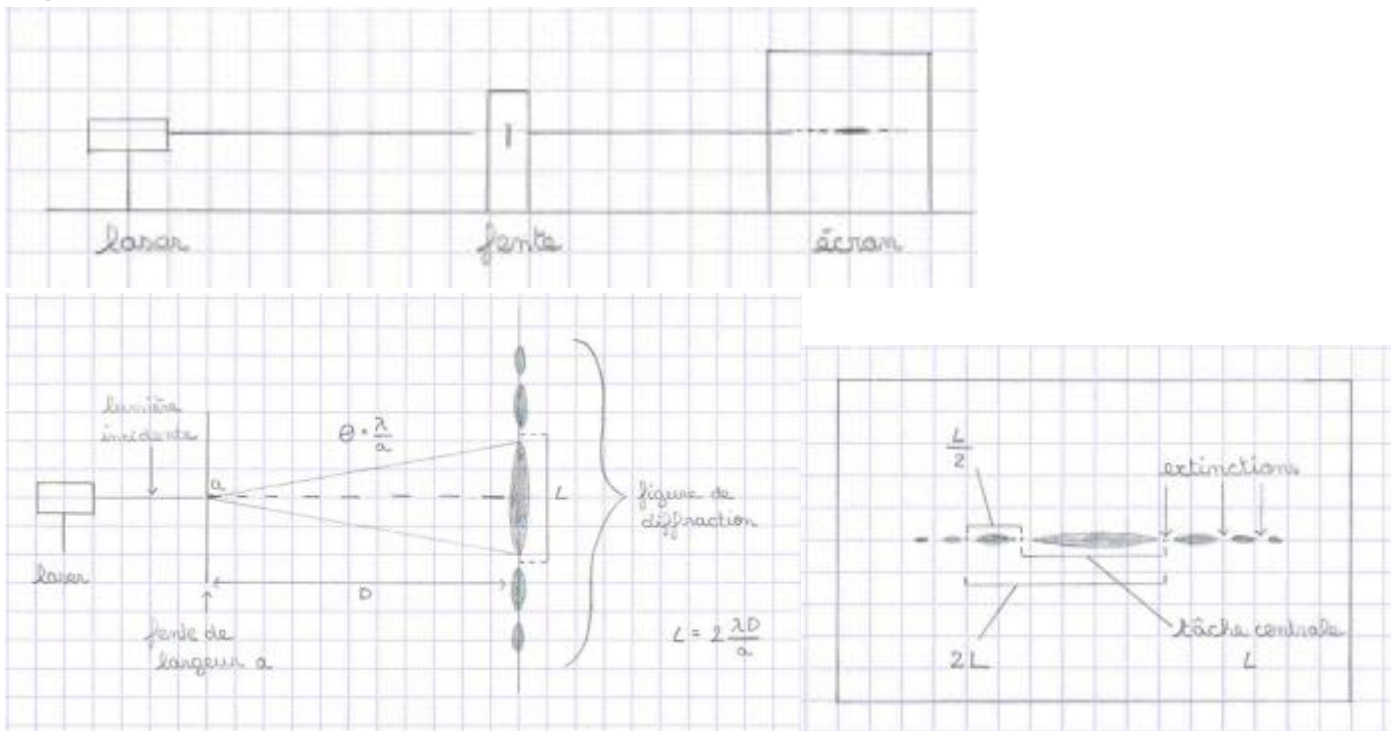
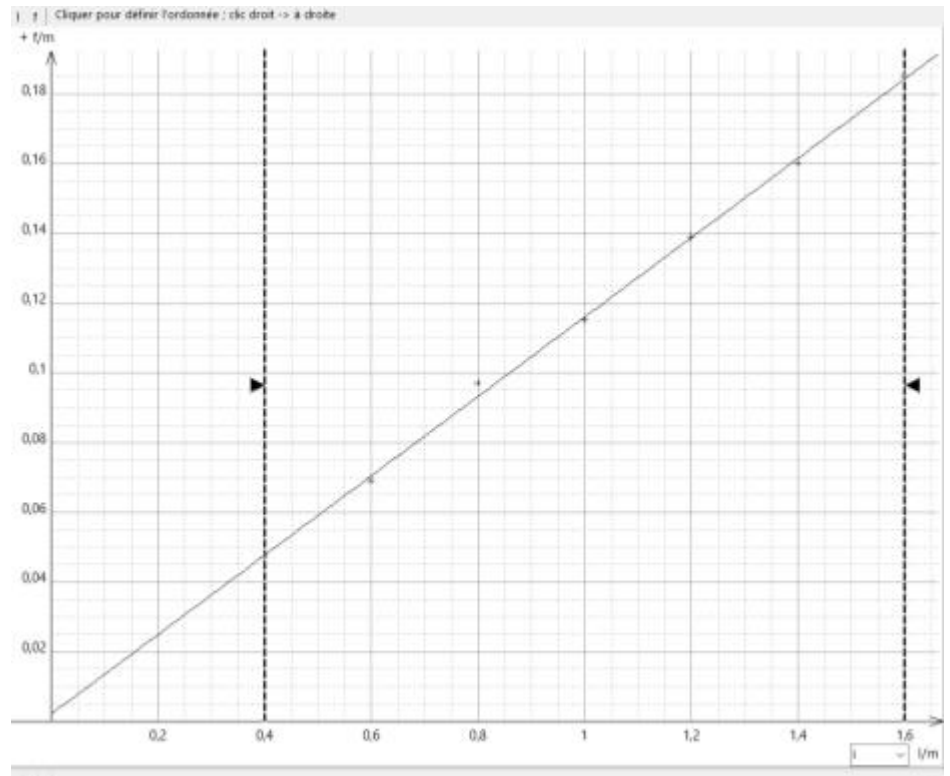


