

# La Spectroscopie

Un outil puissant de l'astrophysique à la portée des amateurs.

Christian Manasterski / 2023

# Définition de la spectroscopie

- Etude des spectres (électromagnétiques) émis ou absorbés par la matière.
- Interaction: rayonnement / matière.
- Applications dans presque toutes les branches des sciences:
  - Physique (plasma, atomique)
  - Chimie (analyse)
  - Matériaux
  - Astrophysique
- Science réputée «très spécialisée et difficile»

# La Spectro: de l'information qui nous arrive...

- La lumière qui nous provient des étoiles contient beaucoup d'informations.
- Cette lumière a été transportée:
  - ✓ sur des distances parfois de milliards d'années-lumière
  - ✓ pendant parfois des milliards d'années  
sans être, la plupart du temps, altérée.
- Et ces informations arrivent chez nous : que peut-on en exploiter ?

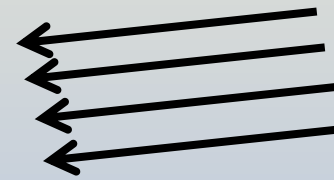
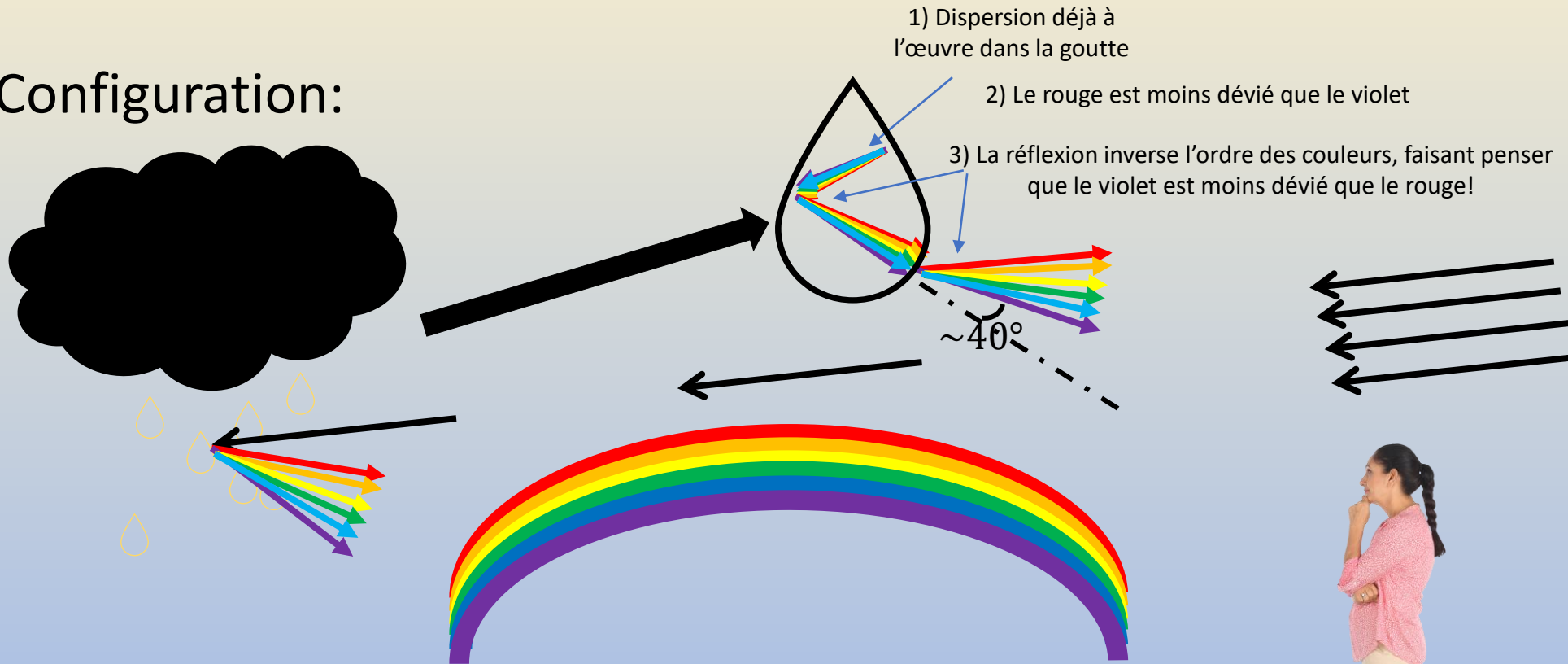
# Les informations apportées par la spectro

- On peut déterminer le type de l'étoile: sa durée de vie, son âge.
- On peut déterminer sa composition chimique.  
On trouve systématiquement H et He; mais souvent bien d'autres éléments (métallicité).
- On peut déterminer sa température de surface (de 3000 à 20'000°K).
- On peut évaluer les champs magnétiques présents dans l'étoile (effet Zeeman).
- On peut mesurer la vitesse de l'étoile (effet Doppler).

**Depuis mon télescope dans mon jardin, je peux faire tout ça !! OUI...**

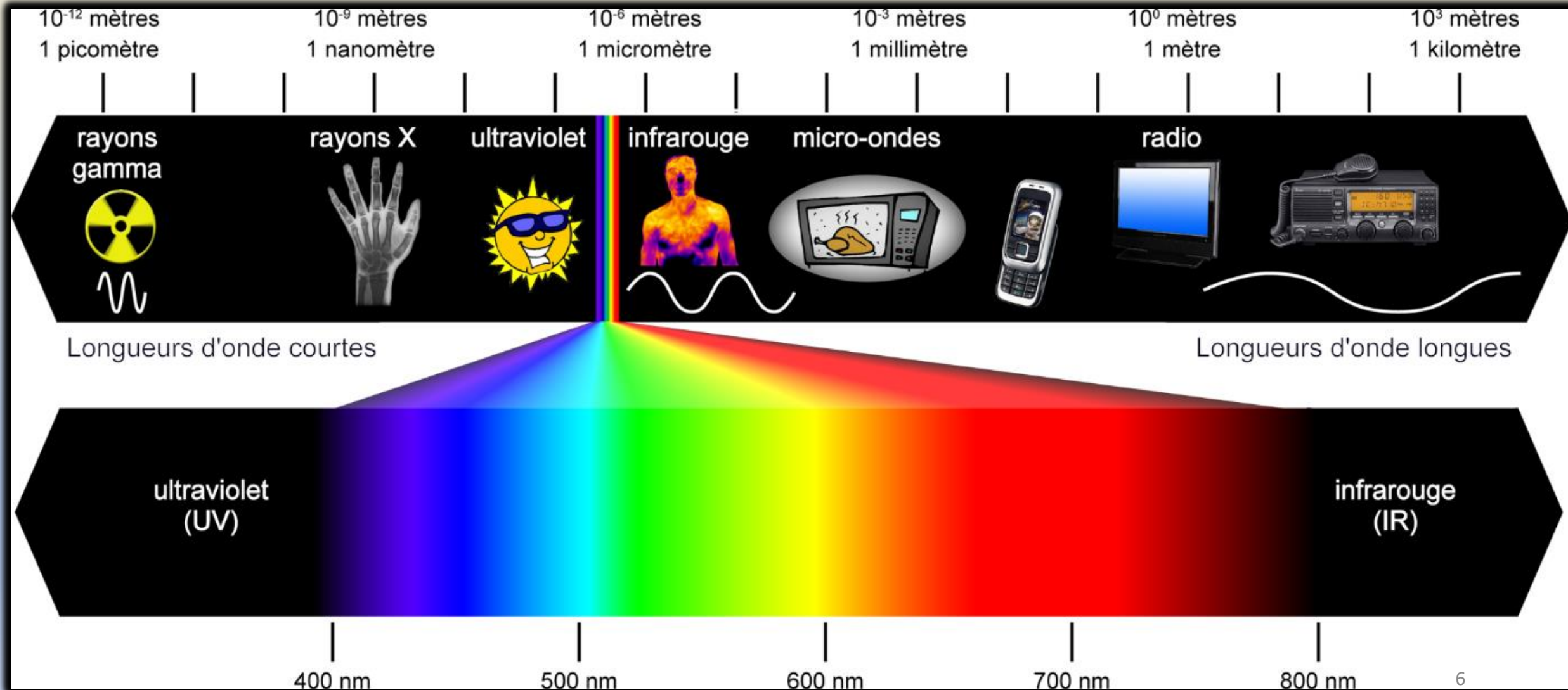
# Recette d'un arc-en-ciel

- Configuration:



