

INTRODUCTION À LA SPECTROSCOPIE

Table des matières

1	Introduction :	2
2	Comment obtenir un spectre ? :	2
2.1	Étaler la lumière :	2
2.2	Quelques montages possibles :	3
3	Les types de spectres :	4
4	Influence de la température :	5
5	Le profil de raies, outils de l'astrophysique :	6
6	Applications :	7
6.1	Calibration en longueur d'onde d'un spectre :	7
6.2	Détermination de la composition chimique :	9
6.3	Tables des longueurs d'onde des espèces chimiques :	11
6.4	L'effet DOPPLER-FIZEAU :	12
7	Conclusion :	13

1 Introduction :

Depuis la nuit du début des temps de l'astronomie, les astronomes ont toujours voulu étudier les caractéristiques physiques des astres observés. Mais pour cela, il faudrait que les astronomes puissent les scruter de près, les décortiquer pour arriver à les analyser. En bref ce que l'on peut faire avec des objets que l'on a sous la main !

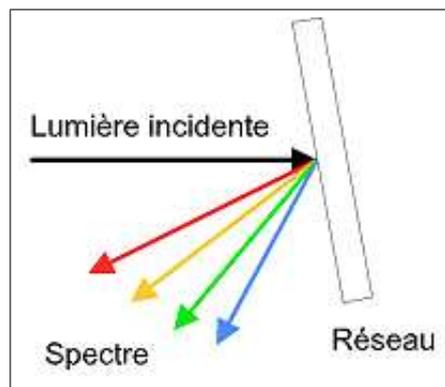
Or, les étoiles et les astres en général ne sont pas atteignables et seul leur rayonnement parvient à nous. Les astronomes ont donc dû se résoudre **à faire parler la lumière**. Ils ont donc été rapidement amenés à se poser la question suivante : **pourquoi un astre est-il lumineux ?** Quelle est la relation entre la matière et la lumière ?

2 Comment obtenir un spectre ? :

2.1 Étaler la lumière :

L'expérience d'un réseau déposé sur la lentille du rétroprojecteur permet l'observation d'un spectre lumineux continu.

Le système qui "étale" la lumière blanche au départ, est un réseau de diffraction et l'ensemble constitue un spectroscopie.



La lumière est une onde dite électromagnétique et son spectre ne se limite pas au "visible" : 450 nm-750 nm. Il est aussi composé des ondes radio, de l'infra-rouge, du visible, de l'UV, des rayons X et des rayons gamma.

Une couleur, c'est-à-dire une radiation lumineuse est repérée par sa fréquence en Hertz et plus communément en spectroscopie par la longueur d'onde λ en nanomètre (nm) ou en angström (Å). On a : $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ et $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$.



2.2 Quelques montages possibles :

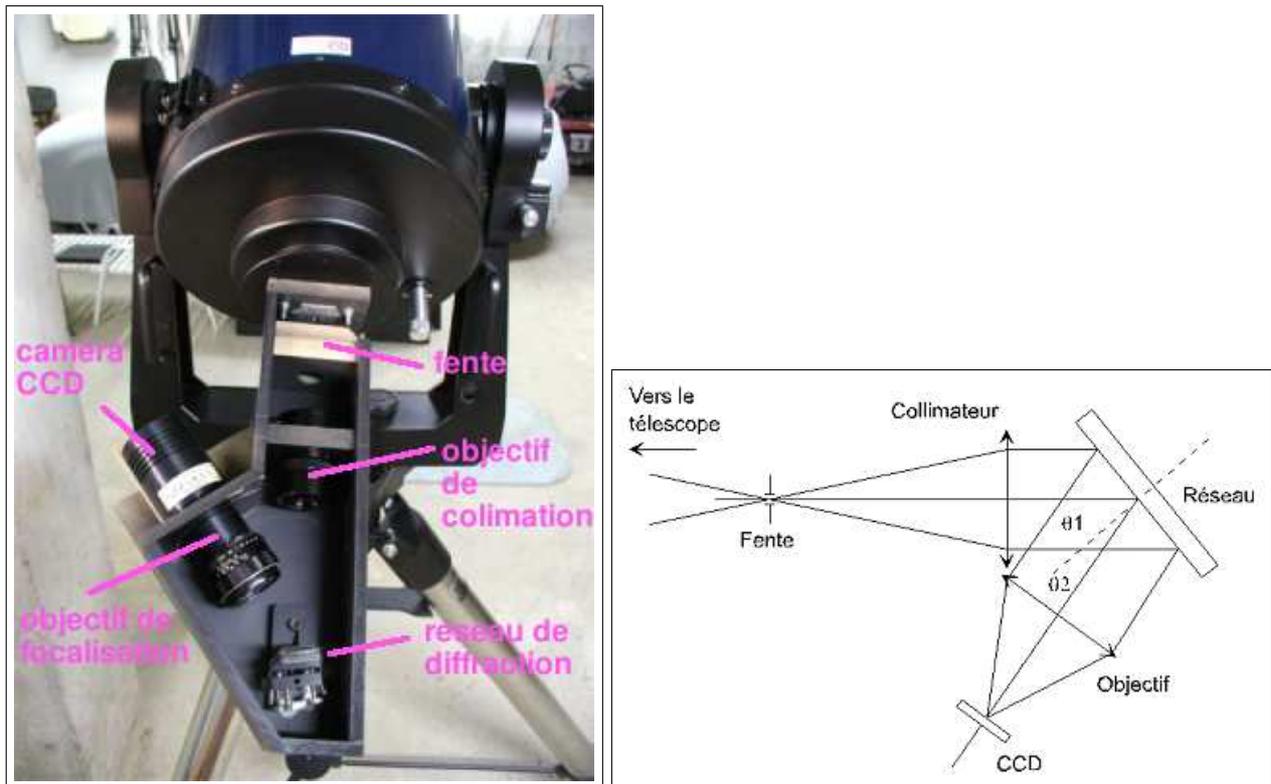


FIG. 1 – Un spectroscopie moyenne résolution artisanal monté sur un télescope de Schmidt-Cassegrin.

