

Percer les secrets  
des étoiles avec  
votre télescope

B. Mauclaire

Sommaire

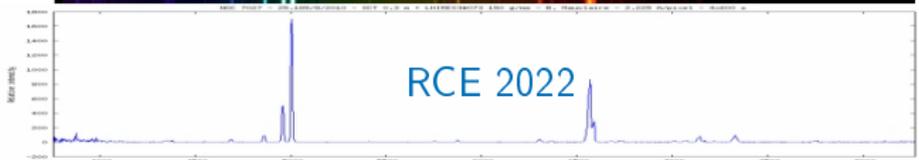
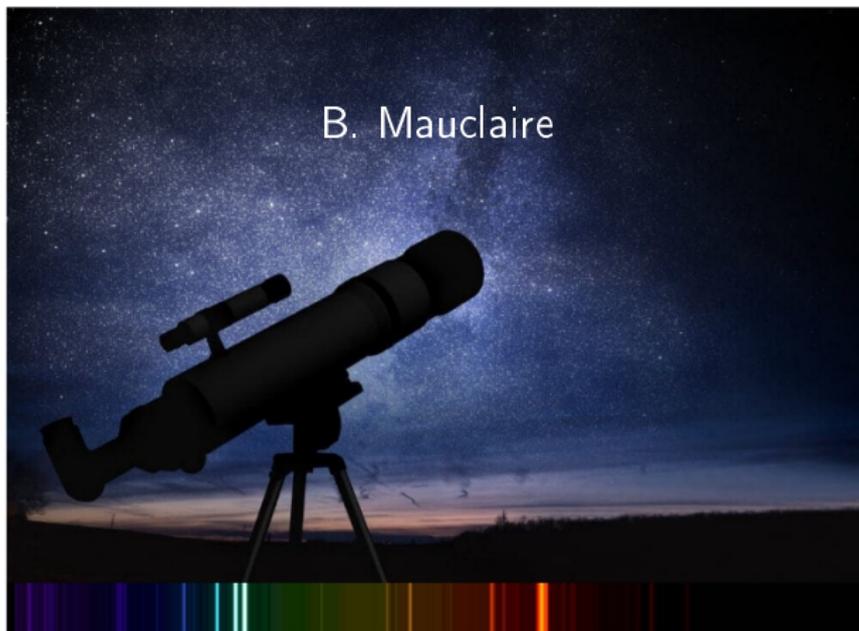
La spectro,  
késako?

Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes?

Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

Conclusion

# Percer les secrets des étoiles avec votre télescope



## La spectro, késako ?

## Pourquoi les nébuleuses planétaires sont-elles vertes ?

## Presque tout connaître des étoiles binaires

## Conclusion

# 1. La spectro, késako ?

## Sommaire

### La spectro, késako ?

Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes ?

Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

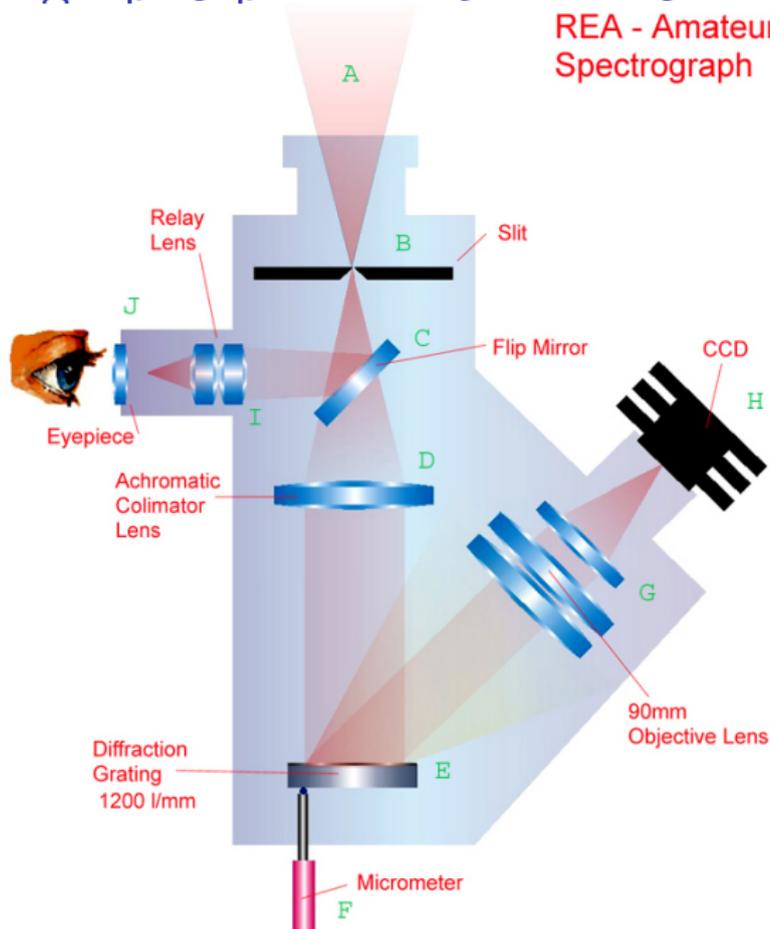
Conclusion

# Décomposition la lumière blanche



# Spectrographe pour l'astronomie

REA - Amateur Spectrograph



B. Mauclair

Sommaire

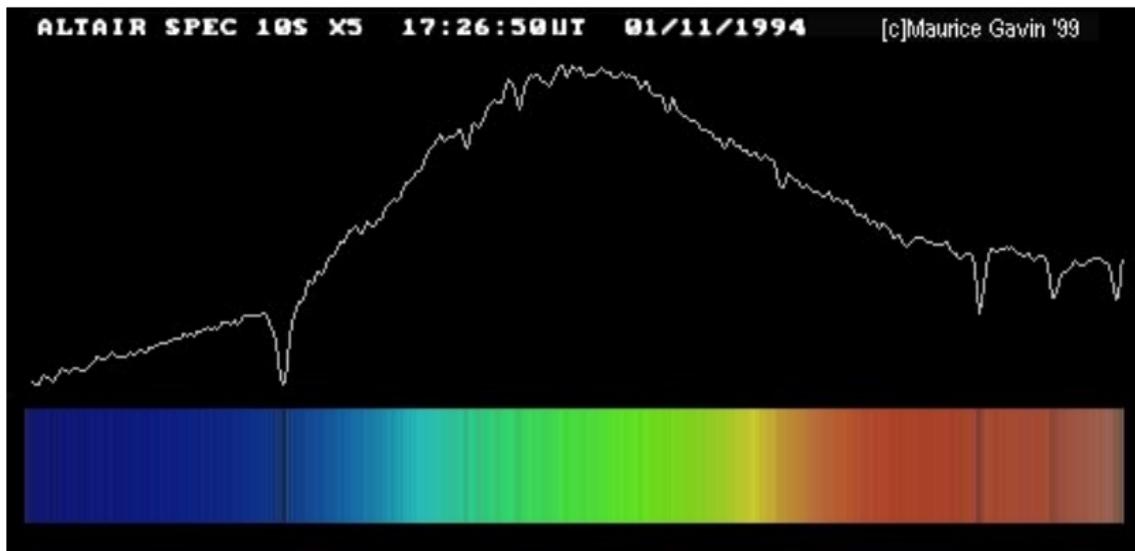
La spectro,  
késako?

Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes?

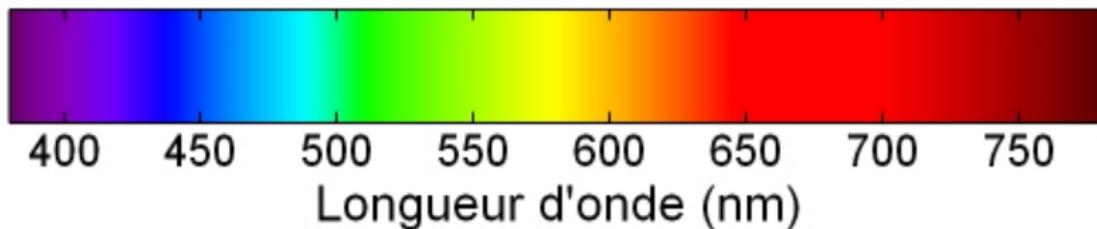
Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

Conclusion

# Cela marche aussi sur la lumière des étoiles



# La longueur d'onde : repérage des couleurs



## Sommaire

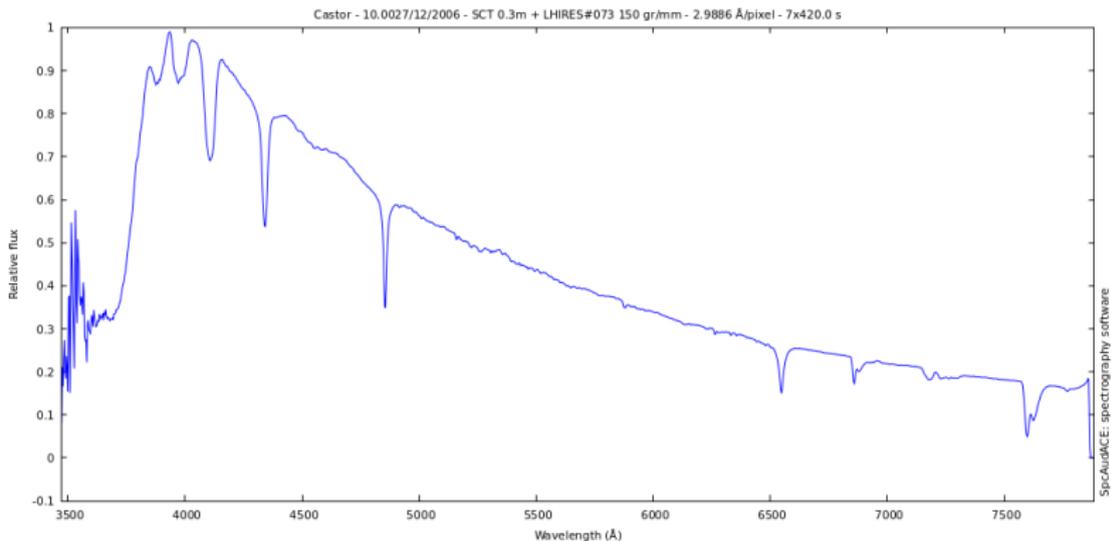
### La spectro, késako?

Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes?

Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

Conclusion

# Profil de raies (spectre 1D)



## Sommaire

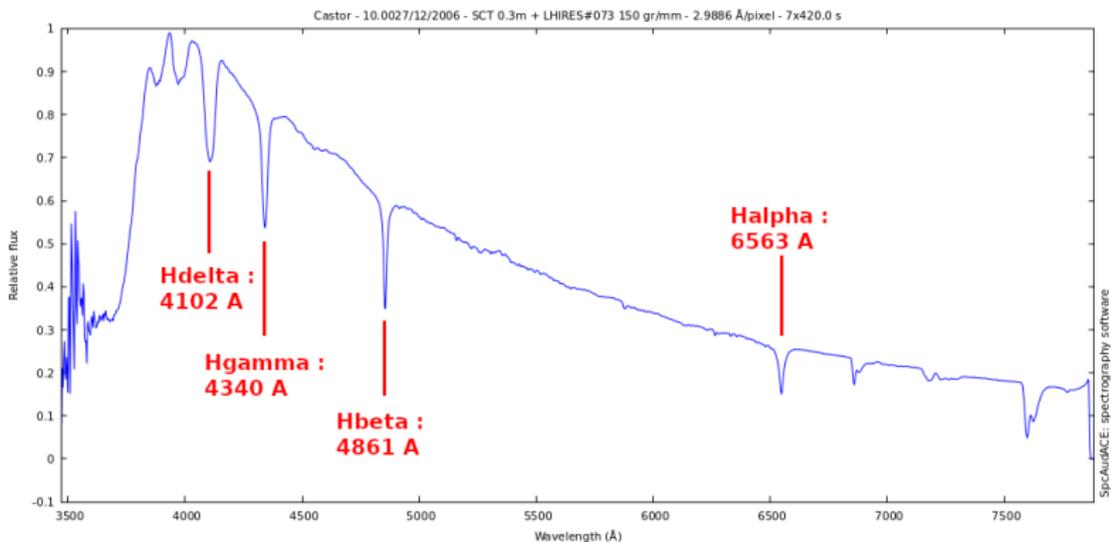
### La spectro, késako ?

Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes ?

Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

Conclusion

# Les raies de Balmer de l'hydrogène



## 2. Pourquoi les nébuleuses planétaires sont-elles vertes ?

B. Mauclair

Sommaire

La spectro,  
késako ?

**Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes ?**

Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

Conclusion

# Le vert des nébuleuses planétaires





B. Mauclair

Sommaire

La spectro,  
késako ?

**Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes ?**

Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

Conclusion

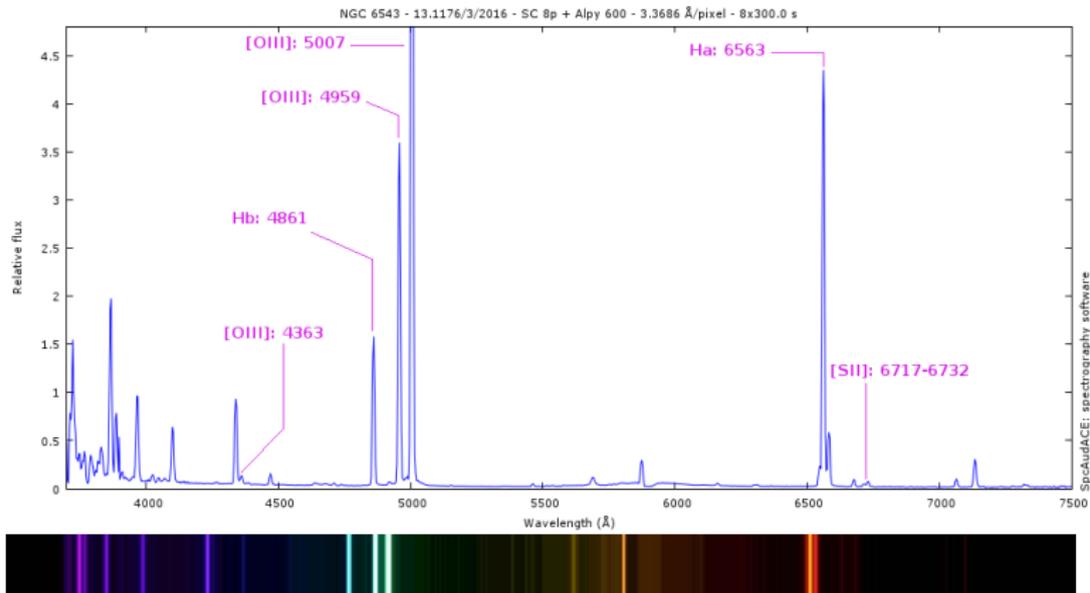


NGC 6543 - Cat's Eye Nebula (core)

foto: Eukase Sujka

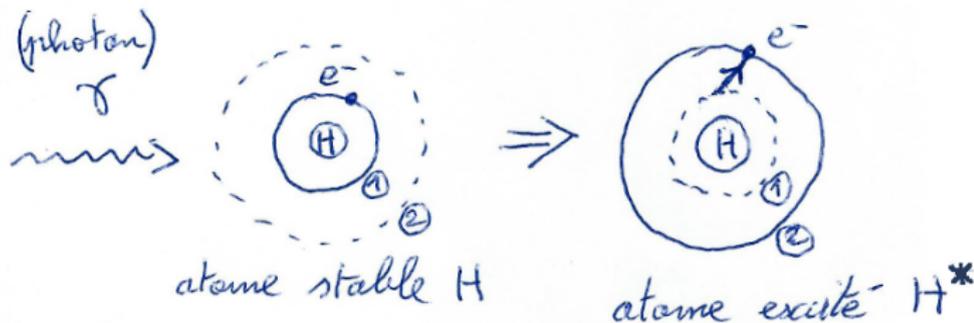


# Identification des raies



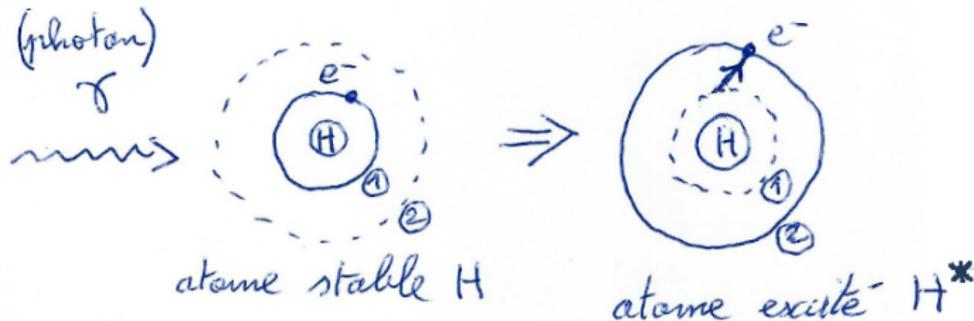
# Excitation des atomes : 2 situations

- Subit un rayonnement (photons  $\gamma$ ) :

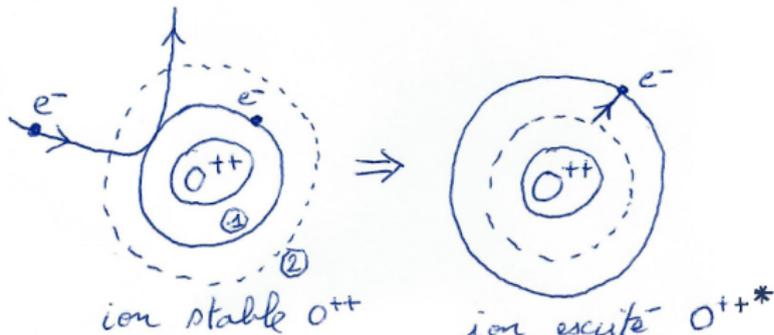


# Excitation des atomes : 2 situations

- Subit un rayonnement (photons  $\gamma$ ) :

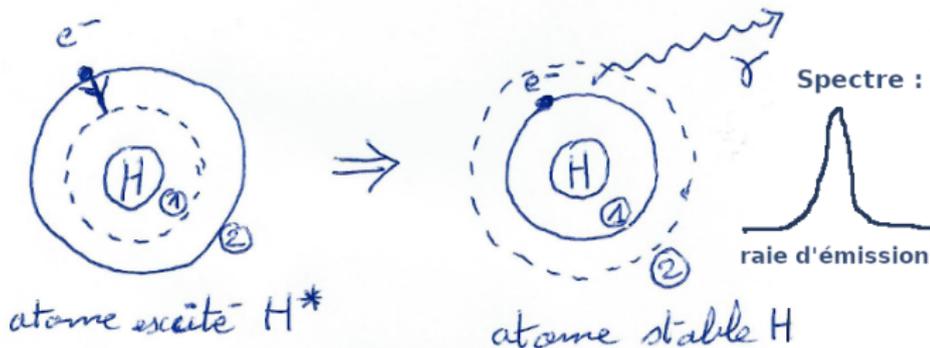


- Subit une collision d'un électron ( $e^-$ ) :



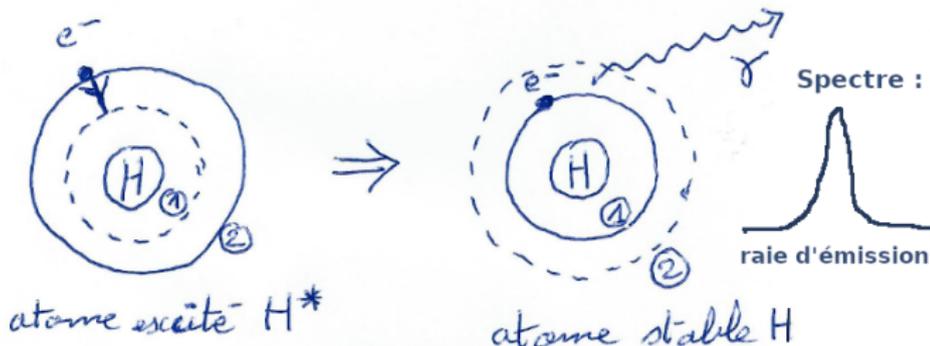
# Désexcitation des atomes

- Retour à l'état stable : émission lumineuse.