La spectroscopie utilise des « arc-en-ciels artificiels »

# Les rayonnements électromagnétiques



# La lumière c'est quoi ?

- La lumière est une onde électromagnétique (nature ondulatoire).
- La lumière est aussi un flux de photons (nature corpusculaire).

Ces 2 représentations coexistent et se démontrent mathématiquement

## Comment fabriquer de la lumière:

- En chauffant un corps (au dessus du zéro absolu :  $-273^{\circ}\text{C}$ ).
- En excitant les atomes (par apport d'énergie : gravité, champ électrique, champ magnétique....) ils émettent de la lumière.

La lumière visible se décompose en un spectre de 6 couleurs principales : violet / bleu / vert / jaune / orange / rouge

# Les différents spectres

## Spectre continu:

Solides ou gaz très denses

## Spectre d'émission:

(corps chaud).

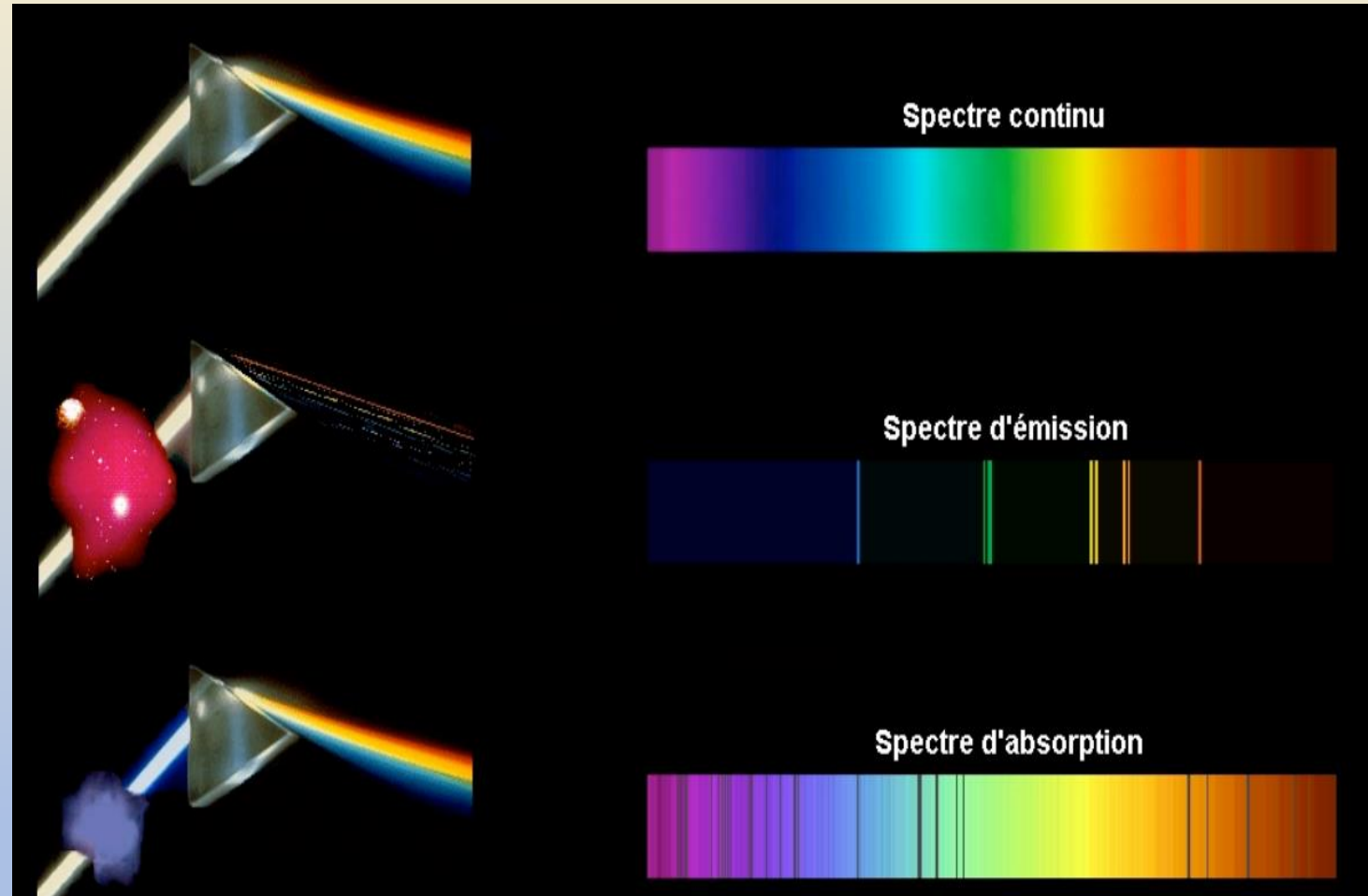
Radiations émises :  
colorées sur fond noir

## Spectre d'absorption:

(corps froid).