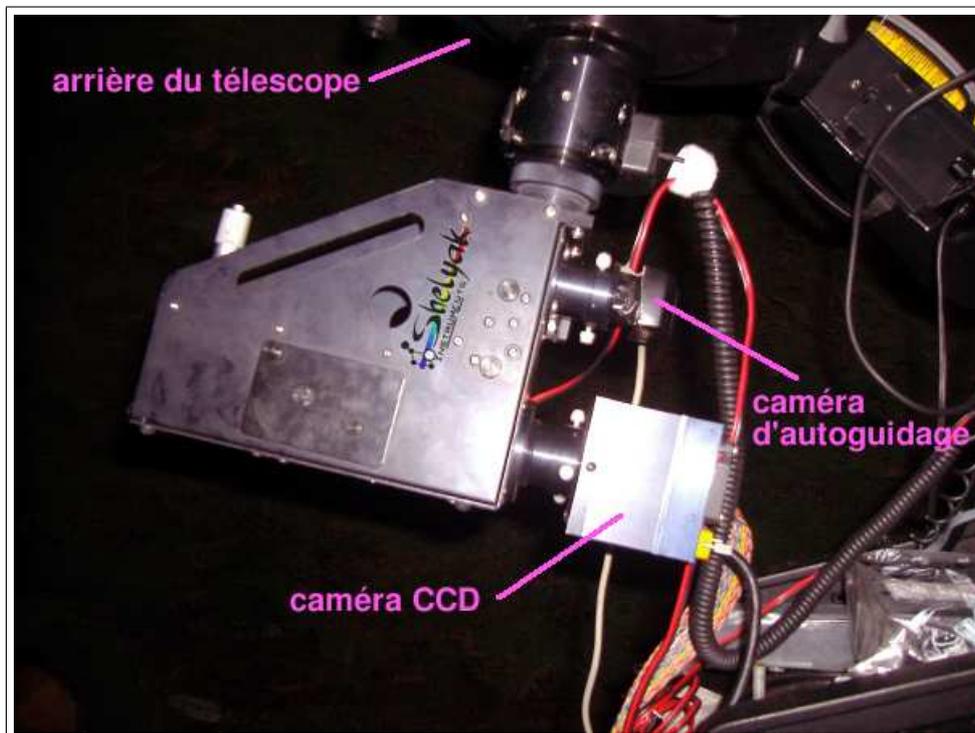
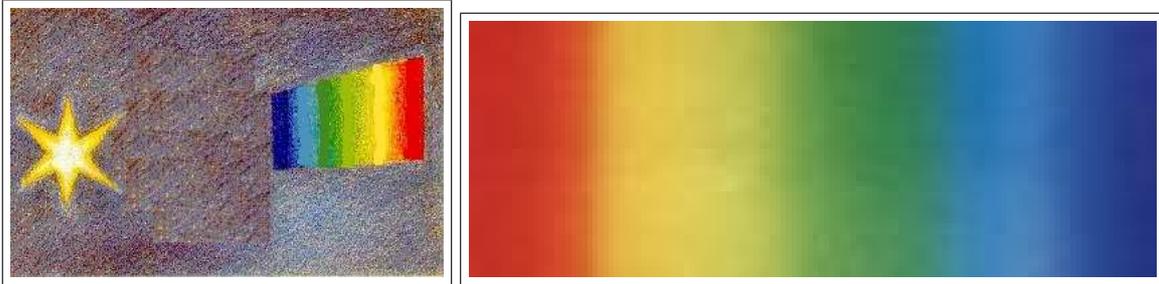


FIG. 2 – Un spectroscopie haute résolution LHIRES3 monté sur un télescope de Schmidt-Cassegrin.

3 Les types de spectres :

Les lois empiriques de KIRCHHOFF décrivent les conditions physiques conduisant aux 3 types de spectres rencontrés en astronomie.

1. Les spectres continus d'émission :



- Une source chaude lumineuse émet un continuum de rayonnement.
- Exemple : le spectre de la lumière émise par une lampe à incandescence est constituée de toutes couleurs (radiations).

2. Les spectres de raies et de bandes d'absorption :



- Quand la lumière d'une source lumineuse traverse un gaz peu dense (composé de molécules et/ou atomes), un plasma (composé d'ions) ou un liquide, certaines longueurs d'onde discrètes sont enlevées du continuum provoquant les raies d'absorption foncées.
- Exemple : la lumière d'une étoile passant par les couches externes de l'atmosphère de l'étoile provoquent cet effet.

3. Les spectres de raies d'émission :



- Quand des ions et/ou des molécules d'un gaz peu dense est excité d'une façon quelconque (collisionnelle, électriquement, chaleur ou par la lumière elle-même), le gaz émet certaines longueurs d'onde discrètes. Certain nebuleuses gazeuses ou les nebuleuses planétaires sont de bons exemples de ceci.
- Exemple : les régions HII, les nébuleuses planétaires, les lampes à sodium des parkings.

4 Influence de la température :

Les lois de PLANCK et de WIEN permettent de décrire le flux lumineux à partir de la longueur d'onde du rayonnement et de la température (en Kelvin¹) de la source lumineuse.

– Loi de PLANCK :

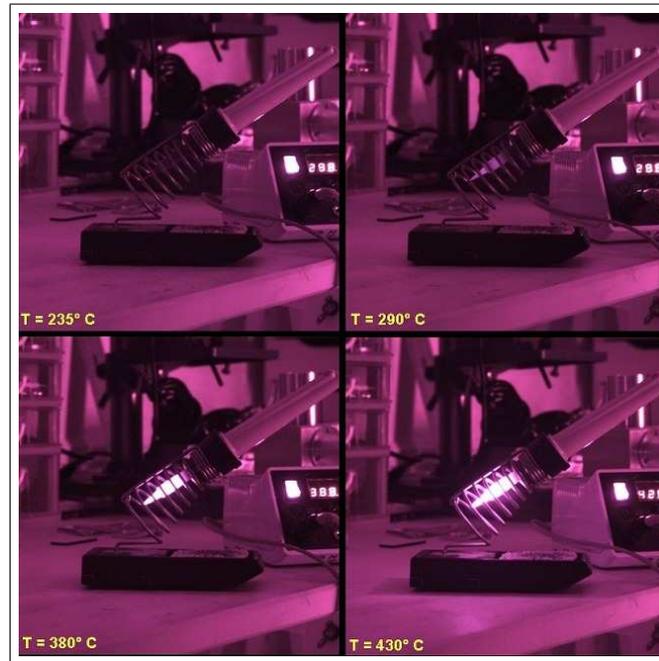


FIG. 3 – Influence de la température sur le rayonnement d'un fer à souder dans l'IR. (Crédit C. Buil)