Figure F: largeur de la tâche centrale de diffraction f , (en m) en fonction de la distance entre la fente et l'écran l (en m).

i	l	f
	m	m
0	0,4000	0,0470
1	0,6000	0,0690
2	0,8000	0,0970
3	1,000	0,1150
4	1,200	0,1390
5	1,400	0,1600
6	1,600	0,1850



D'après le logiciel Regressi, l'équation de la fonction est $f = a_1 \times l + 0.114$

avec $a_1 = (113.9 \pm 4.9)10^{-3}$

$$\lambda_{\text{laser}} = 532 \pm 1 \text{ nm}$$

Soit f la largeur de la tâche centrale de la figure de diffraction, l la distance entre la fente et l'écran, et a la largeur de la fente:

$$f = \frac{2\lambda l}{a}$$
$$\text{et } a = \frac{2\lambda l}{f}$$

On a tracé f en fonction de l

donc $f = a_1 \times l$ et $a_1 = \frac{f}{l}$

Ici, on cherche la largeur de la fente a :

$$a = \frac{2\lambda l}{a_1}$$

Application numérique : $a = \frac{2 \times 532}{113,9 \times 10^{-3}} = 9.34 \times 10^{-6} \text{ m} = 9.34 \text{ } \mu\text{m}$

Incertitudes :

$$\frac{u(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(a_1)}{a_1}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{532}\right)^2 + \left(\frac{4.9 \times 10^{-3}}{113.9 \times 10^{-3}}\right)^2} = 1.9 \times 10^{-3}$$

$$\text{donc } u(a) = 1.9 \times 10^{-3} \times a = 1.9 \times 10^{-3} \times 9.34 \text{ } \mu\text{m} = 0.02 \text{ } \mu\text{m}$$

Conclusion : largeur de la fente $a = (9.34 \pm 0.02 \mu\text{m})$

La valeur de la largeur de la fente correspond presque à celle "nominale" de $10 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ nm}$.

V. OBSERVATIONS DE JUPITER ET ACQUISITION D'IMAGES

Nous avons fait nos observations le 1er décembre 2022. Nous avons utilisé une lunette astronomique ED Skywatcher de 100 mm de diamètre et de 900 mm de focale ainsi que le spectroscopie Lhires III avec les réseaux haute et basse résolution, c'est-à-dire l'instrument qui enregistre la décomposition en longueur d'onde du rayonnement lumineux, qui nous a été prêté par l'association Copernic. Nous avons aussi utilisé une caméra électronique noir et blanc, type CMOS, pour enregistrer les données sur ordinateur.