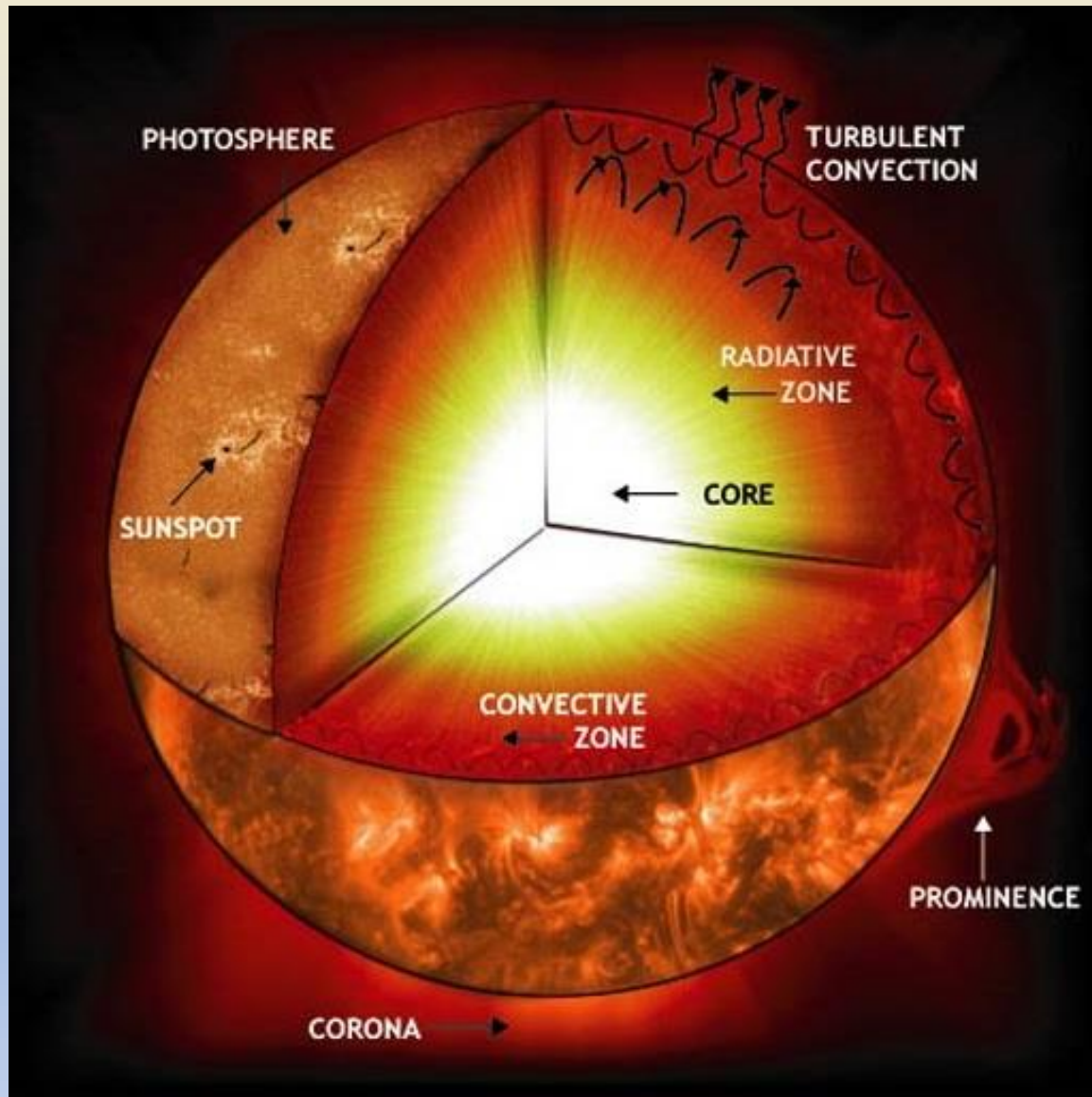
Les radiations traversent un  
corps et apparaissent  
noires.

C'est le cas le plus fréquent.



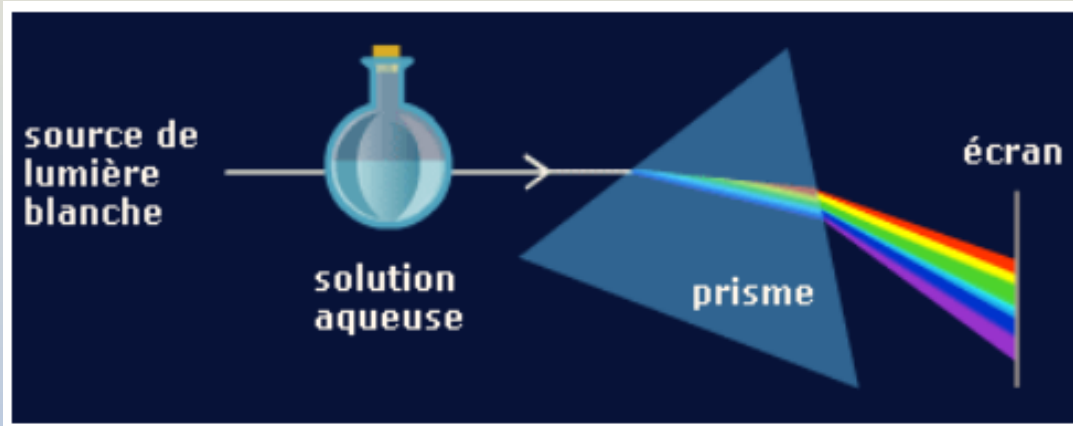


# Comment l'onde EM se charge en raies d'absorption



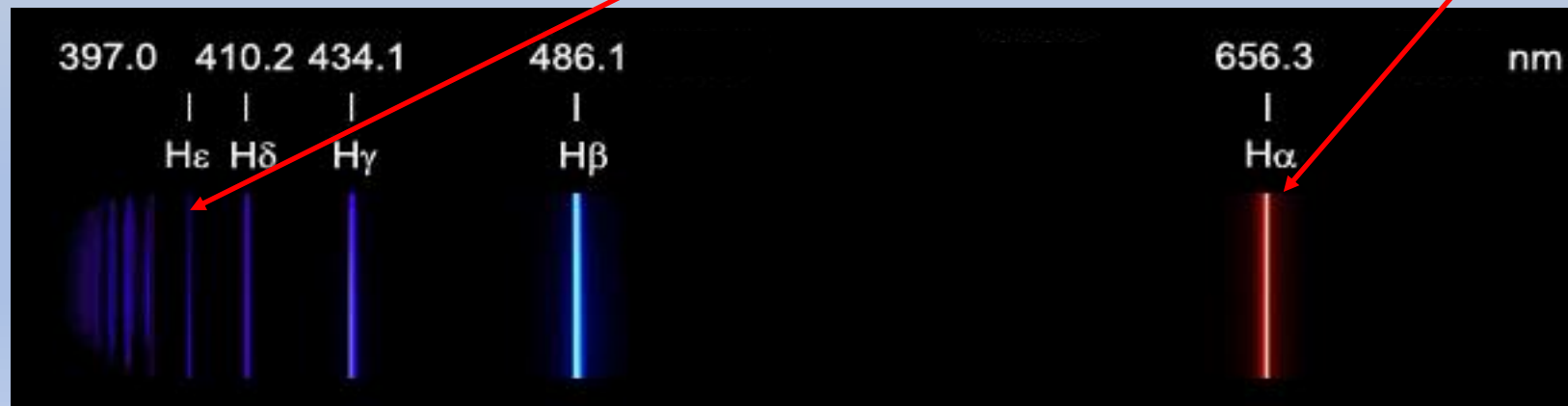
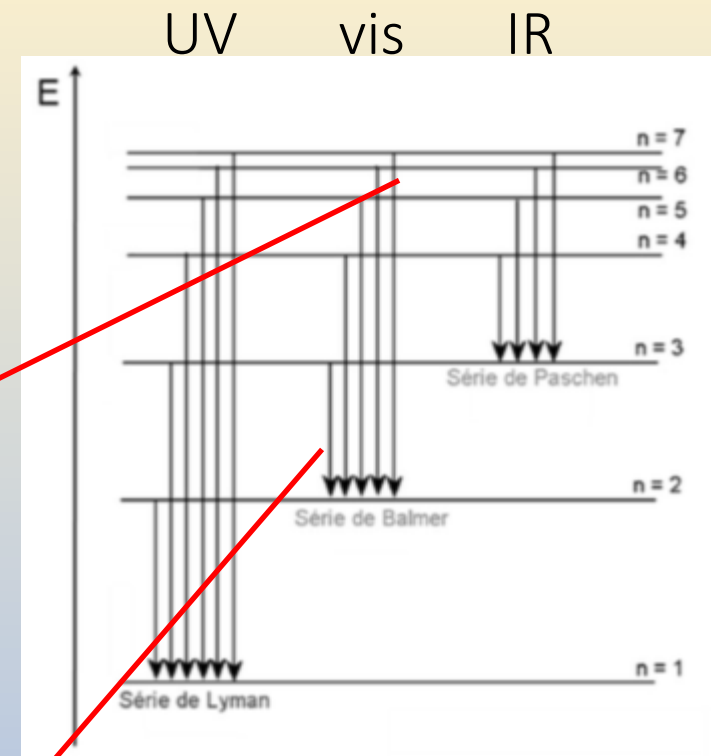
- Le photon naît à l'intérieur du soleil.
- Il a un spectre continu «pur»
- Il parcourt son chemin pour sortir du soleil.
- Il rencontre différentes espèces chimiques qu'il absorbe au passage.
- Le spectre continu devient un spectre d'absorption.