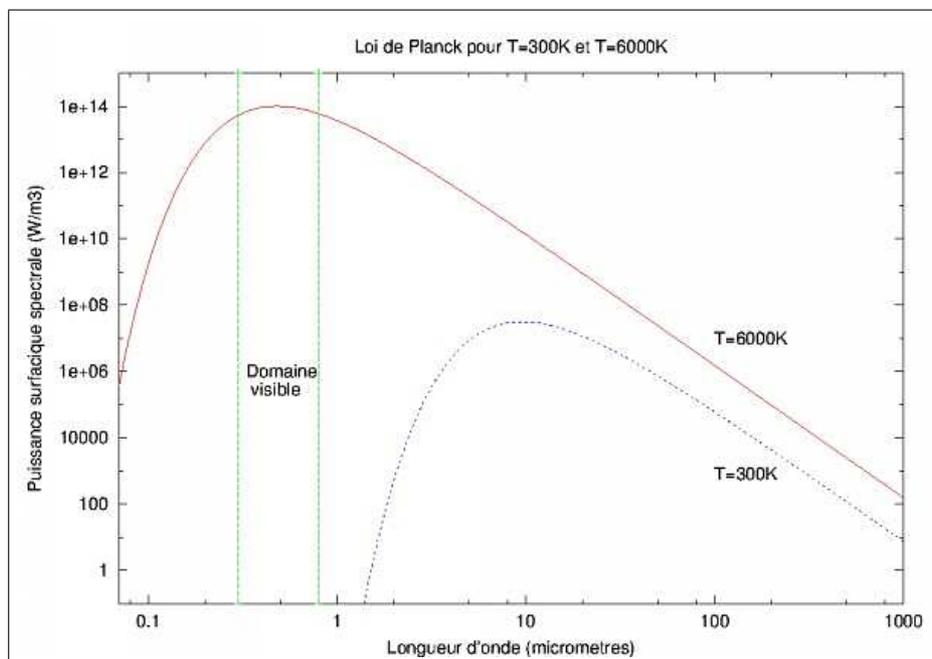


FIG. 4 – Courbes de la puissance lumineuse en fonction de la longueur d'onde pour les températures $T_1 = 6000 \text{ K}$ et $T_2 = 300 \text{ K}$.

¹Échelle de température absolue : $0 \text{ K} = -273,15 \text{ °C}$; 1 K correspond à 1 °C . Exemple : $20 \text{ °C} = 293,15 \text{ K}$.

– Applications :

Quelle est la température du Soleil ? (*Les courbes $I_{T(K)} = f(\lambda)$ sont données.*)

→ La courbe dont le maximum correspond au jaune est celle qui correspond à une température de 5500 K.

– Loi de WIEN :

$$T \text{ (K)} = \frac{2,898 \times 10^6}{\lambda_{\max} \text{ (nm)}}$$

• Cette loi dite du "déplacement de Wien" découle directement de la formule de PLANCK.

Pour une température donnée, elle donne la valeur de la longueur d'onde λ_{\max} où le flux lumineux est maximal.

• Applications :

1. Dans quel domaine de longueur d'onde le corps humain ($T = 37^\circ\text{C} = 310 \text{ K}$) rayonne-t-il ?

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \times 10^6}{310} \simeq 1000 \text{ nm} = 1 \mu\text{m} : \text{situé dans l'infra-rouge.}$$

2. Même question pour le Soleil connaissant sa température ($\simeq 6000 \text{ K}$).

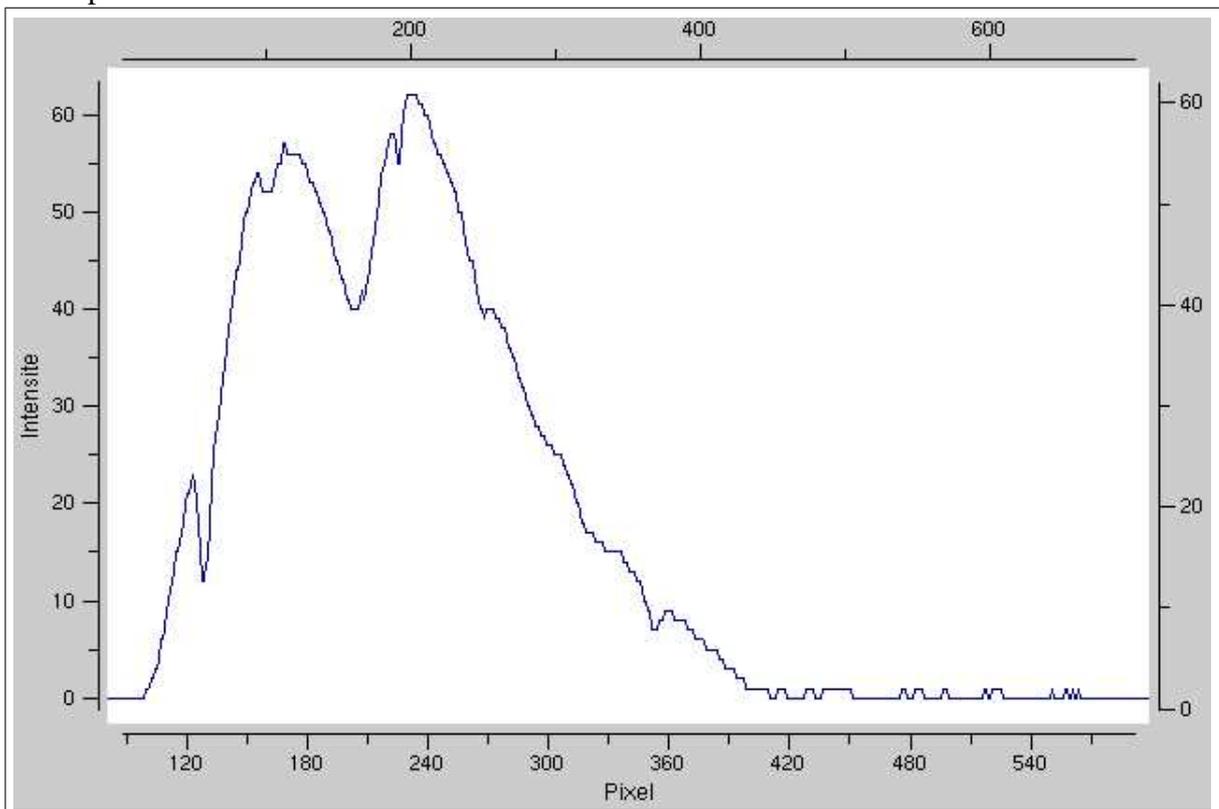
$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \times 10^6}{6000} = 483 \text{ nm} : \text{c'est le milieu du spectre visible.}$$

5 Le profil de raies, outils de l'astrophysique :

– Spectre obtenu par l'appareil photo (crédit : Y. Duchemin) :



– Tracé du profil de raie :