# Désexcitation des atomes

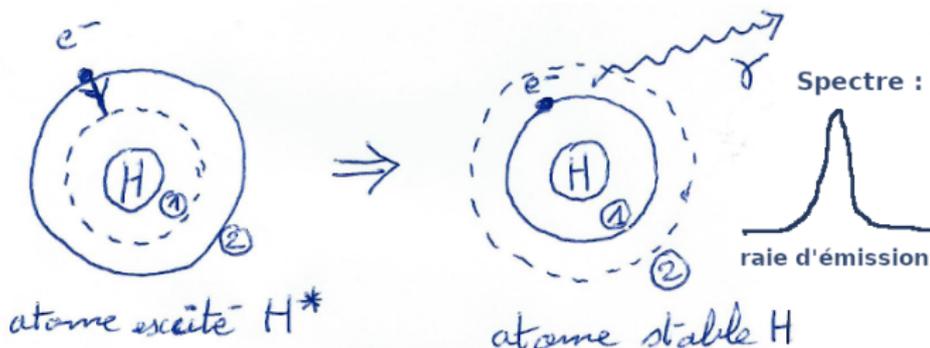
- Retour à l'état stable : émission lumineuse.



- Remarques :

# Désexcitation des atomes

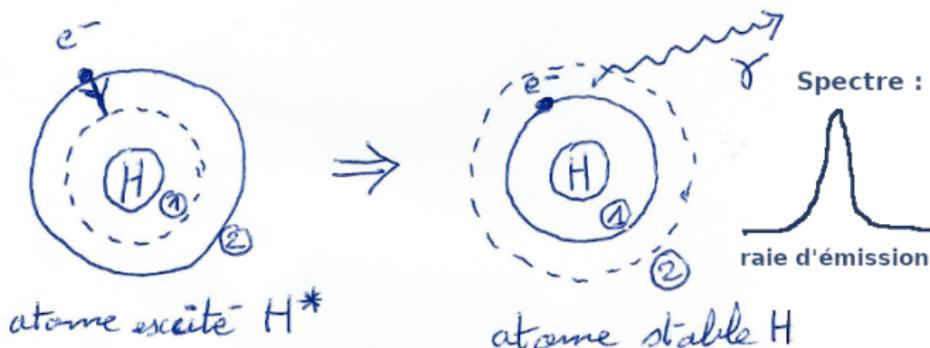
- Retour à l'état stable : émission lumineuse.



- Remarques :
  - ▶ Dans les nébuleuses : atomes et ions émettent des photons  $\implies$  raies d'émission.

# Désexcitation des atomes

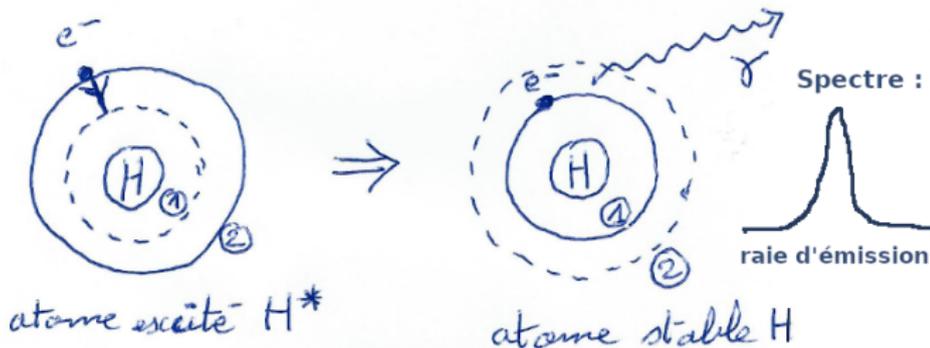
- Retour à l'état stable : émission lumineuse.



- Remarques :
  - ▶ Dans les nébuleuses : atomes et ions émettent des photons  $\implies$  raies d'émission.
  - ▶ Dans les étoiles usuelles : atomes et ions absorbent des photons  $\implies$  raies d'absorption.

# Désexcitation des atomes

- Retour à l'état stable : émission lumineuse.



- Remarques :
  - ▶ Dans les nébuleuses : atomes et ions émettent des photons  $\implies$  raies d'émission.
  - ▶ Dans les étoiles usuelles : atomes et ions absorbent des photons  $\implies$  raies d'absorption.
  - ▶ La loi de Boltzmann dépend de la température et de la transition énergétique en jeu.

# Raies d'émission de l'hydrogène

1. Le rayonnement UV de l'étoile centrale **ionisent** les atomes d'hydrogène en  $H^+$  et d'oxygène en  $O^{++}$ , idem pour former les ions  $N^+$ .

# Raies d'émission de l'hydrogène

1. Le rayonnement UV de l'étoile centrale **ionisent** les atomes d'hydrogène en  $H^+$  et d'oxygène en  $O^{++}$ , idem pour former les ions  $N^+$ .
2. Les électrons libérés par H sont **capturés** par les ions  $H^+$  : c'est **une recombinaison**.



# Raies d'émission de l'hydrogène

1. Le rayonnement UV de l'étoile centrale **ionisent** les atomes d'hydrogène en  $H^+$  et d'oxygène en  $O^{++}$ , idem pour former les ions  $N^+$ .
2. Les électrons libérés par H sont **capturés** par les ions  $H^+$  : c'est **une recombinaison**.



3. Les atomes excités  $H^*$  évacuent leur énergie par paliers en **émittant des photons  $\gamma$**  : production d'une série de raies d'émission HII = **série de Balmer**  $H\alpha$ ,  $H\beta$ , ...



# Raies d'émission de l'oxygène

1. Les électrons libérés par H entrent aussi en **collision** (rebondissent) avec les ions  $O^{++}$  : c'est **une excitation**.



# Raies d'émission de l'oxygène

1. Les électrons libérés par H entrent aussi en **collision** (rebondissent) avec les ions  $O^{++}$  : c'est **une excitation**.



2. Le plasma nébulaire étant peu dense, les ions  $O^{++}$  ont le temps d'évacuer spontanément l'énergie en quelques heures : **émission de photons** = raies [OIII].

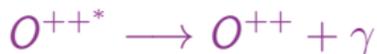


# Raies d'émission de l'oxygène

1. Les électrons libérés par H entrent aussi en **collision** (rebondissent) avec les ions  $O^{++}$  : c'est **une excitation**.



2. Le plasma nébulaire étant peu dense, les ions  $O^{++}$  ont le temps d'évacuer spontanément l'énergie en quelques heures : **émission de photons** = raies [OIII].