# Les éléments chimiques caractérisés au laboratoire



- Chaque élément est caractérisé en laboratoire:  
par ses raies d'émission et ses raies d'absorption.
- Si on retrouve les mêmes raies dans une étoile, c'est que l'élément y est présent...

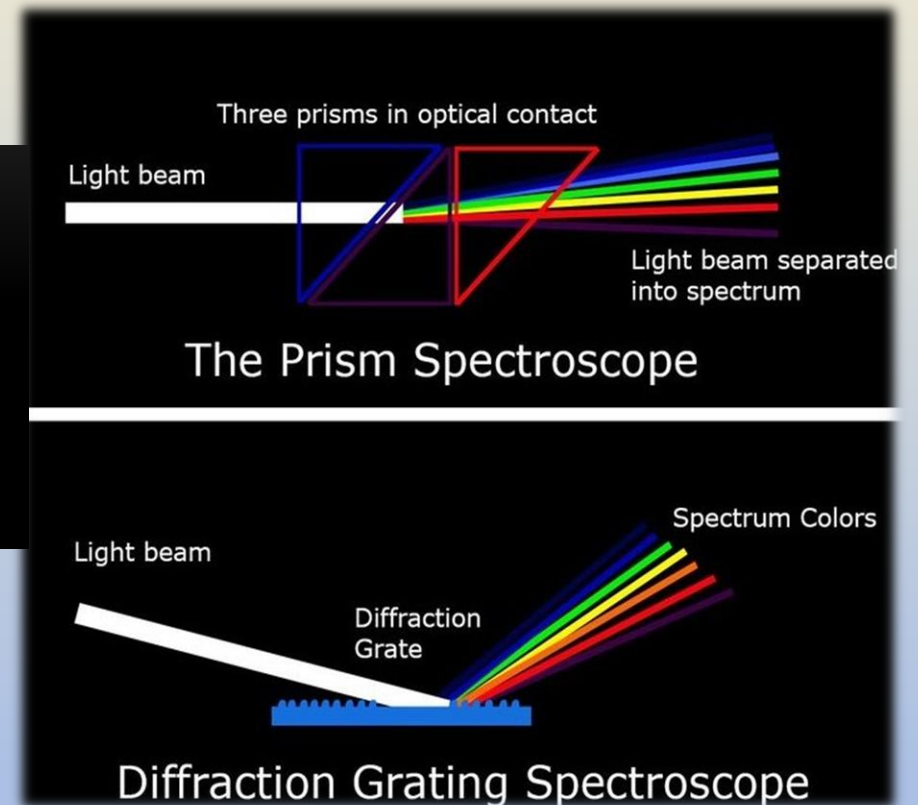
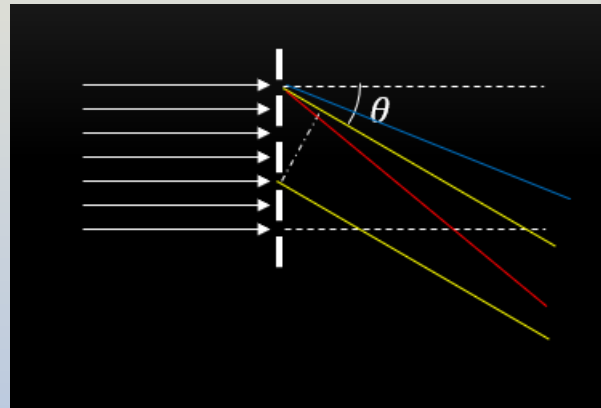
Pour identifier un élément il faut identifier toutes ses raies :  
Exemple : l'hydrogène présente 5 raies de Balmer (H alpha; H bêta; H gamma; H delta & H epsilon) qui correspondent à des niveaux d'énergie différents de l'unique électron.



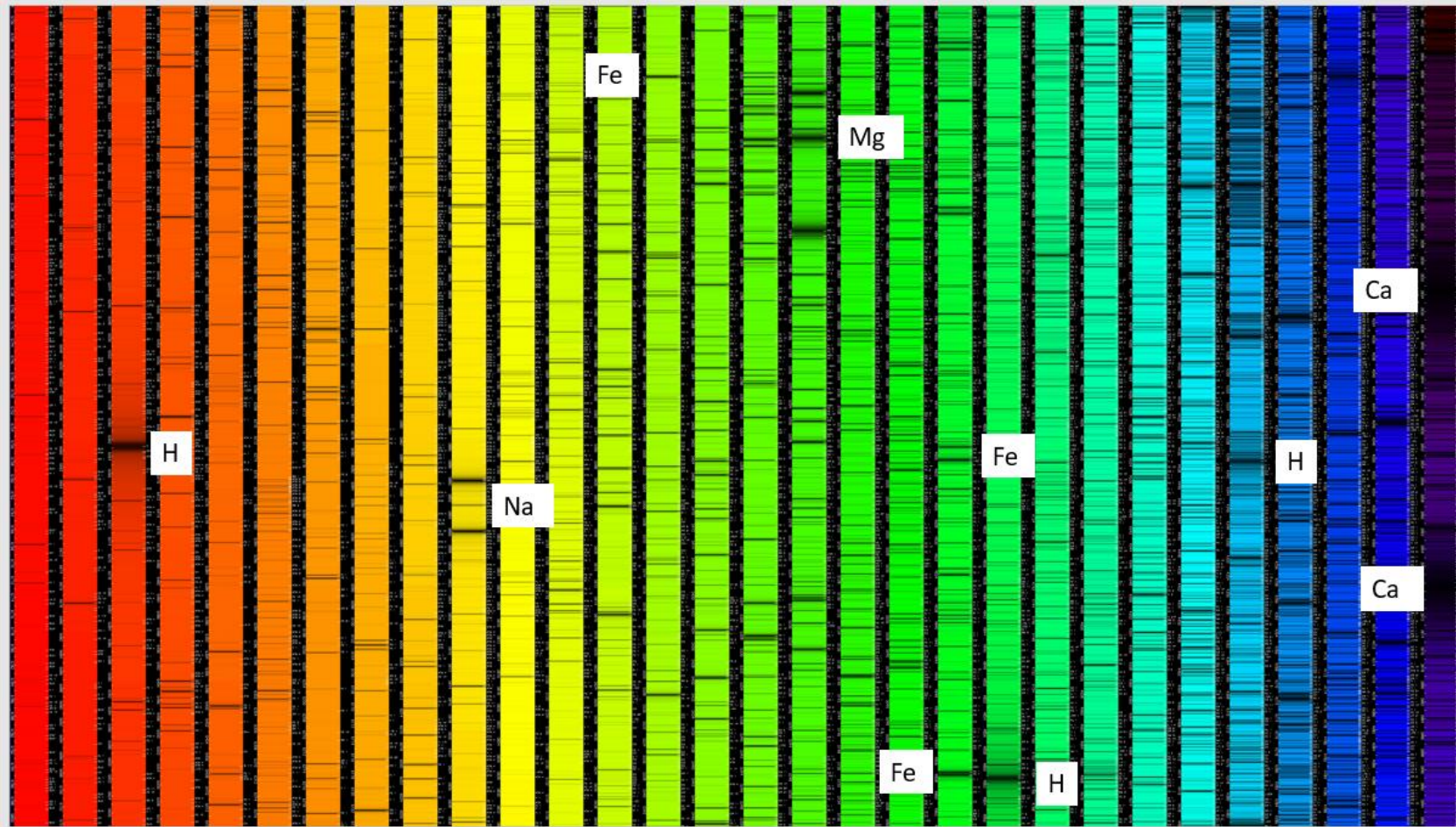
# Comment décomposer la lumière ?