6 Applications :

6.1 Calibration en longueur d'onde d'un spectre :

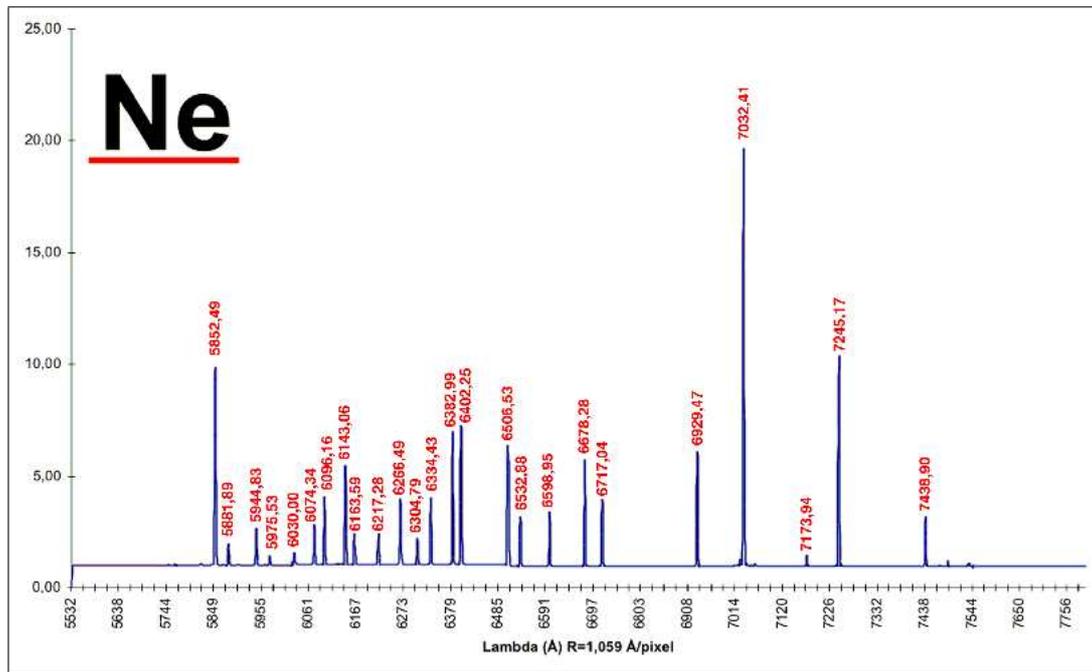


FIG. 5 – Profil de raies du néon de référence (crédit O. Garde).

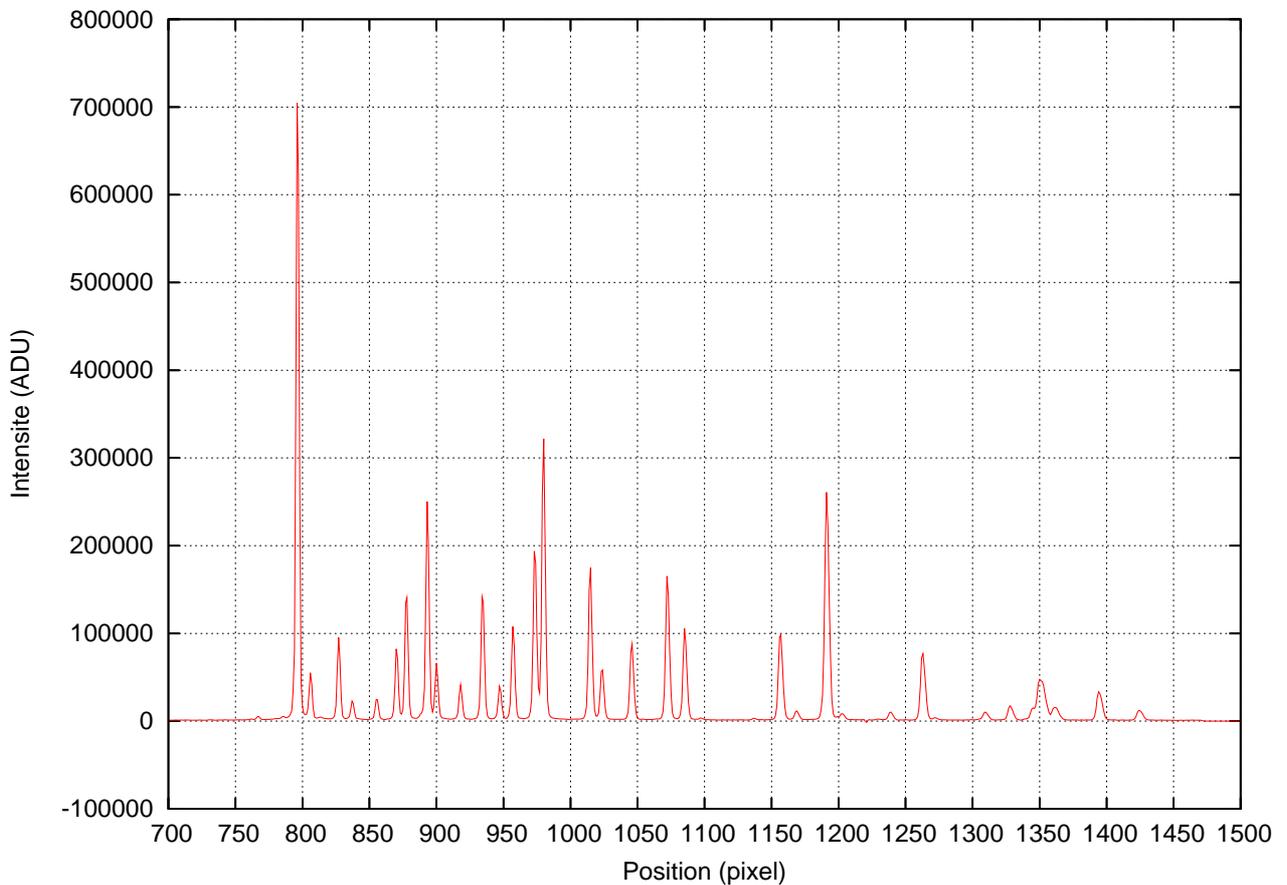


FIG. 6 – Partie “rouge” du profil de raies du néon enregistré par le spectroscopie.