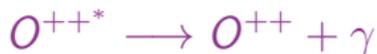
- Dans les vides obtenus en laboratoire il y a des recombinaisons électroniques désexcitant les ions  $O^{++}$  avant : les raies sont dites interdites notées [I].

# Raies d'émission de l'oxygène

1. Les électrons libérés par H entrent aussi en **collision** (rebondissent) avec les ions  $O^{++}$  : c'est **une excitation**.



2. Le plasma nébulaire étant peu dense, les ions  $O^{++}$  ont le temps d'évacuer spontanément l'énergie en quelques heures : **émission de photons** = raies [OIII].



- Dans les vides obtenus en laboratoire il y a des recombinaisons électroniques désexcitant les ions  $O^{++}$  avant : les raies sont dites interdites notées [I].
- Ces ions sont des **agents de refroidissement** en "ralentissant" les électrons libres.

# Température $T_e$ et densité électronique $N_e$

L'étude des transitions énergétiques en physique  
quantique nous donne :

# Température $T_e$ et densité électronique $N_e$

L'étude des transitions énergétiques en physique quantique nous donne :

- Lien entre raies de [OIII] et  $T_e$  :

$$T_e \simeq \frac{3,29 \cdot 10^4}{\ln \left( \frac{1}{8,32} \cdot \frac{I_{\lambda_{4959}} + I_{\lambda_{5007}}}{I_{\lambda_{4363}}} \right)}$$

# Température $T_e$ et densité électronique $N_e$

L'étude des transitions énergétiques en physique quantique nous donne :

- Lien entre raies de [OIII] et  $T_e$  :

$$T_e \simeq \frac{3,29 \cdot 10^4}{\ln \left( \frac{1}{8,32} \cdot \frac{I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}}{I_{\lambda 4363}} \right)}$$

- Lien entre raies de [SII] et  $N_e$  :

$$N_e \simeq 100 \cdot \sqrt{T_e} \cdot \frac{\frac{I_{6717}}{I_{6731}} - 1,49}{5,617 - 12,8 \cdot \frac{I_{6717}}{I_{6731}}}$$

# Température $T_e$ et densité électronique $N_e$

L'étude des transitions énergétiques en physique quantique nous donne :

- Lien entre raies de [OIII] et  $T_e$  :

$$T_e \simeq \frac{3,29 \cdot 10^4}{\ln \left( \frac{1}{8,32} \cdot \frac{I_{\lambda_{4959}} + I_{\lambda_{5007}}}{I_{\lambda_{4363}}} \right)}$$

- Lien entre raies de [SII] et  $N_e$  :

$$N_e \simeq 100 \cdot \sqrt{T_e} \cdot \frac{\frac{I_{6717}}{I_{6731}} - 1,49}{5,617 - 12,8 \cdot \frac{I_{6717}}{I_{6731}}}$$

Source bibliographique : *Astronomie astrophysique*, A. Acker, 2013

# Température et densité électronique (NP)

1. Déroutissement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :

# Température et densité électronique (NP)

## 1. Dérougement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :

▶ `spc_dereddening nom_spectre  
largeur_Ha_Hb ?largeur_Hb?`

# Température et densité électronique (NP)

1. Dérougissement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :
  - ▶ `spc_dereddening nom_spectre`  
`largeur_Ha_Hb ?largeur_Hb?`
  - ▶ La largeur est à mesurer sur la base de la raie.

# Température et densité électronique (NP)

1. Dérougissement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :
  - ▶ `spc_dereddening nom_spectre`  
`largeur_Ha_Hb ?largeur_Hb?`
  - ▶ La largeur est à mesurer sur la base de la raie.
2. Mesure de  $T_e$  et  $N_e$  sur le spectre dérougit :

# Température et densité électronique (NP)

1. Dérougissement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :
  - ▶ `spc_dereddening nom_spectre  
largeur_Ha_Hb ?largeur_Hb?`
  - ▶ La largeur est à mesurer sur la base de la raie.
2. Mesure de Te et Ne sur le spectre dérougit :
  - ▶ `spc_tene spectre_derougit  
largeur_raies_4959-5007  
largeur_raies_4363 largeur_6717  
largeur_6732`

# Température et densité électronique (NP)

1. Déroutissement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :
  - ▶ `spc_dereddening nom_spectre largeur_Ha_Hb ?largeur_Hb?`
  - ▶ La largeur est à mesurer sur la base de la raie.
2. Mesure de Te et Ne sur le spectre dérouté :
  - ▶ `spc_tene spectre_derougit largeur_raies_4959-5007 largeur_raies_4363 largeur_6717 largeur_6732`
3. Comparer les valeurs à celles de la littérature en tenant compte de l'incertitude obtenue.

# Température et densité électronique (NP)

1. Dérougissement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :
  - ▶ `spc_dereddening nom_spectre largeur_Ha_Hb ?largeur_Hb?`
  - ▶ La largeur est à mesurer sur la base de la raie.
2. Mesure de Te et Ne sur le spectre dérougit :
  - ▶ `spc_tene spectre_derougit largeur_raies_4959-5007 largeur_raies_4363 largeur_6717 largeur_6732`
3. Comparer les valeurs à celles de la littérature en tenant compte de l'incertitude obtenue.

Commandes utilisées : issues du logiciel <http://spcaudace.free.fr>

# Température et densité électronique (NP)

1. Dérougissement du spectre (extinction interstellaire du bleu) :
  - ▶ `spc_dereddening nom_spectre largeur_Ha_Hb ?largeur_Hb?`
  - ▶ La largeur est à mesurer sur la base de la raie.
2. Mesure de Te et Ne sur le spectre dérougit :
  - ▶ `spc_tene spectre_derougit largeur_raies_4959-5007 largeur_raies_4363 largeur_6717 largeur_6732`
3. Comparer les valeurs à celles de la littérature en tenant compte de l'incertitude obtenue.