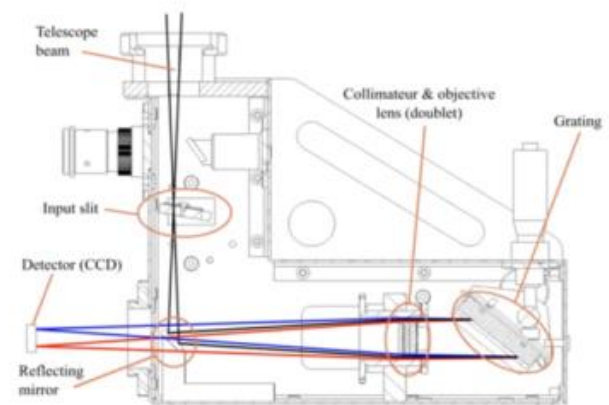
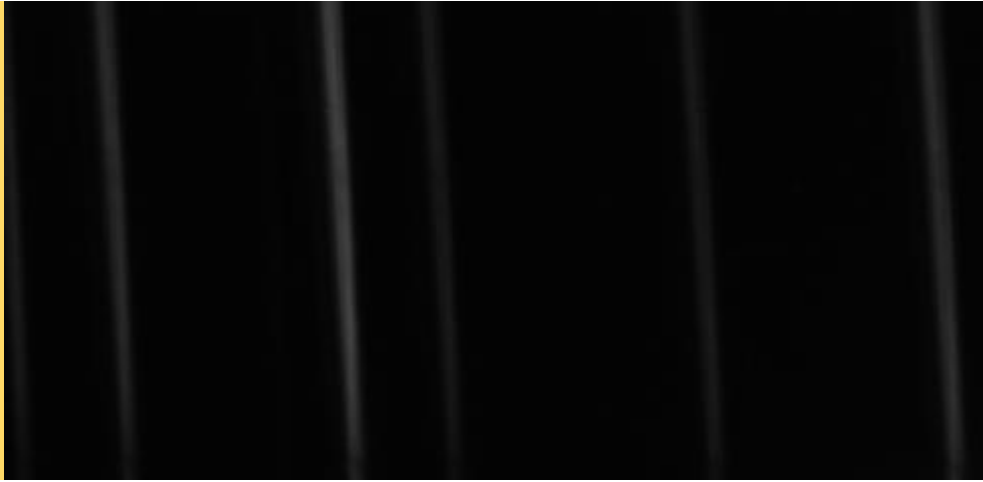


Figure G : Photographie et fonctionnement du spectroscopie Lhires III

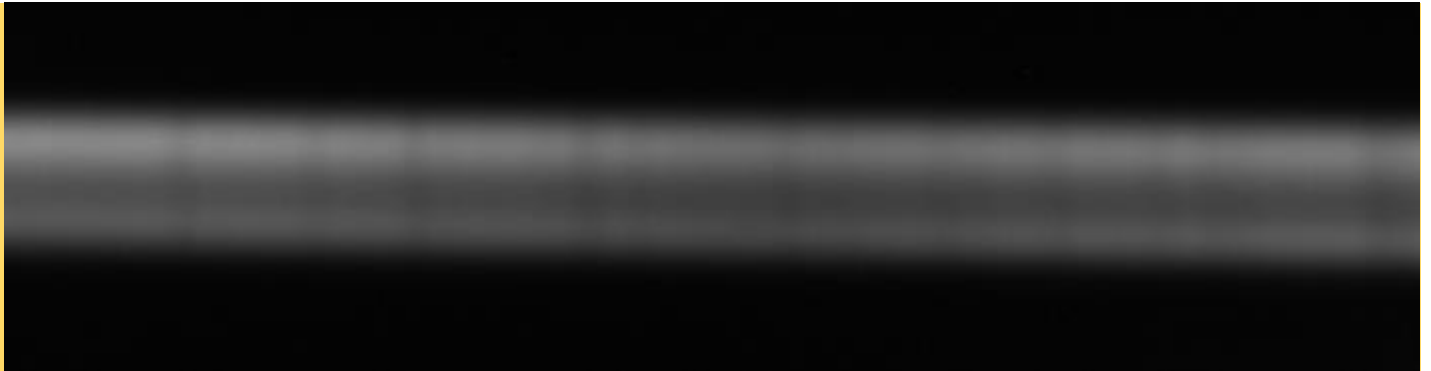
Dans le Lhires III, la lumière qui passe par la fente (celle du Soleil réfléchi par Jupiter focalisée par notre lunette) rencontre un miroir, puis est dirigée vers l'objectif collimateur. Le faisceau collimaté est envoyé sur un réseau (grating) .