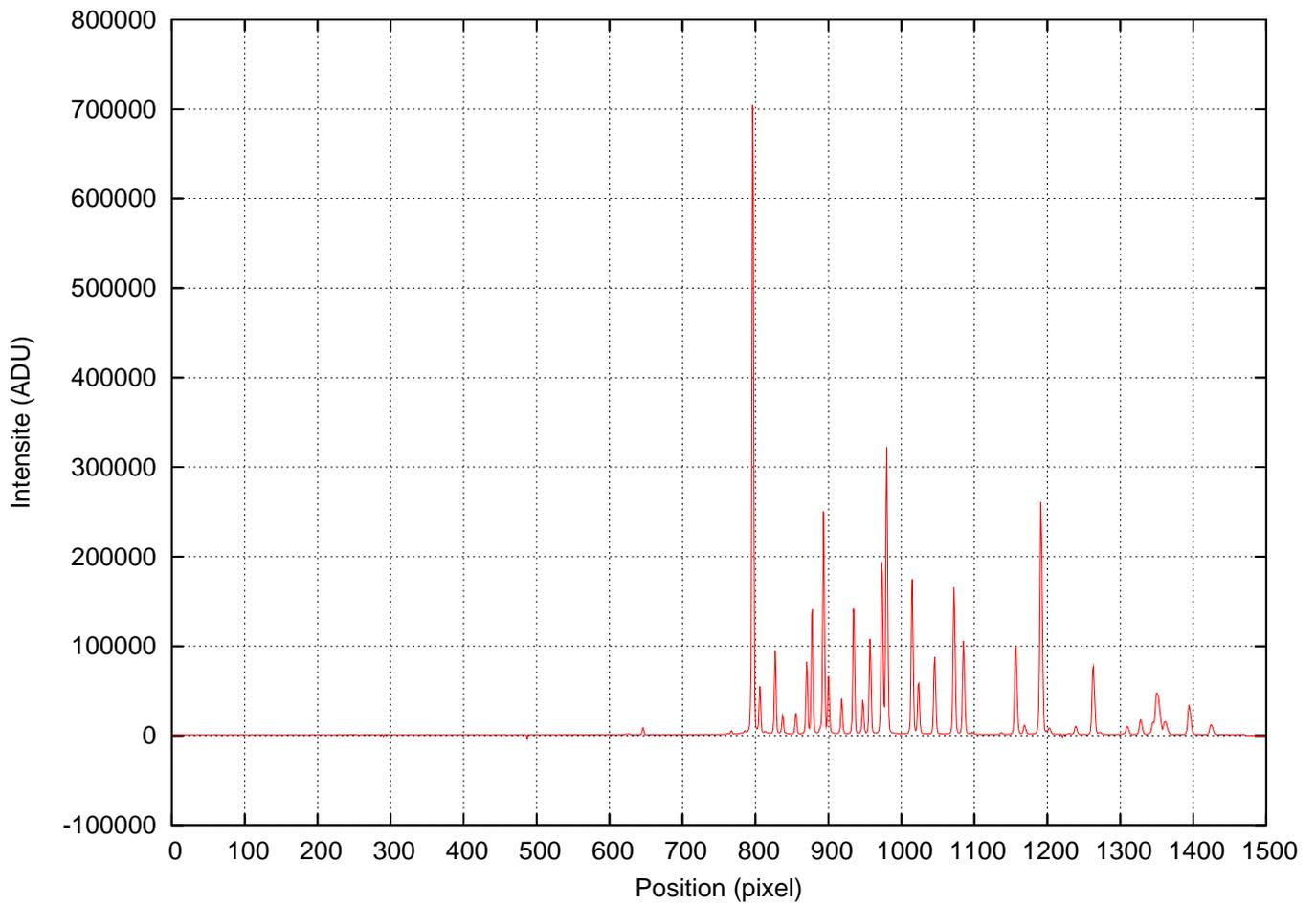
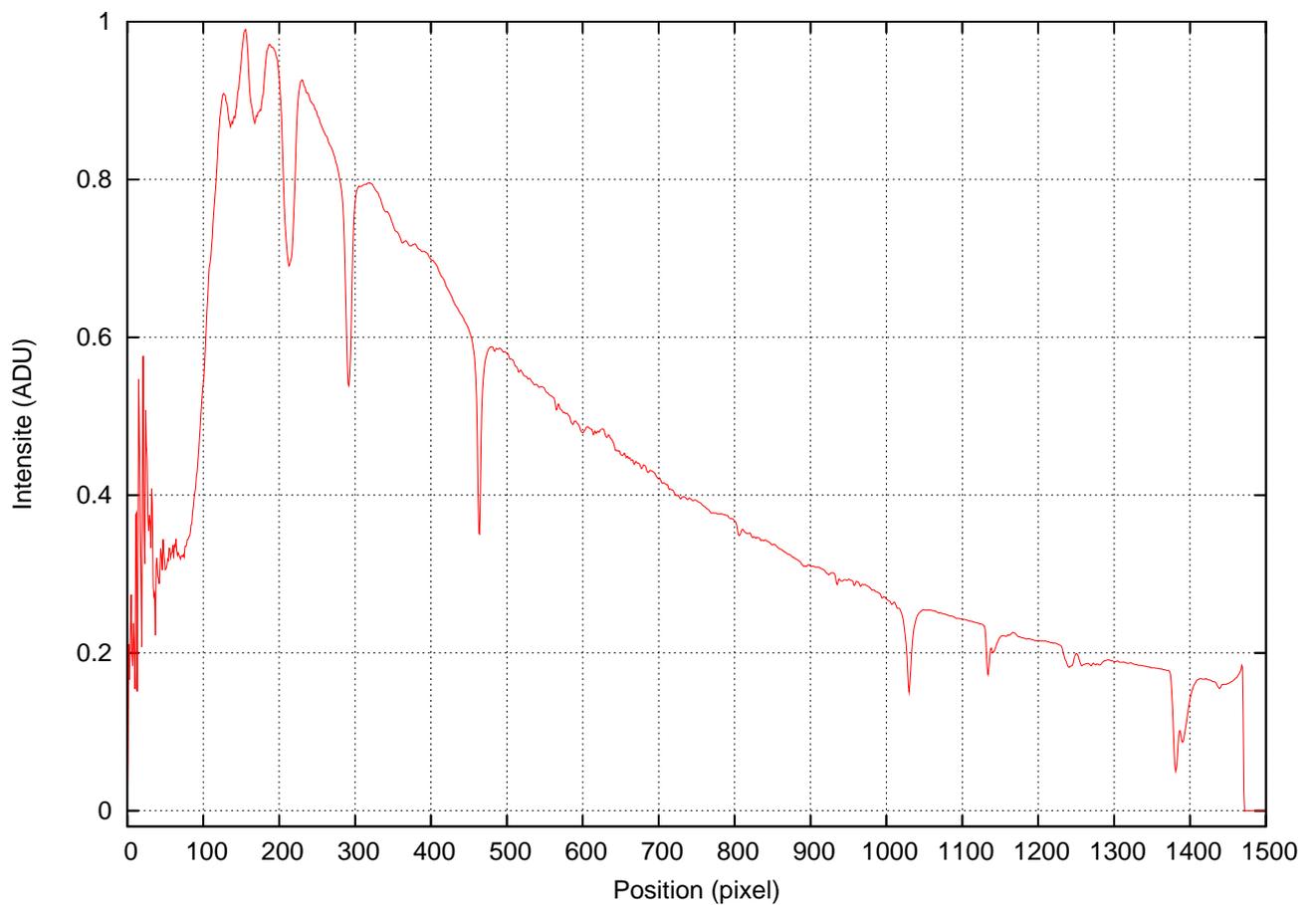


FIG. 7 – Profil de raies du néon enregistré par le spectroscop.