Commandes utilisées : issues du logiciel <http://spcaudace.free.fr>

Analyse détaillée : <http://spcaudace.free.fr/news/403/#dered>

# Température et densité électronique (NP)

- 1) `spc_dereddening ngc_6543_20160313_1176.fit`  
22 15

# Température et densité électronique (NP)

- 1) `spc_dereddening ngc_6543_20160313_1176.fit`  
`22 15`
- Résultat :
  - # Initials flux: Ha=527.67 ADU.A ; Hb=151.68 ADU.A ;  
Ha/Hb=3.48
  - # Deredded flux: Ha=432.37 ADU.A ; Hb=151.68 ADU.A
  - # Balmer decrement: Ha/Hb=2.85 ; d34\_theoric=2.85
  - # Interstellar extinction coefficient: c=0.261622830469 ;  
E(B-V)=0.179193719499
  - # Dereddened spectrum: `ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`

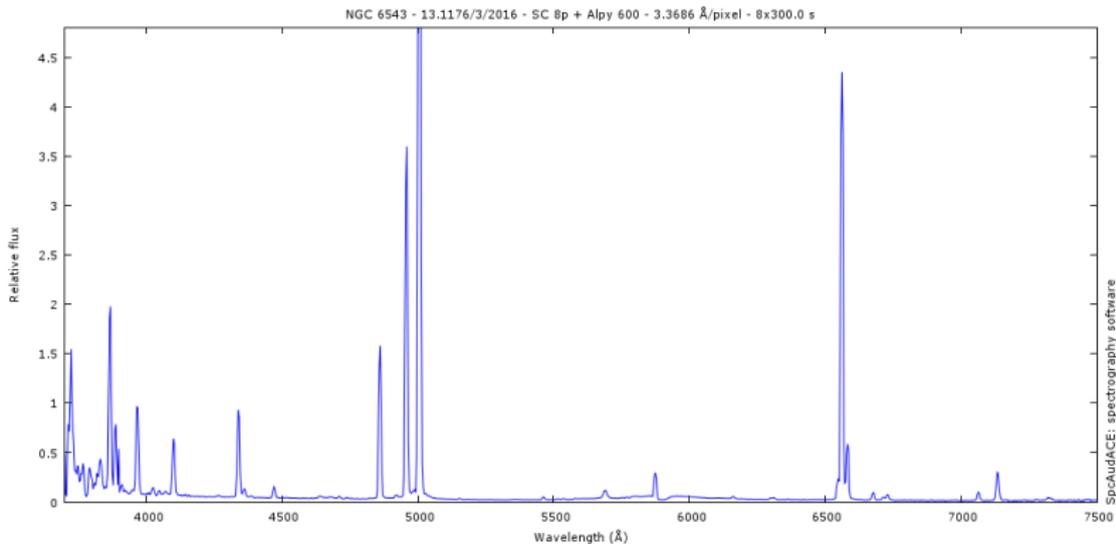
# Température et densité électronique (NP)

- 1) `spc_dereddening ngc_6543_20160313_1176.fit`  
`22 15`
- Résultat :
  - # Initials flux: Ha=527.67 ADU.A ; Hb=151.68 ADU.A ;  
Ha/Hb=3.48
  - # Deredded flux: Ha=432.37 ADU.A ; Hb=151.68 ADU.A
  - # Balmer decrement: Ha/Hb=2.85 ; d34\_theoric=2.85
  - # Interstellar extinction coefficient: c=0.261622830469 ;  
E(B-V)=0.179193719499
  - # Dereddened spectrum: `ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`
- Les recherches bibliographiques (notamment S. Hyung et al. - 2000) donnent :  $c = 0.3 \pm 0.1$ .

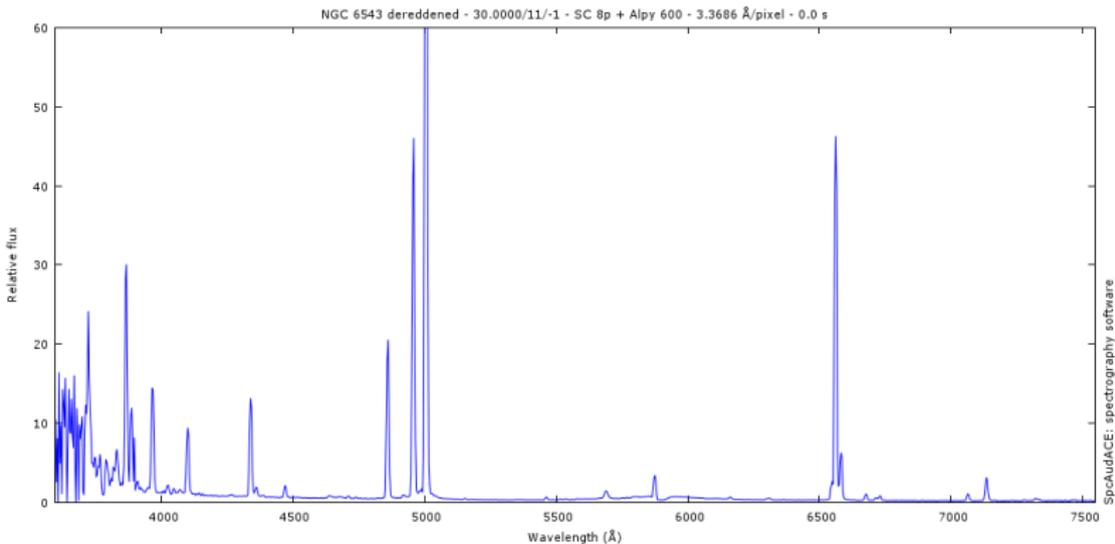
# Température et densité électronique (NP)

- 1) `spc_dereddening ngc_6543_20160313_1176.fit`  
`22 15`
- Résultat :
  - # Initials flux: Ha=527.67 ADU.A ; Hb=151.68 ADU.A ;  
Ha/Hb=3.48
  - # Deredded flux: Ha=432.37 ADU.A ; Hb=151.68 ADU.A
  - # Balmer decrement: Ha/Hb=2.85 ; d34\_theoric=2.85
  - # Interstellar extinction coefficient: c=0.261622830469 ;  
E(B-V)=0.179193719499
  - # Dereddened spectrum: `ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`
- Les recherches bibliographiques (notamment S. Hyung et al. - 2000) donnent :  $c = 0.3 \pm 0.1$ .
- Différence (par défaut) : 10%.