Nos résultats :

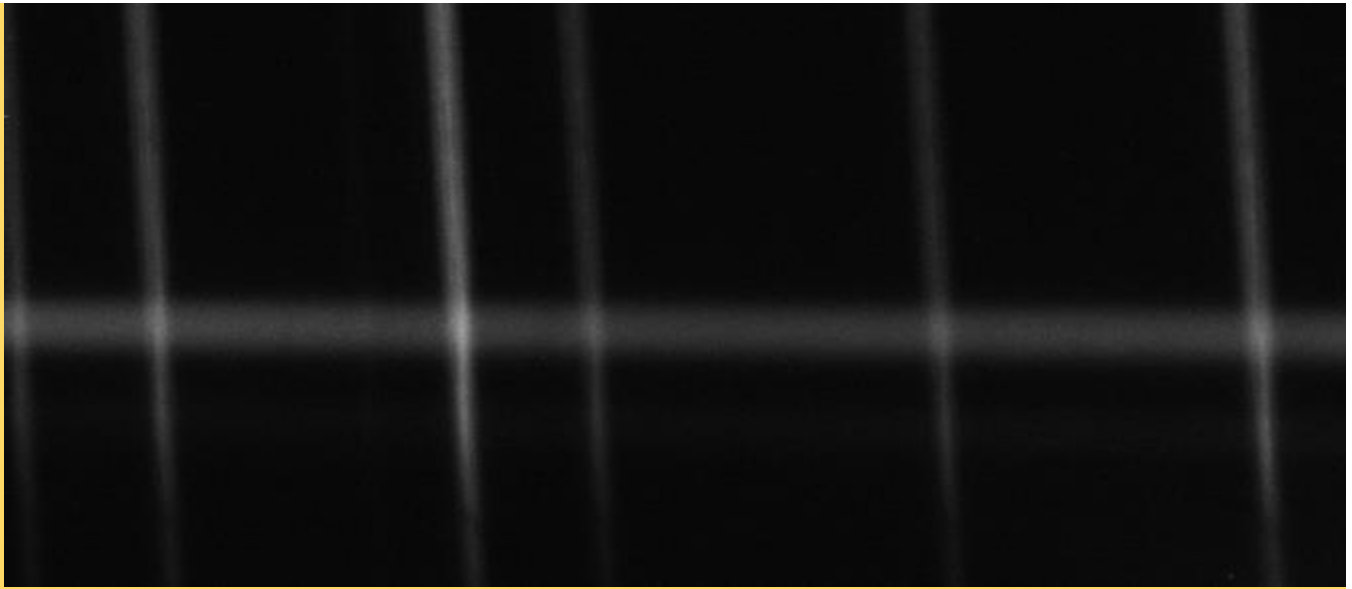
Spectre du voyant au néon :



Spectre de jupiter (1 seule image)



Acquisition simultanée du spectre de calibration et de celui de jupiter (juste pour illustrer le principe de la calibration)



Malheureusement, nos premières observations n'ont pas abouti à des résultats exploitables et nous devons rendre le spectroscopie qui ne nous appartenait pas. Alors nous décidons de construire notre spectroscopie nous même !

Nous avons donc imprimé en 3D et monté toutes les pièces du spectrographe Sol'Ex, et acheté une fente étroite, deux lentilles et un réseau à diffraction nécessaires pour l'assemblage. Le fonctionnement du Sol'Ex est donc le même que celui du Lhires III.

Nous avons ainsi pu découvrir de l'intérieur comment fonctionne un spectrographe.



Cependant par manque de temps et de bonnes conditions d'observation, nous avons utilisé des images prises par un professeur de notre établissement afin d'effectuer nos traitements d'images puis nos analyses.

VI- TRAITEMENTS DES IMAGES

1. Obtention d'une image du spectre de Jupiter à l'aide du logiciel IRIS

Pour traiter une image sur IRIS, nous avons besoin d'images spécifiques qui nous aident à réduire les imprécisions de nos appareils (appareil photo, télescope et spectrographe). Ces images sont le dark, le flat et l'offset :

Le Dark :

Le dark est une photo prise avec le bouchon de la lunette qui est censée être entièrement noire. Or il se peut que l'appareil photo ait quelques défauts qui rendraient certains pixels blancs (cf. figure H) quand ils devraient être noirs. On appelle cela des points chauds. Iris nous permet de repérer ces points chauds et de les éliminer de nos images de Jupiter.