FIG. 8 – Profil de raies de Castor enregistré par le spectroscop **qu'il faut étalonner en longuer d'onde.**

6.2 Détermination de la composition chimique :

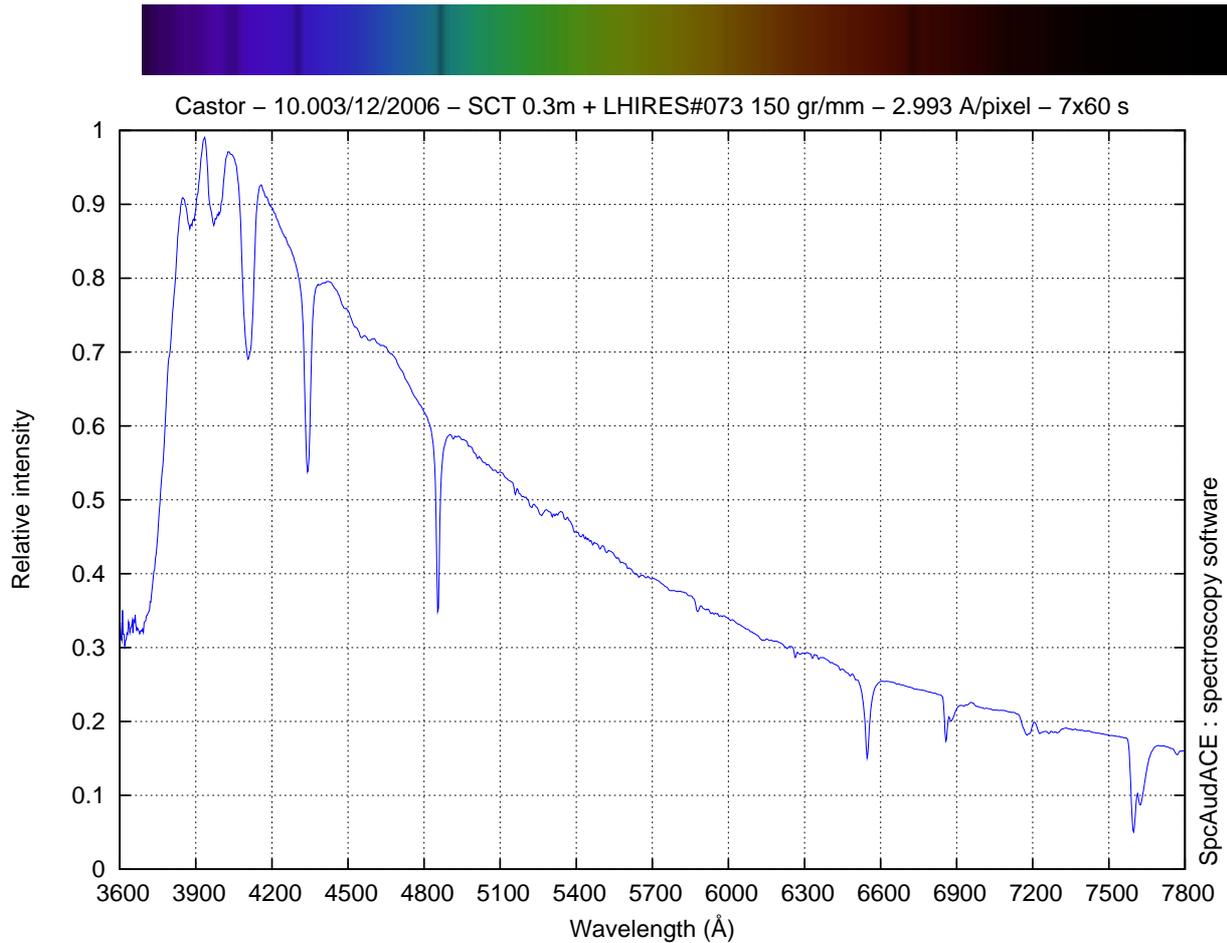


FIG. 9 – Profil de raies calibré de l'étoile Castor des Gémeaux.

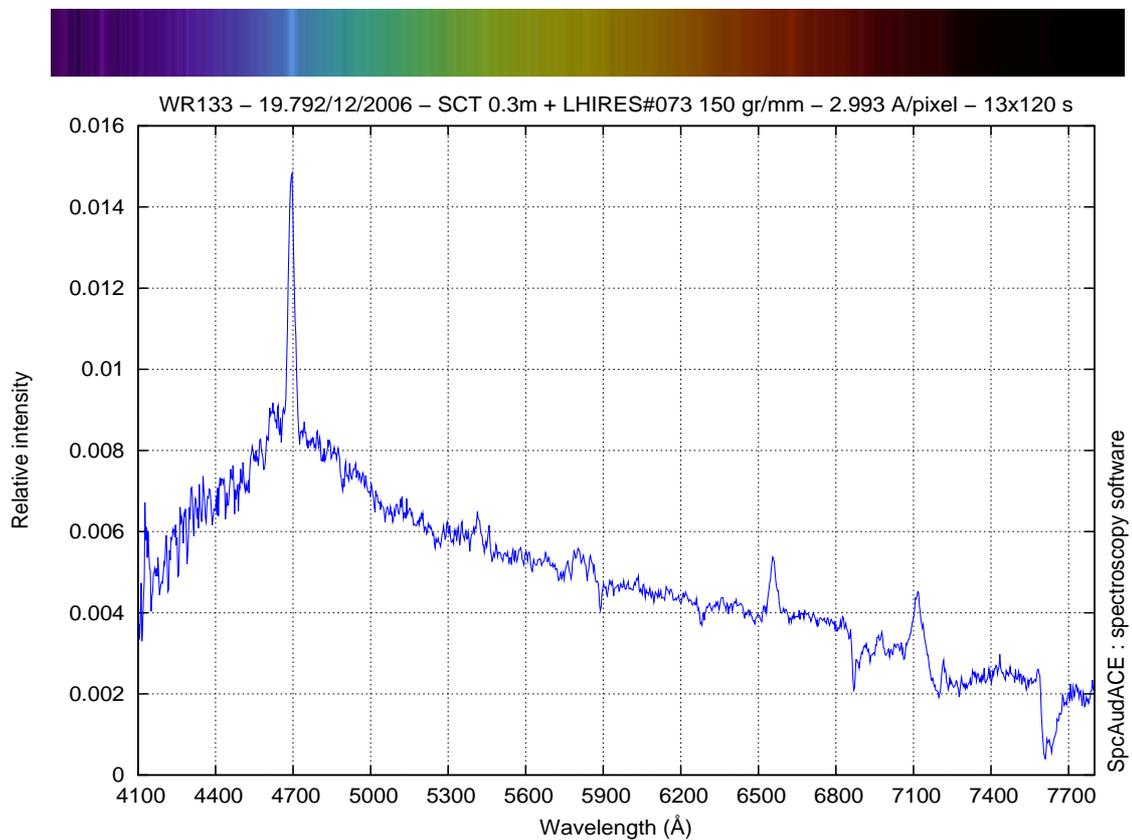


FIG. 10 – Profil de raies calibré de l'étoile Wolf-Rayet WR 133 du Cygne.