Il existe plusieurs façons de le faire:

- En utilisant un prisme.
- En utilisant un réseau de traits gravés (réseau en réflexion).
- En utilisant un réseau de fentes très fines (réseau en transmission).



# Ex: le spectre du soleil (spectre échelle)



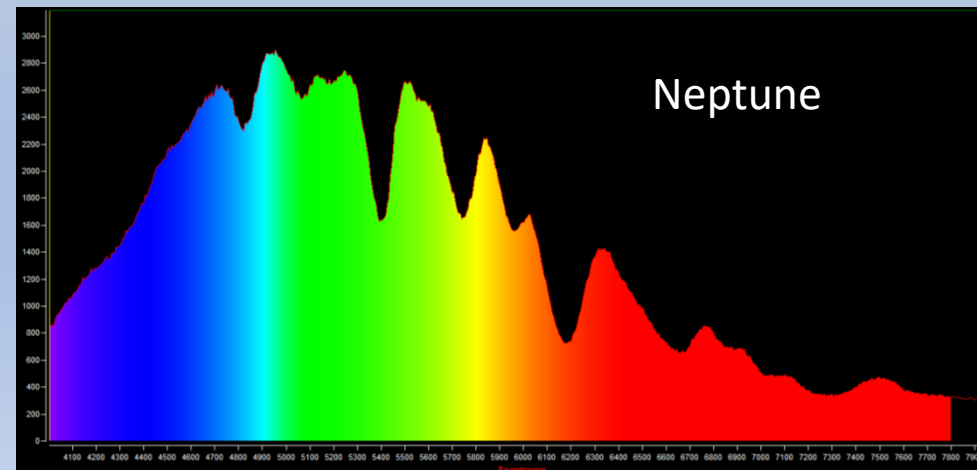
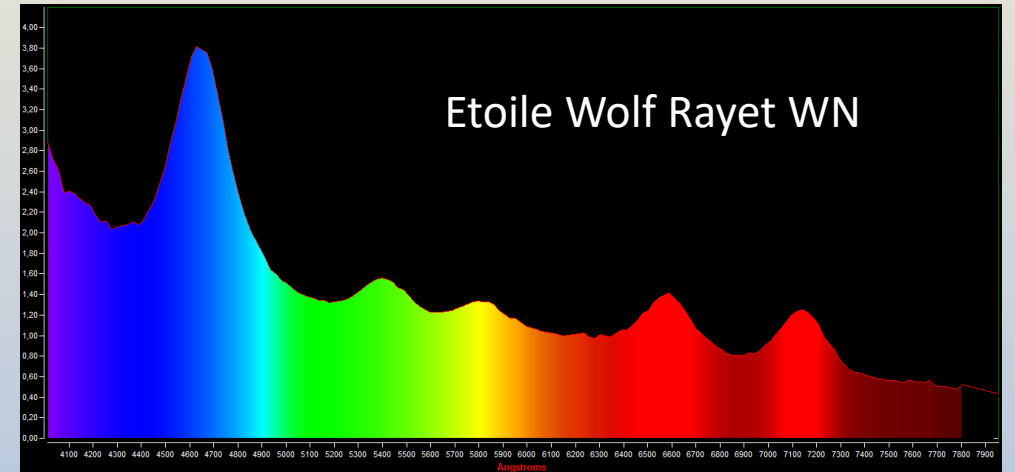
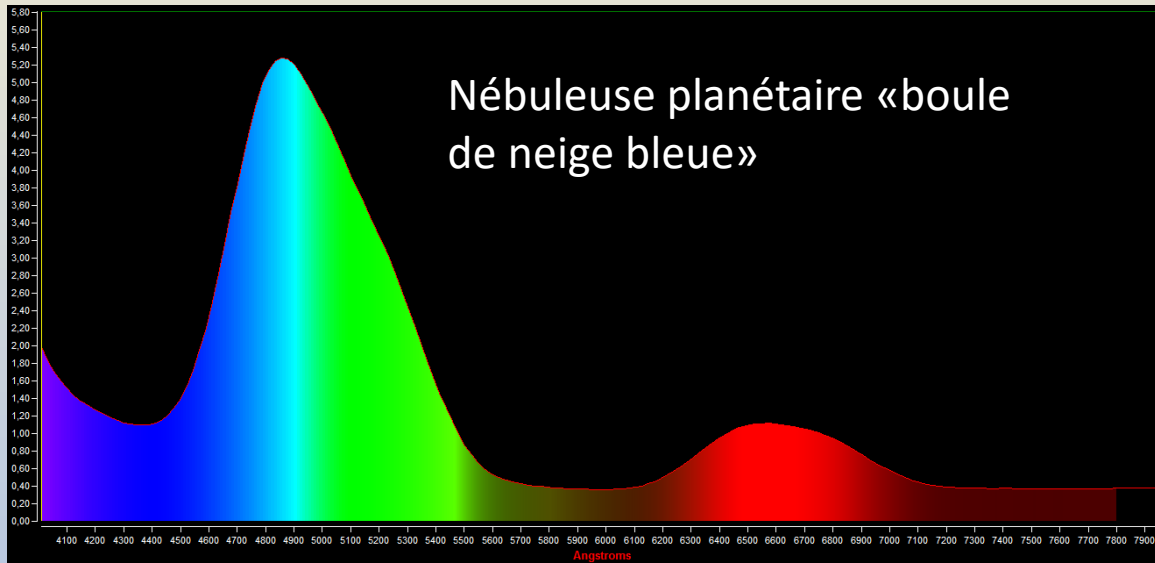
Composition chimique actuelle du soleil:

H: 73,8 %

He: 24,9 %

Métallicité: 1,3 %

# Autres représentations de spectres : les spectres bruts.

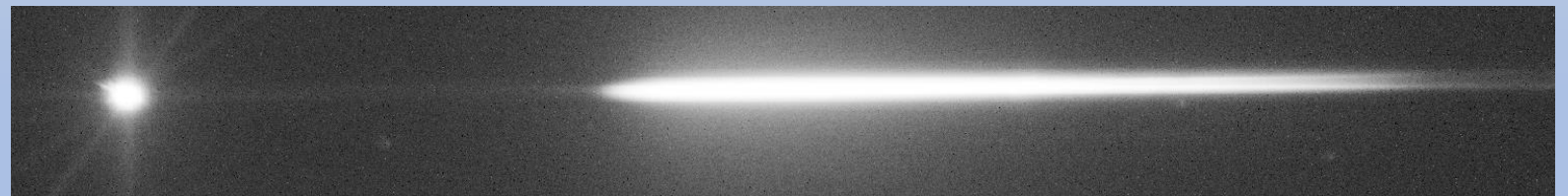
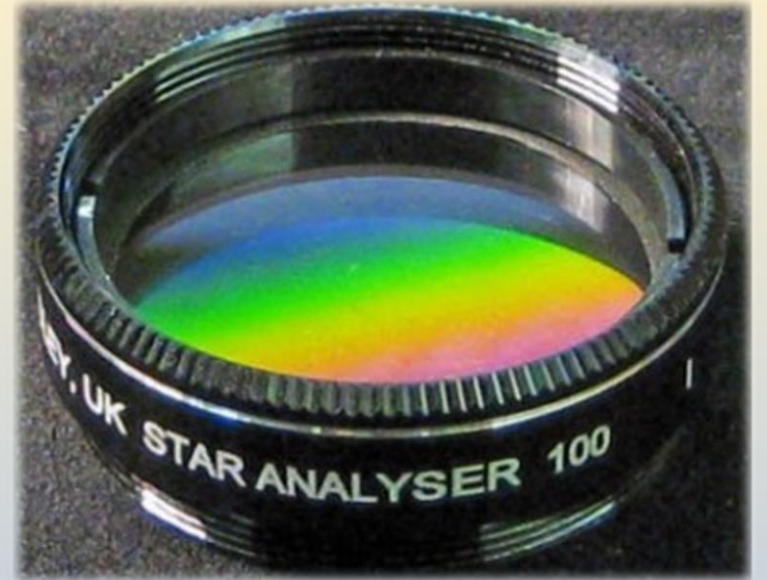


# Précisions sur les spectres.

- Chaque étoile a un spectre différent.
- Les spectres en émission correspondent à des pics.
- Les spectres en absorption correspondent à des creux.

# En pratique on utilise quoi ?

- Le Star Analyseur 100 ou 200 traits à monter derrière l'oculaire comme un filtre.
- On obtient à côté de l'étoile un spectre coloré.
- Il est photographié en couleur ou N&B.
- A droite de l'étoile le spectre d'ordre 1.





# Analyse spectroscopique : les étapes.

- Les pré-requis:

- Avoir un télescope ouvert à f/5.
- Avoir un spectroscopie «Star Analyser» ou un autre modèle.
- Avoir une caméra.
- Avoir un seeing de bonne qualité (résolution du spectre). Au moins 2,5 à 3 sur une échelle qui va de 1 (très mauvais) à 5 (très bon).
- Avoir un ordinateur avec le logiciel «R-Spec».

- Les principales étapes:

- Choisir sa cible ainsi qu'une étoile proche dont le spectre est connu.
- Photographier le spectre de l'étoile inconnue (Mizar) et le spectre de l'étoile de référence.
- Faire un traitement informatique des spectres (logiciel R-Spec) et obtenir des courbes.
- Interpréter les données.

# L'étoile Mizar (en bas dans cette position)



# Travail sur logiciel : forme synthétique

## Etoile de référence:

- Spectre a (fourni par SIMBAD)
- Spectre b (photographié par nous)

### • Correction:

Spectre b / Spectre a = **Spectre d**

**Spectre d** : c'est le spectre corrigé en fonction du du spectromètre; de l'atmosphère.

## Etoile à analyser (Mizar):

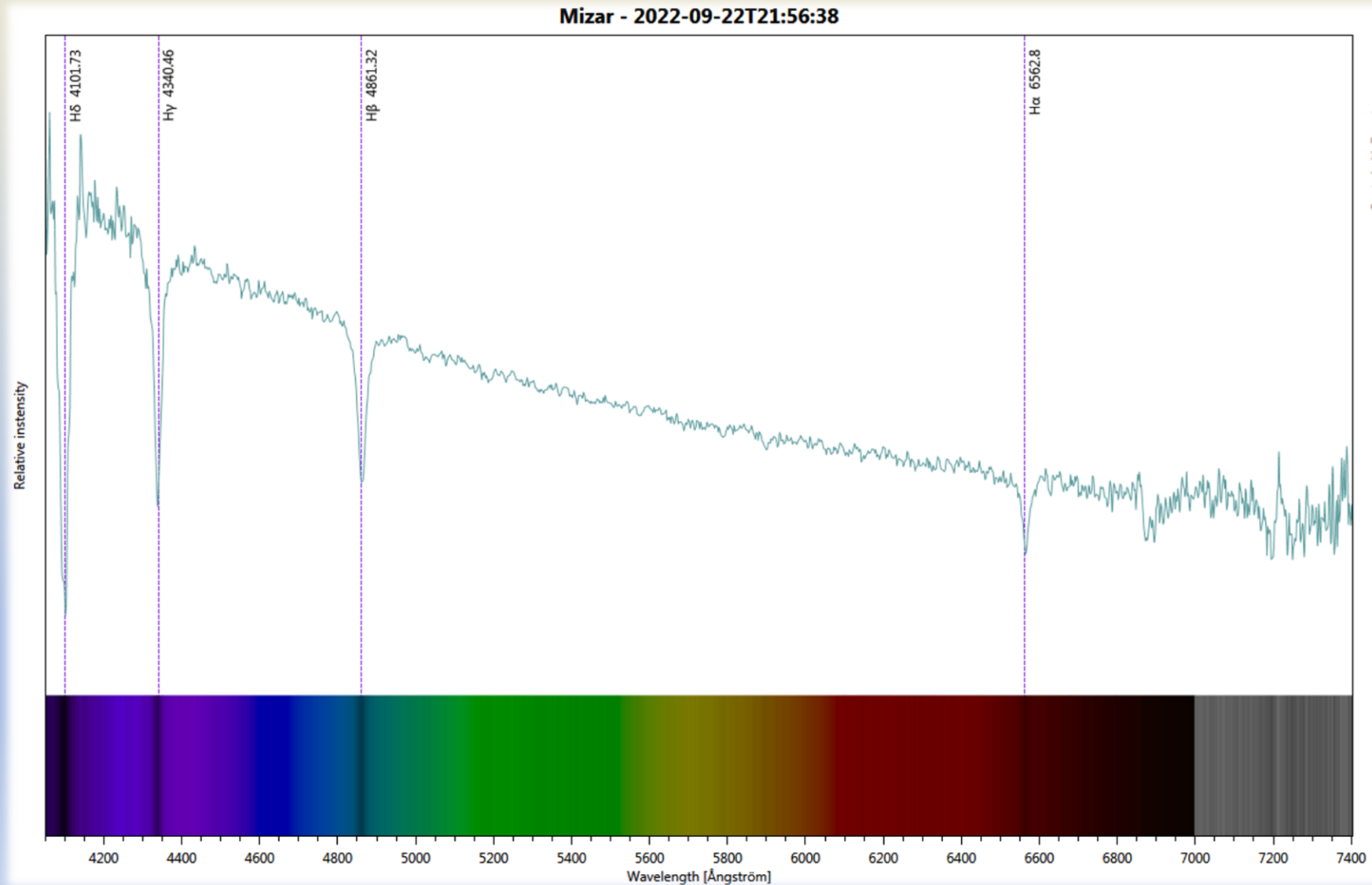
- Spectre c (photographié par nous)