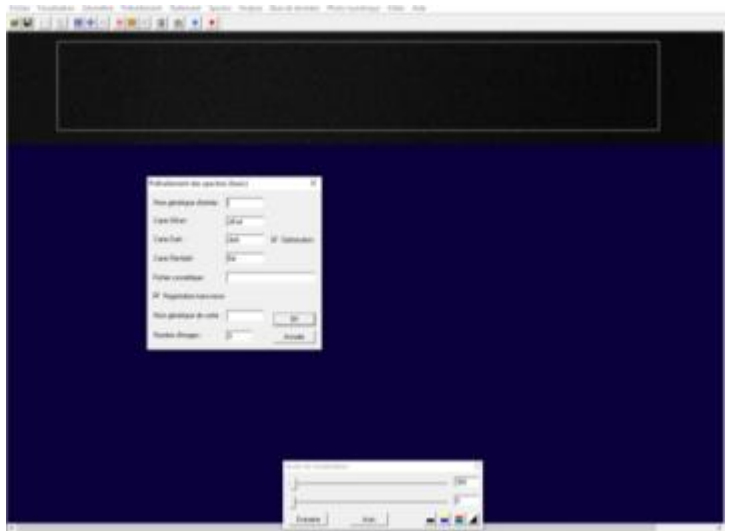


Figure H : Capture d'écran du traitement du dark sur Iris:

Le Flat :

Le flat est une photo d'une feuille blanche éclairée par une lampe frontale et placée devant la lunette. Cette image pourra nous renseigner sur l'homogénéité de la luminosité sur l'image.

L'offset:

L'image offset est réalisée en utilisant un temps de pose nettement inférieur à celui utilisé pour réaliser le dark ,le flat et tous les spectres. Avec ce temps de pose réduit, il n'y a que très peu de lumière qui est enregistrée, mais le signal électrique n'est pas nul. Il sera retranché sur IRIS.

Le spectre de référence :

C'est une photo du spectre de la lampe au néon (cf. IV.1. Le spectre du Néon).

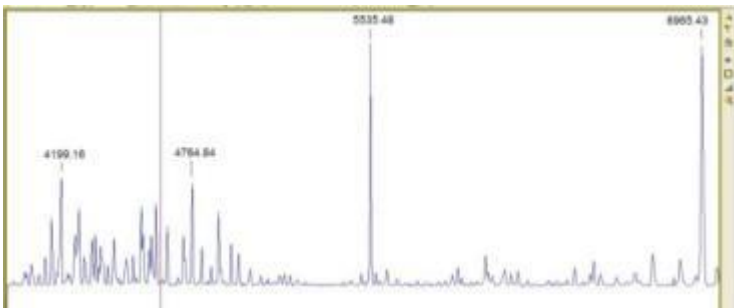
Cette image nous permettra de calibrer nos futurs spectres car nous connaissons les longueurs d'ondes des raies de cette lampe.

Une série de spectres de Jupiter :

Une série d'images du spectre de Jupiter qui seront d'abord traitées avec le dark le flat et l'offset puis additionnées pour donner finalement un spectre.

2. Obtention d'un profil calibré à l'aide du logiciel Visual Spec

Pour traiter les spectres que nous avons pris avec le Lhires III nous utilisons le logiciel Visual Spec.



Pour le calibrage, nous utilisons la lampe "filly" dont nous avons vérifié le spectre (cf figures I et J).

Figure I : Spectre de la lampe "filly"

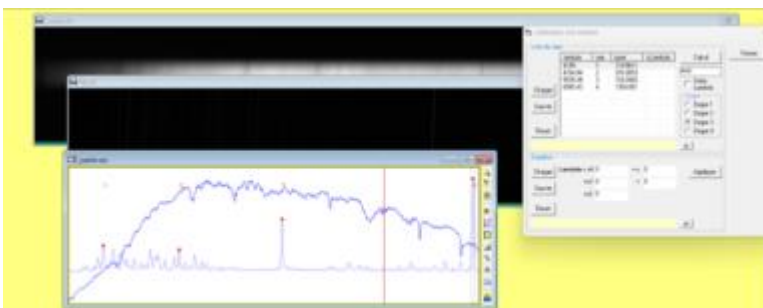


Figure J : Calibrage à l'aide de la lampe "filly" sur le logiciel Visual Spec

Le spectre que nous traitons a été acquis sur Terre. En plus des raies d'absorption correspondant à l'atmosphère de Jupiter, il y a donc aussi des raies d'absorption correspondant à l'atmosphère terrestre et à l'atmosphère du Soleil puisque Jupiter nous renvoie la lumière émise par le Soleil.