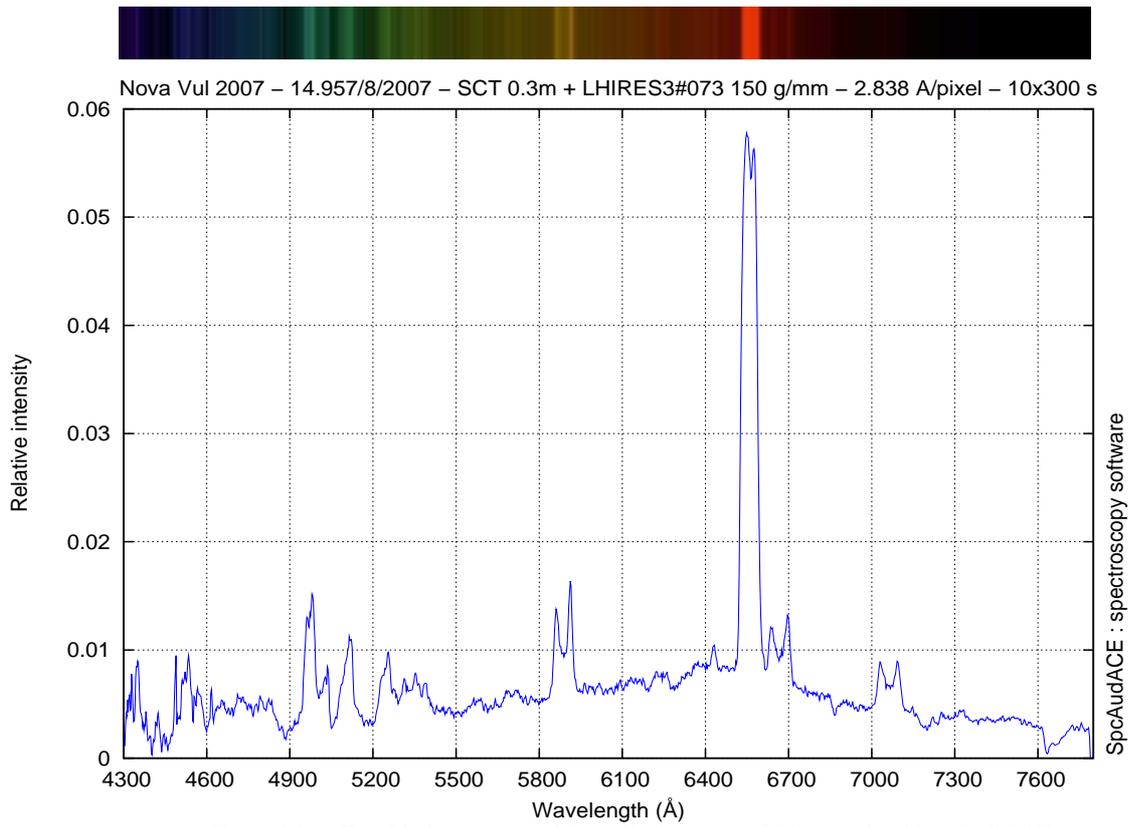


FIG. 11 – Profil de raies calibré de la nova Vulpecula d’août 2007.

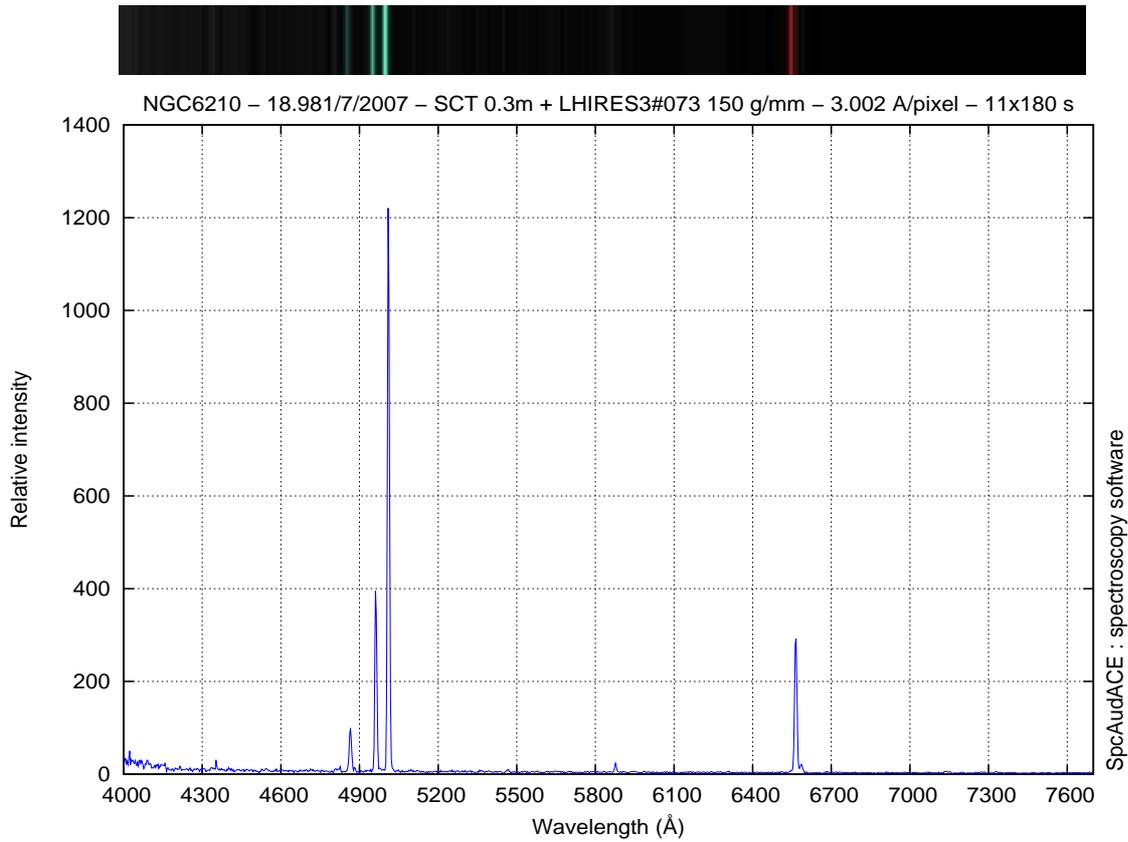


FIG. 12 – Profil de raies calibré de la nébuleuse planétaire NGC 6210 d’Hercule.