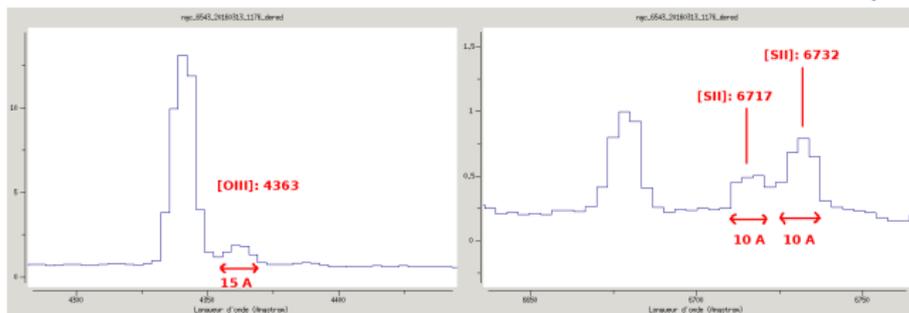
# Spectre traité



# Spectre traité, dérougi et normalisé

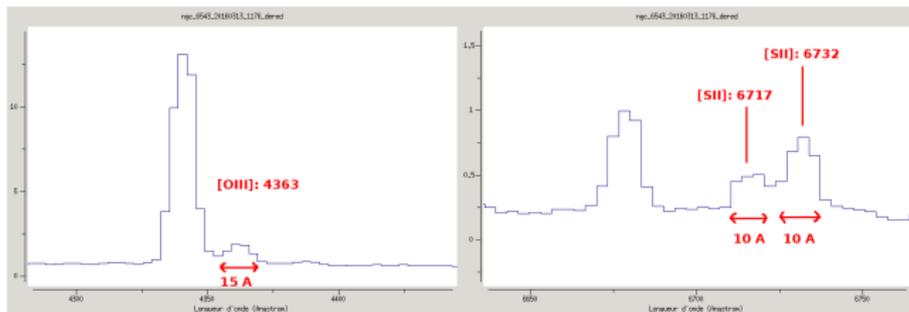


# Température et densité électronique (NP)



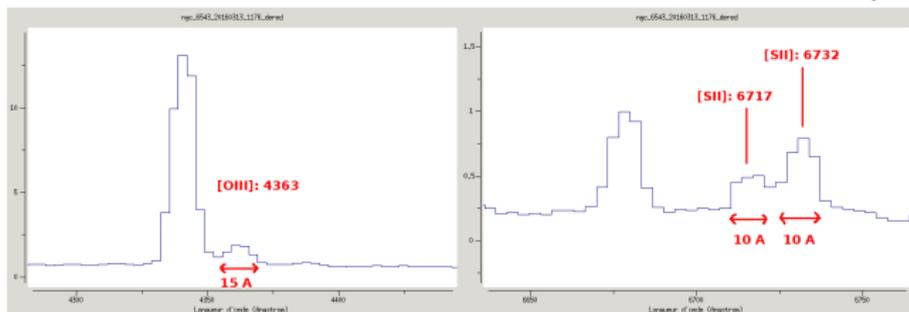
- 2a) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 12 12

# Température et densité électronique (NP)



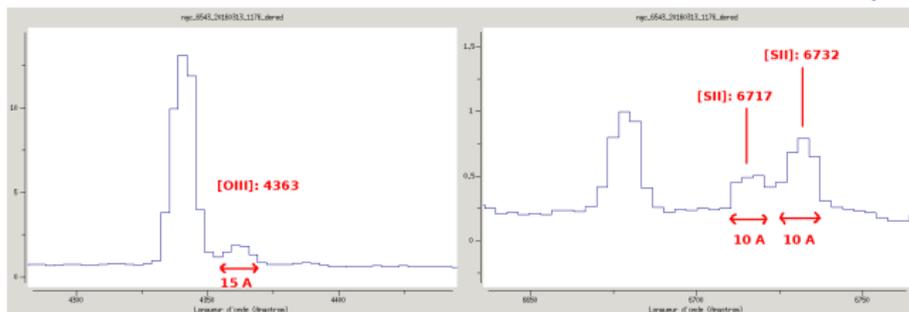
- 2a) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 12 12
- # R(OIII)=236.809862552 ;  $T_e=9825 \pm 436$  K  
# R(SII)=0.53595464573 ;  $N_e=7625 \pm 2905$  cm<sup>-3</sup>

# Température et densité électronique (NP)



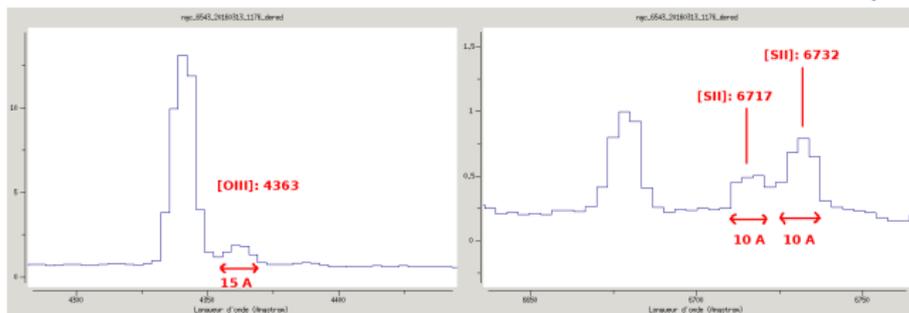
- 2a) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 12 12
- # R(OIII)=236.809862552 ;  $T_e=9825 \pm 436$  K  
# R(SII)=0.53595464573 ;  $N_e=7625 \pm 2905 \text{ cm}^{-3}$
- 2b) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 10 10

# Température et densité électronique (NP)



- 2a) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 12 12
- # R(OIII)=236.809862552 ;  $T_e=9825 \pm 436$  K  
# R(SII)=0.53595464573 ;  $N_e=7625 \pm 2905 \text{ cm}^{-3}$
- 2b) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 10 10
- # R(OIII)=236.809862552 ;  $T_e=9825 \pm 436$  K  
# R(SII)=0.53595464573 ;  $N_e=7625 \pm 1610 \text{ cm}^{-3}$

# Température et densité électronique (NP)



- 2a) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 12 12
- # R(OIII)=236.809862552 ;  $T_e=9825 \pm 436$  K  
# R(SII)=0.53595464573 ;  $N_e=7625 \pm 2905 \text{ cm}^{-3}$
- 2b) `spc_tene ngc_6543_20160313_1176_dered.fit`  
17 15 10 10
- # R(OIII)=236.809862552 ;  $T_e=9825 \pm 436$  K  
# R(SII)=0.53595464573 ;  $N_e=7625 \pm 1610 \text{ cm}^{-3}$
- 3) S. Hyung et al. 2000 :  $T_e \in [8000; 10000] \text{ K}$   
 $N_e \in [6000; 8500] \text{ cm}^{-3}$

# 3. Presque tout connaître des étoiles binaires

B. Mauclair

Sommaire

La spectro,  
késako?

Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes?

**Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires**

Conclusion

# Les étoiles binaires



# Les types d'étoiles binaires

- Les étoiles binaires sont des systèmes d'étoiles serrées.

# Les types d'étoiles binaires

- Les étoiles binaires sont des systèmes d'étoiles serrées.
- Lorsqu'on ne peut les distinguer visuellement (binaires spectroscopiques), seule l'étude du spectre permet d'obtenir des informations.

# Les types d'étoiles binaires

- Les étoiles binaires sont des systèmes d'étoiles serrées.
- Lorsqu'on ne peut les distinguer visuellement (binaires spectroscopiques), seule l'étude du spectre permet d'obtenir des informations.
- SB1=binaires à 1 spectre : seul le mouvement des raies de l'étoile la plus brillante peut être mesuré (étoiles hôtes d'exoplanètes).