Le logiciel nous permet d'insérer des spectres déjà connus. Nous insérons celui du Soleil puisque le spectre a été pris sur la Terre. (cf figure K)

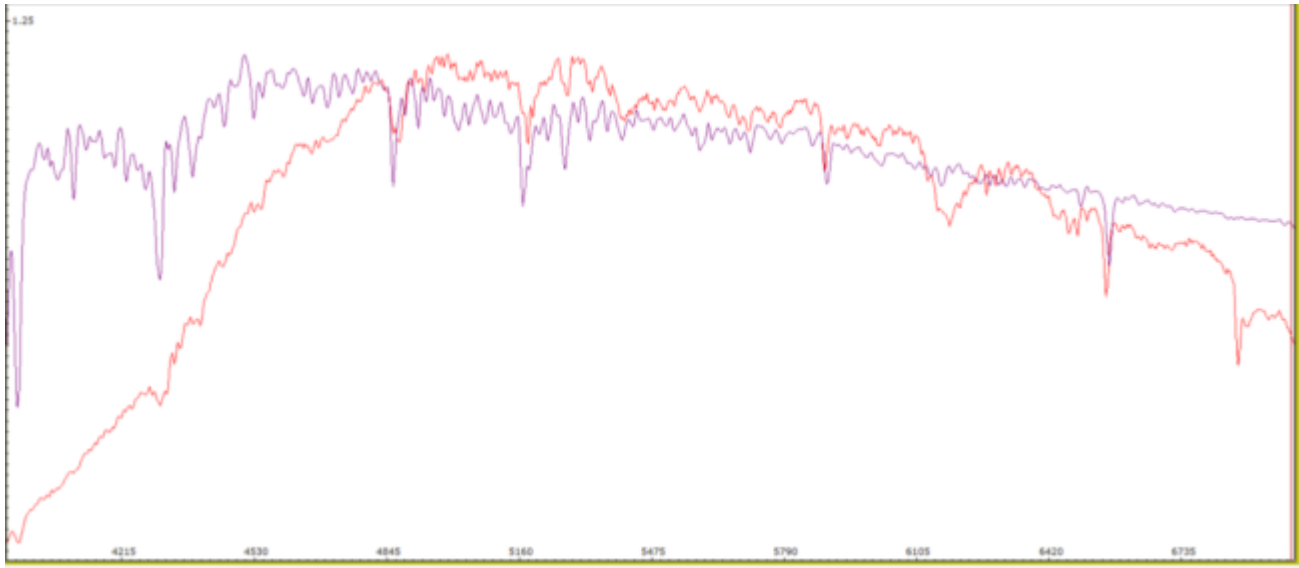


Figure K : Spectres de Jupiter (en rouge) et du Soleil (en violet)

VII- EXPLOITATION DES RÉSULTATS

1. Détermination des éléments chimiques composant l'atmosphère jovienne.

Pour connaître les éléments chimiques composant uniquement l'atmosphère de Jupiter, nous ne nous occupons pas des raies communes entre les deux spectres. Ainsi, les raies de longueur d'onde d'environ 6562 AngstrÖme et d'environ 4861 AngstrÖme sont celles de l'atmosphère du Soleil. Elles correspondent respectivement à l'Hydrogène alpha, $H\alpha$ et l'Hydrogène beta, $H\beta$ (cf figure L). C'est de même pour l'Hélium, He de longueur d'onde 5875 AngstrÖme. Ce sont les raies les plus caractéristiques du spectre du Soleil puisque le Soleil est composé à 92 % d'Hydrogène et à 7,8% d'Hélium.

La dernière bande d'absorption aux environ de 6800 AngstrÖme est caractéristique de l'atmosphère terrestre (cf figure M).