6.3 Tables des longueurs d'onde des espèces chimiques :

Table des longueurs d'onde des principales espèces chimiques présentes dans l'atmosphère des étoiles :

Espèce chimique	Longueur d'onde (Å)
H α	6562,808
H β	4861,342
H γ	4340,475
H δ	4101,748
H ϵ	3970
H ζ	3889
H η	3885
H θ	3647
He I	4388
He I	4471,6
He I	4713,3
He I	4922
He I	5015
He I	5048
He I	5876
He I	6677.6
He I	7065
He II	4541,6
He II	4685,7
He II	5411,5
Fe I	4308
Fe I	4384
Fe I	4668
Fe I	4958
Fe I	5270

Espèce chimique	Longueur d'onde (Å)
Mg I	5184
Mg I	5173
Mg I	5169
Mg I	5167
Na I	5889,9
Na I	5895,9
Ca I	3968
Ca I	3934
Ca I	4227
Fe I	6430,8
Fe III	5353.8
Fe II	5100
C III	5696
C III	4650
C IV	5806
C IV	5812
O III	5592
N III	4634
NIII	4640
N IV	4058
N V	4603
N V	4618

Table des longueurs d'onde des principales espèces chimiques présentes dans les nébuleuses :

Espèce chimique	Longueur d'onde (Å)
H α	6562,808
H β	4861,342
H γ	4340,475
[OIII]	(4363,2)
[OIII]	4958,9
[OIII]	5006,8
[NII]	6548
[NII]	6583
[NII]	(5755)

Espèce chimique	Longueur d'onde (Å)
[SII]	6716
[SII]	6731
[NeIII]	3969
[NeIII]	3869
[NeIII]	(3342)
[OII]	7319
[OII]	7330
[OI]	6300

Remarques :

- Dans les étoiles, les raies sont en général des raies d'absorption ;
- Les raies stellaires du carbone et de l'azote sont le plus souvent en émission ;
- Dans les nébuleuses, les raies sont en général des raies d'émission.

6.4 L'effet DOPPLER-FIZEAU :

– Énoncé :

La vitesse radiale v_r d'un astre est calculable à l'aide du décalage $\Delta\lambda = \lambda_{mes} - \lambda_{ref}$ d'une des raies par rapport à sa valeur de référence et de la longueur d'onde de référence λ_{ref} de cette raie.

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{ref}} \cdot c$$

– Exemple d'application :

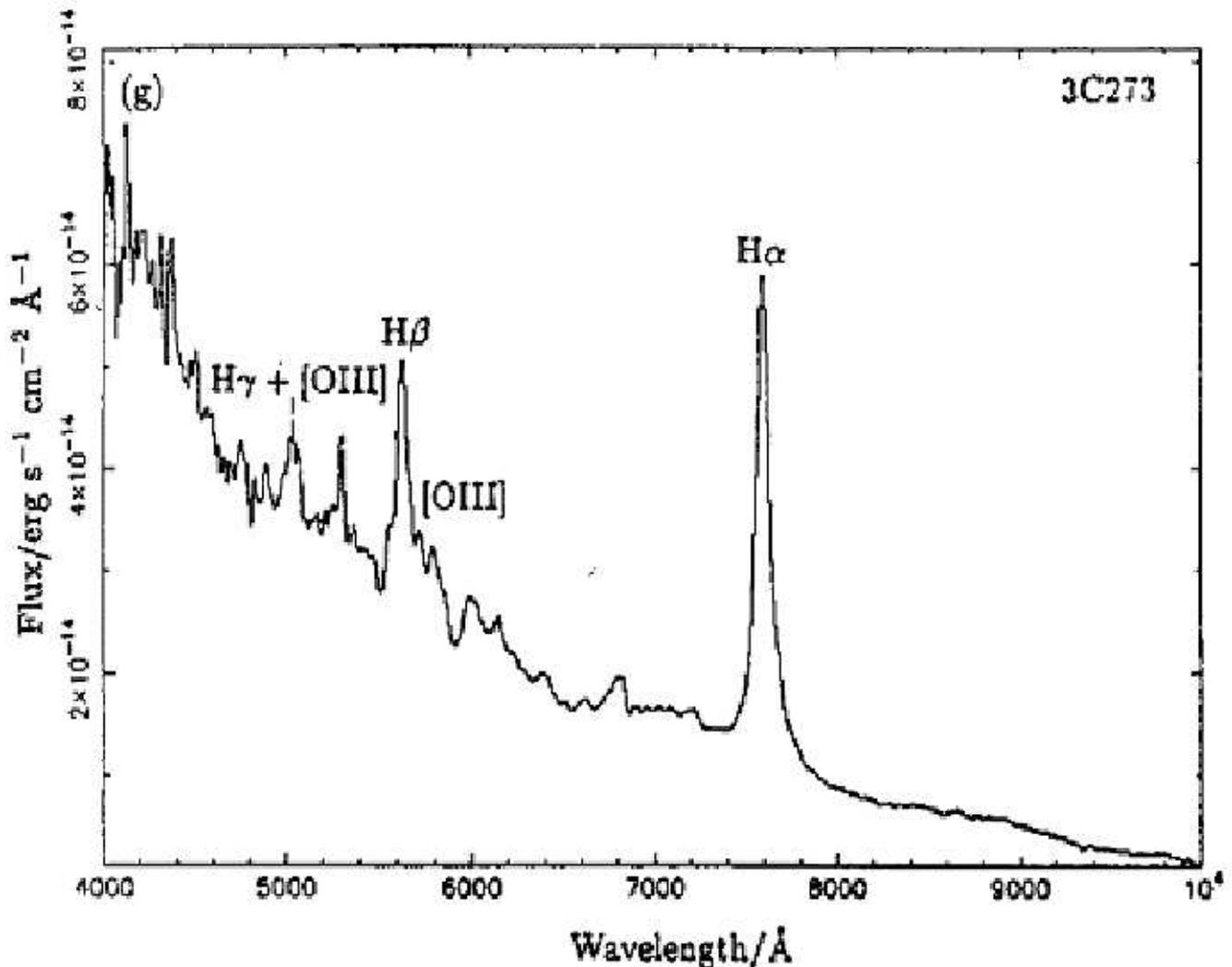


FIG. 13 – Profil de raies calibré du célèbre quasar 3C273 de mag. 12.8 de la Vierge.

1. Mesurer la longueur d'onde de la raie $H\alpha$ sur le spectre du quasar ;
2. Sachant que la longueur d'onde de la raie $H\alpha$ pour un objet immobile, calculer le décalage $\Delta\lambda$ qu'a subit cette raie ;
3. En déduire la vitesse radiale v_r du quasar ;
4. D'après la relation donnant la vitesse d'un astre $d = v_r \times t_{\text{âge Univers}}$, calculer la distance qui nous sépare du quasar.

7 Conclusion :

Vous venez de faire parler la lumière des astres aussi lointains soient-ils. Mais ce n'est pas tout, vous avez appris que la matière agit sur la lumière que ce soit par sa température ou sa composition chimique, par exemple.

Ces activités vous permis de constater que la lumière porte en elle une quantité d'information énorme. Elle équivaut pour les astronomes à une véritable mine d'or.

De toutes les branches de la physique, rien n'a le plus interpellé l'homme durant des siècles que l'étude de la lumière.