### • Correction:

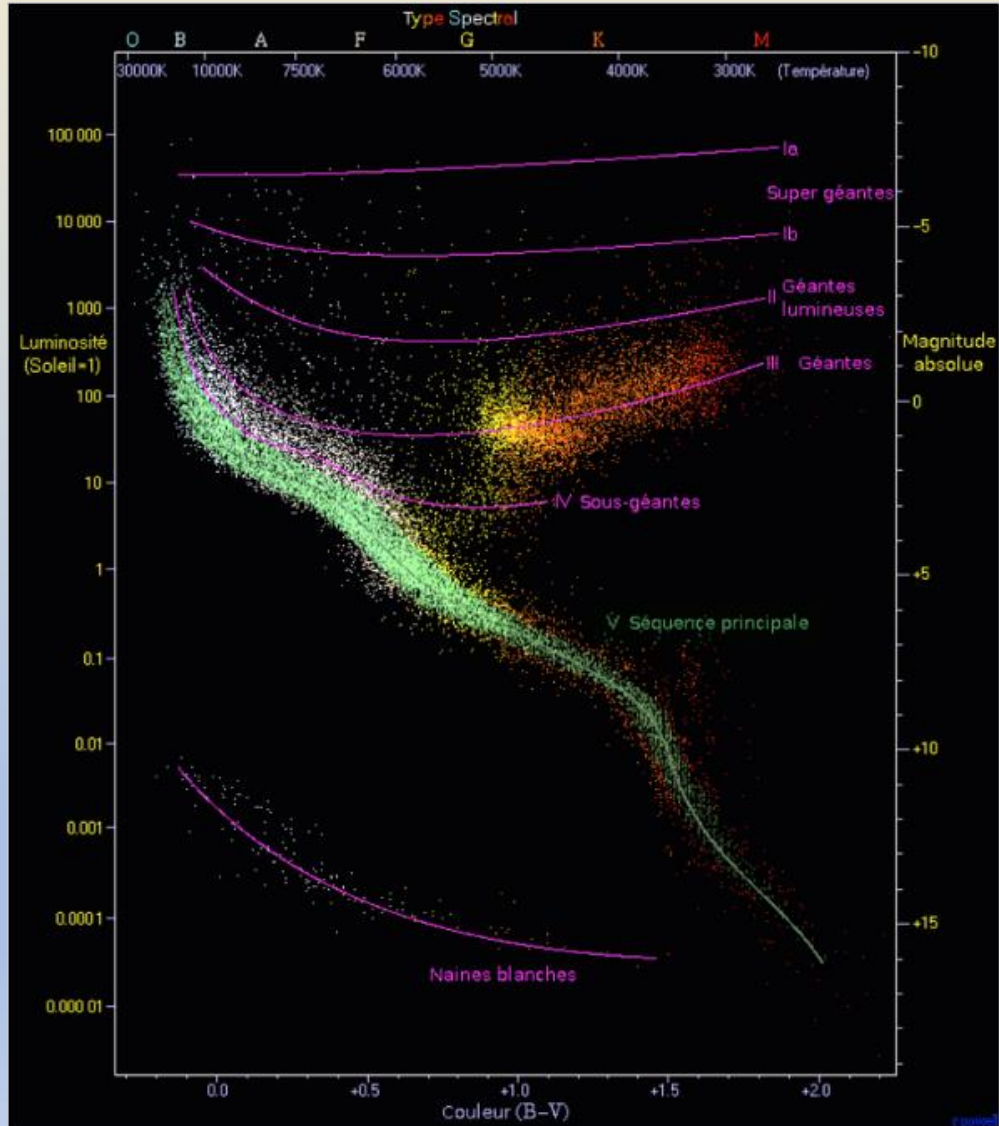
Spectre c / Spectre d = **Spectre e**

**Spectre e** : c'est le spectre final corrigé de l'étoile à analyser.  
On exploitera ce spectre.

# Représentation d'un spectre fini après traitement (réalisé avec un spectro Alpy 600).



# Classification des étoiles (diagramme Hertzsprung-Russel)



- En abscisses : types spectraux et températures.
- En ordonnées: magnitude absolue et luminosité.
- La couleur des étoiles indique leurs températures:

O – B – A – F – G – K – M

Type M: rouge = froide = 3000 °K

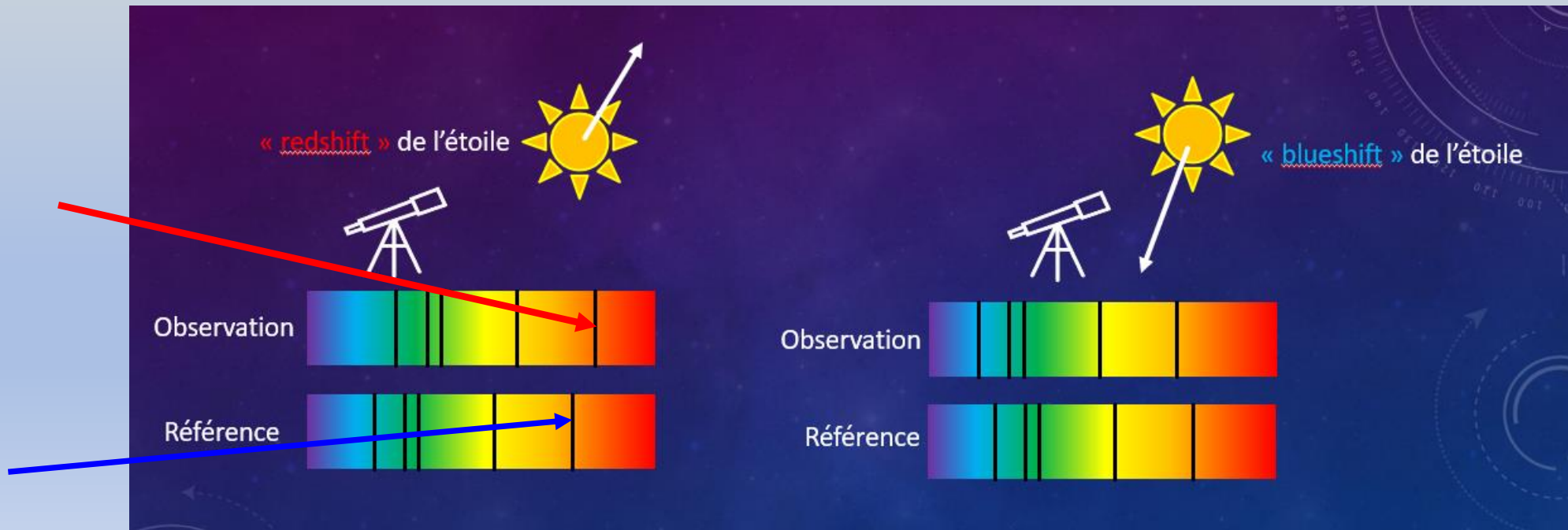
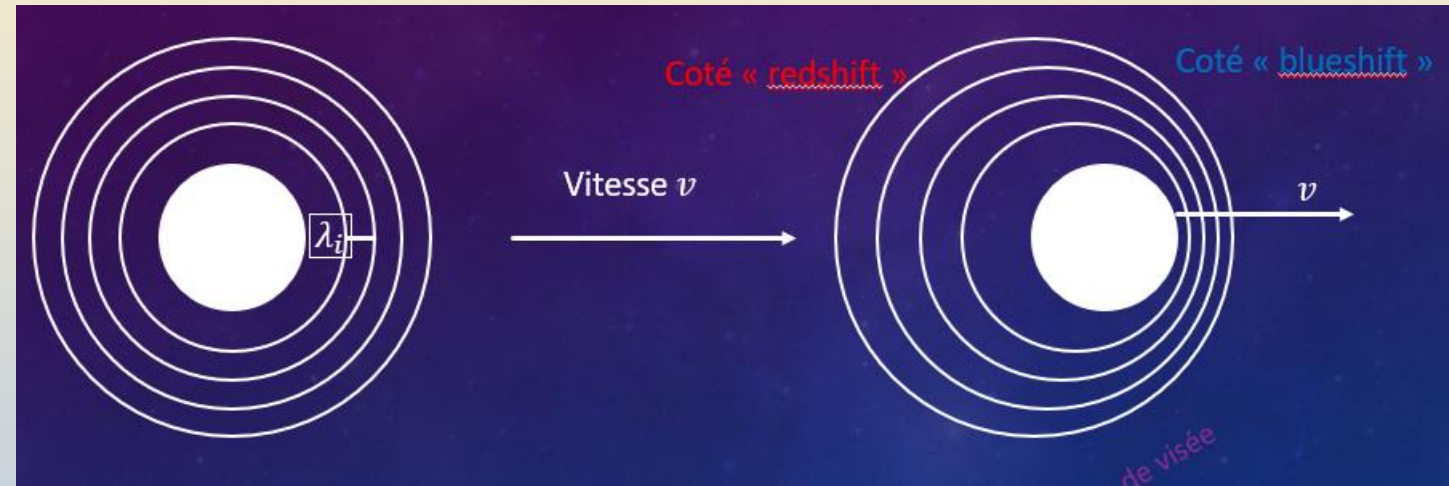
Type O : bleu = chaude = 30'000 °