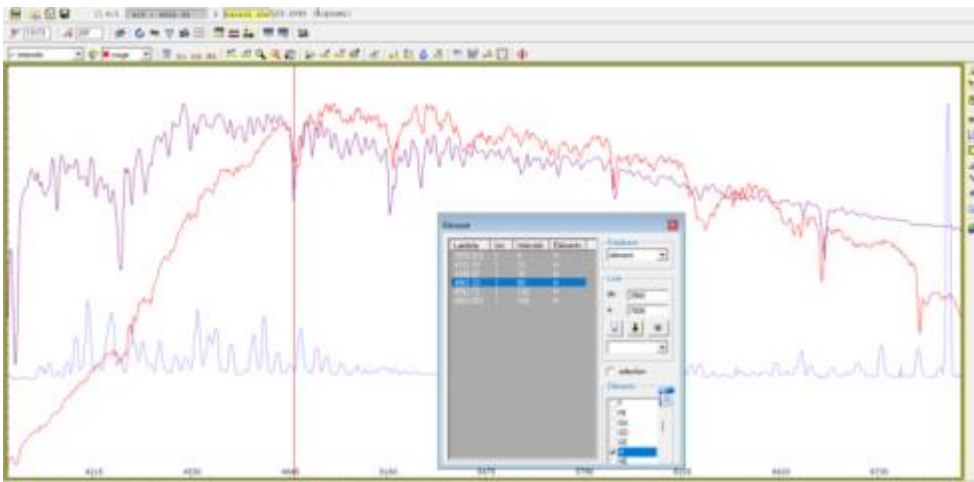


Figure L : Recherche de la raie d'absorption caractéristique d' $H\beta$

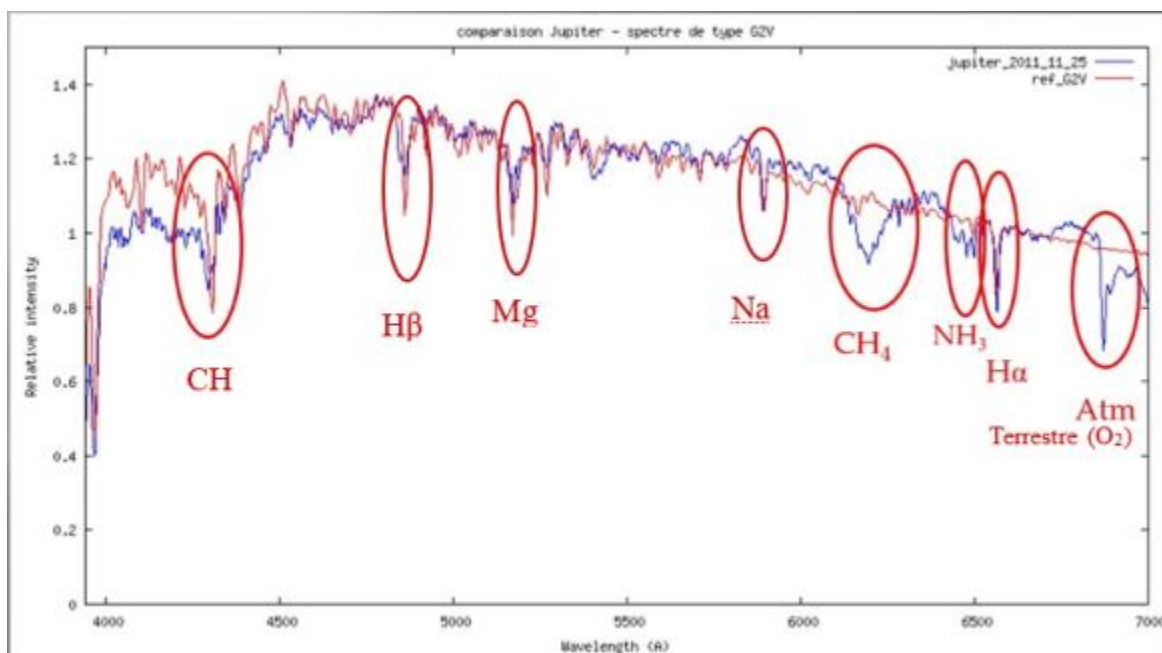


Figure M : Les raies identifiées

On en déduit donc que les raies d'absorption restantes correspondent à celles de l'atmosphère de Jupiter. Ainsi, l'atmosphère de Jupiter est composée de méthane, CH_4 et d'ammoniac, NH_3 (cf figure M).

Par ailleurs, on sait que l'atmosphère de Jupiter est composée à environ 13% d'hélium. Il y a bien la raie d'absorption correspondant à l'hélium. Cependant, puisque le spectre que nous étudions est à la fois celui de Jupiter et celui du Soleil, nous ne pouvons pas dire à partir de notre spectre s'il y a à la fois de l'hélium dans l'atmosphère solaire et dans l'atmosphère jovienne.