chaque groupe est subdivisé en 9  
(0 = chaudes ; 9 = moins chaudes)

Ex : le soleil est du type G2

Un exemple de ce qui peut être fait par un amateur: **calculer la vitesse d'une étoile.**

L'effet DOPPLER et sa conséquence sur les spectres qui sont décalés.



# Calcul final:

- La raie H alpha de la référence est à 6563 A (656,3 nm) : **flèche bleue**.
- La raie H alpha observée sur l'étoile est à 7580 A (758 nm): **flèche rouge**.
- On applique la formule :

$$V = (l.o \text{ observée} / l.o \text{ référence}) - 1 \times c$$

$$V = (7580 / 6563) - 1 \times 299000$$

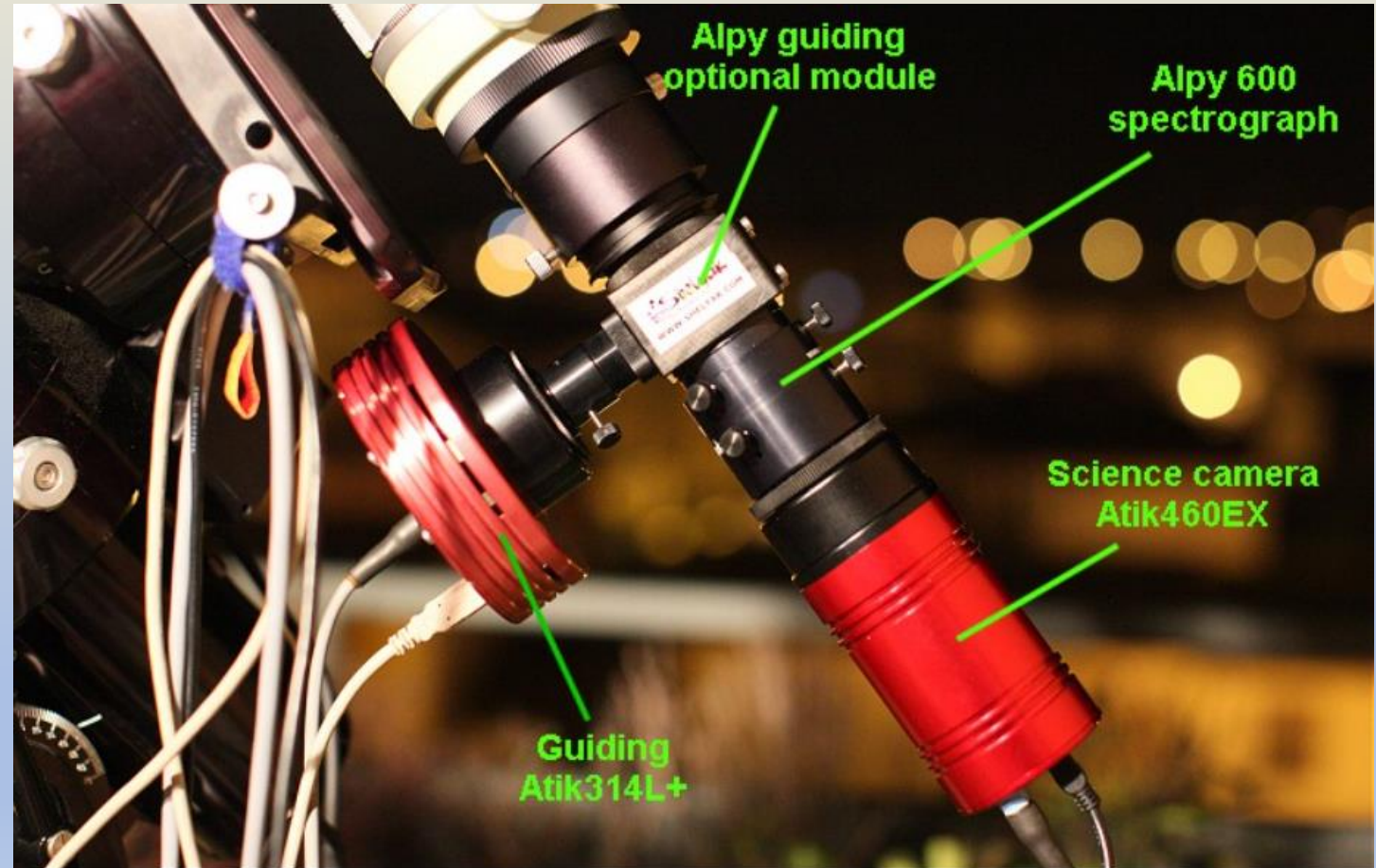
$$V = 46333 \text{ km/s}$$

Son coefficient redshift z est : 46333 / 299000

$$z = 0,15$$

**L'étoile s'éloigne de nous à une vitesse de 46'333 km/s (15% de c)**

# Un spectro Alpy 600 monté sur un C8





# Un spectro monté sur une lunette



# Différents spectro & prix

- Star Analyseur 200 traits .....200 €
- Alpy 600 .....2400 €
- Sol'Ex (à fabriquer soi même) .....500 €
- Lhyres .....4400 €
- LISA .....4260 €

Avec en plus : un télescope f/5 ; une caméra ; un logiciel de traitement

# Une activité spectro à la SNA ?

## Pourquoi :

- Activité qui peut intéresser certains membres.
- Démonstration publique.
- Si on est performant et avec du temps..... participer à des études scientifiques.
- Contacts avec d'autres observatoires.

## Comment:

- Former un noyau de personnes intéressées.
- Acheter le matériel et le logiciel.
- Pratiquer sur des objets simples puis plus complexes.

# Bibliographie

- Formation spectroscopie à l'OBP (Observatoire des Baronnies Provençales). Une semaine à plein temps.

Livre:



**Merci pour votre attention.**