2.Détermination théorique de la vitesse de rotation de Jupiter par l'effet Doppler-Fizeau

L'effet Doppler-Fizeau est un effet relativiste, au sens qu'il ne s'explique que dans le cadre de la relativité restreinte. La perception d'un phénomène électromagnétique dépend de la vitesse relative entre la source et le récepteur. Quand on observe Jupiter il y a donc une inclinaison des raies d'absorption.

Calcul de la vitesse de rotation de Jupiter à l'aide de son spectre:

$$V_{\text{rot}} = 0,25 * c * (\lambda_2 - \lambda_1) / \lambda_{\text{au repos}}$$

V_{rot} = vitesse de rotation en km/s

c = vitesse de la lumière = 299792 km/s

λ_1 = longueur d'onde du bord s'approchant en Angströme

λ_2 = longueur d'onde du bord s'éloignant en Angströme

$\lambda_{\text{au repos}}$ = longueur d'onde de l'hydrogène Alpha au repos en Angströme

$$V_{\text{rotJ}} = 0,25 * 299792 * (\lambda_2 - \lambda_1) / 656,3$$

Nous ne pouvons pas calculer la vitesse de rotation de Jupiter car nous n'avons pas les valeurs de λ_2 et de λ_1 . Pour cela il aurait fallu que l'on fasse un spectre haute résolution. Nous avons obtenu nos spectres avec un Lhires III que nous avons emprunté à Copernic. Cependant, durant notre projet, nous n'avons plus eu accès à ce dernier. Nous n'avons donc pas pu obtenir les dernières valeurs manquantes pour le calcul et donc pas pu calculer la vitesse de rotation de Jupiter.

VIII- CONCLUSION

On sait que les planètes géantes comme Jupiter réfléchissent la lumière du Soleil. Leurs spectres sont donc assez proches du spectre solaire avec quelques modifications : il y a en plus du méthane CH_4 et de l'ammoniac NH_3 . Nous avons remarqué que l'ammoniac n'est souvent pas identifié dans les spectres faits par d'autres personnes et partagés sur Internet.

Nous avons donc montré que l'on peut trouver la composition chimique précise de l'atmosphère de Jupiter à partir de son spectre.

Nous avons eu la chance de prendre contact avec le Docteur Julien Girard, un astronome que nous remercions chaleureusement. Il travaille notamment sur les exoplanètes comme Jupiter mais plus jeunes, nous a-t-il dit. Il a pu valider notre projet et notre conclusion et répondre à nos questions telles que : comment la fente d'un spectrographe influe sur la qualité d'un spectre.



Figure N : Julien Girard avec une photo de Jupiter lors de la présentation des résultats nouveaux du James Webb Space Telescope à Montréal, le 18 juillet 2022

Il nous a expliqué que l'image était un test et avait été prise avec l'instrument NIRCcam.

Chers passagers, nous sommes arrivés à destination.

Des masques permettant de respirer l'atmosphère de Jupiter composé en partie de méthane et d'ammoniac sont mis à votre disposition dans la pochette de votre siège.

Nous vous prions de bien vouloir faire attention en descendant du vaisseau, la pesanteur de Jupiter est 2,5 fois plus élevée que la Terre. Les risques de s'écraser au sol sont élevés.

Nous vous remercions d'avoir choisi Jupit'airlines et vous souhaitons un agréable séjour.

L'équipage :



IX – LIEN DE LA VIDEO

https://drive.google.com/file/d/1BKYioOG9u_ZOrXUSliFY4TcyJtc7EVZM/view?t=2

X – SOURCES

- Sur le principe des spectres (et figures A et B illustrant le III) :
<http://www.eduonline.net/spip/spip.php?article419>
- Toutes les informations concernant le Shelyak Lhires III et le Sol'ex :
<https://www.shelyak.com/> et <http://www.astrosurf.com/solex/>
- "L'astrophysique, du big bang aux dernières découvertes", Marc Bousquet Paul Mallet
- "Le grand guide de l'astronomie", 8e édition Glénat
- Pour comparer nos résultats : <https://stellartrip.net/spectre-de-jupiter-et-saturne/>
- Principe d'un spectrographe : Observatoire de haute provence <http://www.obs-hp.fr/>