# Les types d'étoiles binaires

- Les étoiles binaires sont des systèmes d'étoiles serrées.
- Lorsqu'on ne peut les distinguer visuellement (binaires spectroscopiques), seule l'étude du spectre permet d'obtenir des informations.
- SB1=binaires à 1 spectre : seul le mouvement des raies de l'étoile la plus brillante peut être mesuré (étoiles hôtes d'exoplanètes).
- SB2=binaires à 2 spectres : les raies spectrales des deux composantes sont vues.

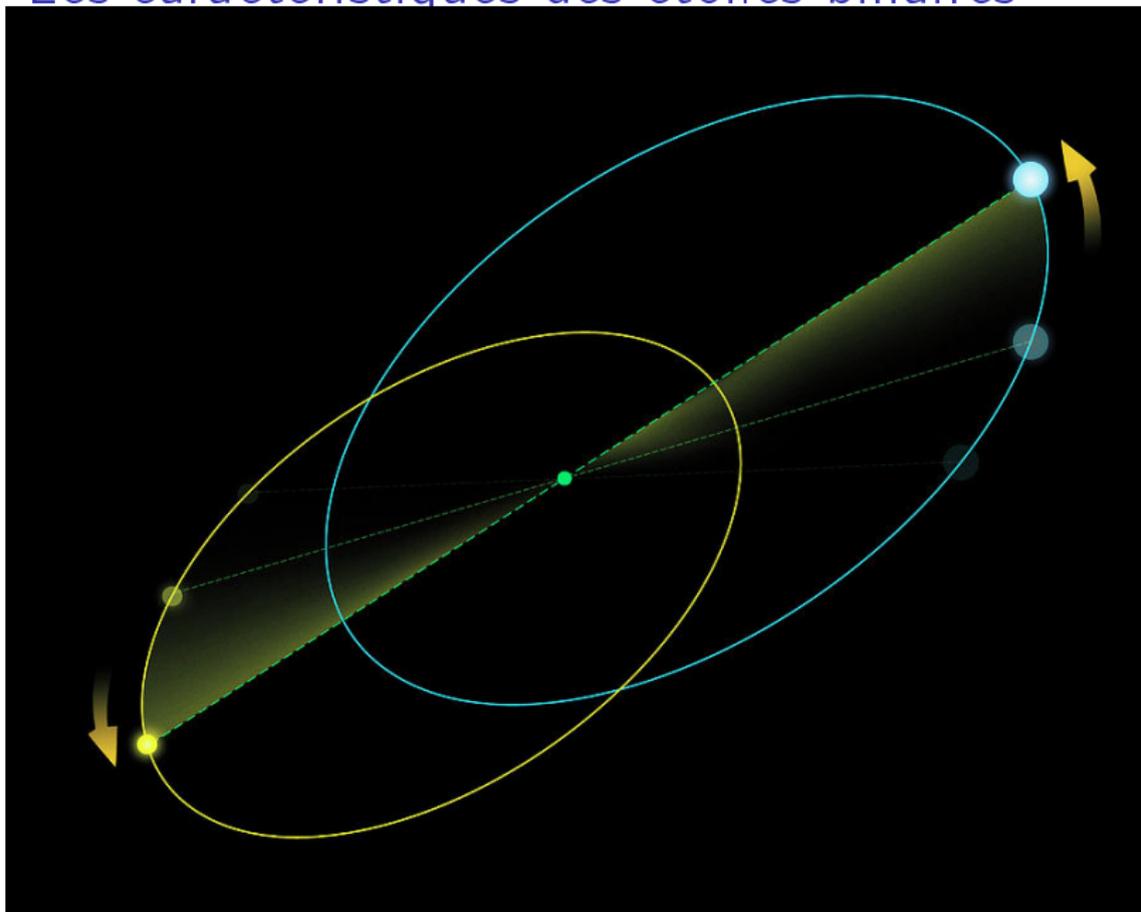
# Les types d'étoiles binaires

- Les étoiles binaires sont des systèmes d'étoiles serrées.
- Lorsqu'on ne peut les distinguer visuellement (binaires spectroscopiques), seule l'étude du spectre permet d'obtenir des informations.
- SB1=binaires à 1 spectre : seul le mouvement des raies de l'étoile la plus brillante peut être mesuré (étoiles hôtes d'exoplanètes).
- SB2=binaires à 2 spectres : les raies spectrales des deux composantes sont vues.
- SB3=systèmes à 3 composantes stellaires (rares).

# Les types d'étoiles binaires

- Les étoiles binaires sont des systèmes d'étoiles serrées.
- Lorsqu'on ne peut les distinguer visuellement (binaires spectroscopiques), seule l'étude du spectre permet d'obtenir des informations.
- SB1=binaires à 1 spectre : seul le mouvement des raies de l'étoile la plus brillante peut être mesuré (étoiles hôtes d'exoplanètes).
- SB2=binaires à 2 spectres : les raies spectrales des deux composantes sont vues.
- SB3=systèmes à 3 composantes stellaires (rares).
- Nous étudierons les SB2 car le spectre contient les informations spectrales de deux étoiles.

# Les caractéristiques des étoiles binaires

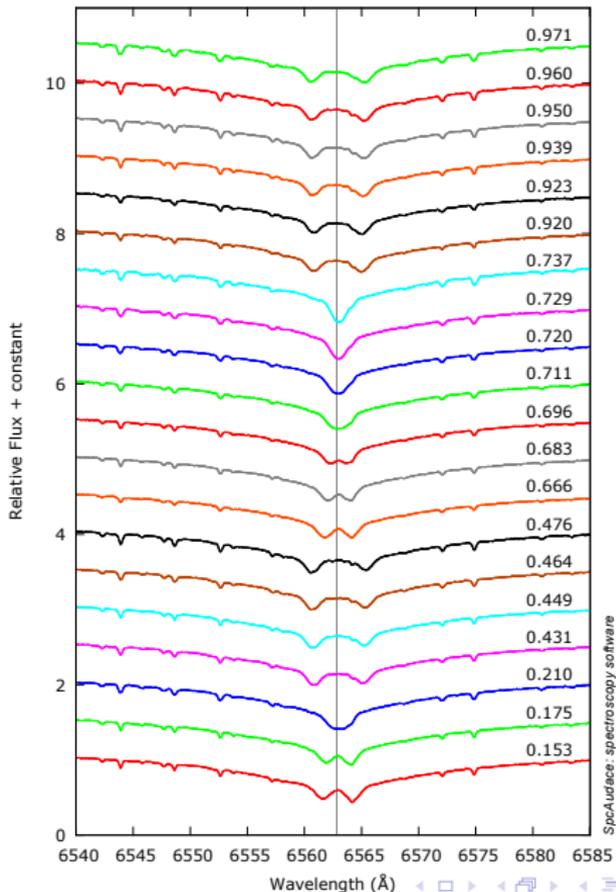


# Évolution des raies spectrales

Crédit : <http://www.odysseespace.fr/>

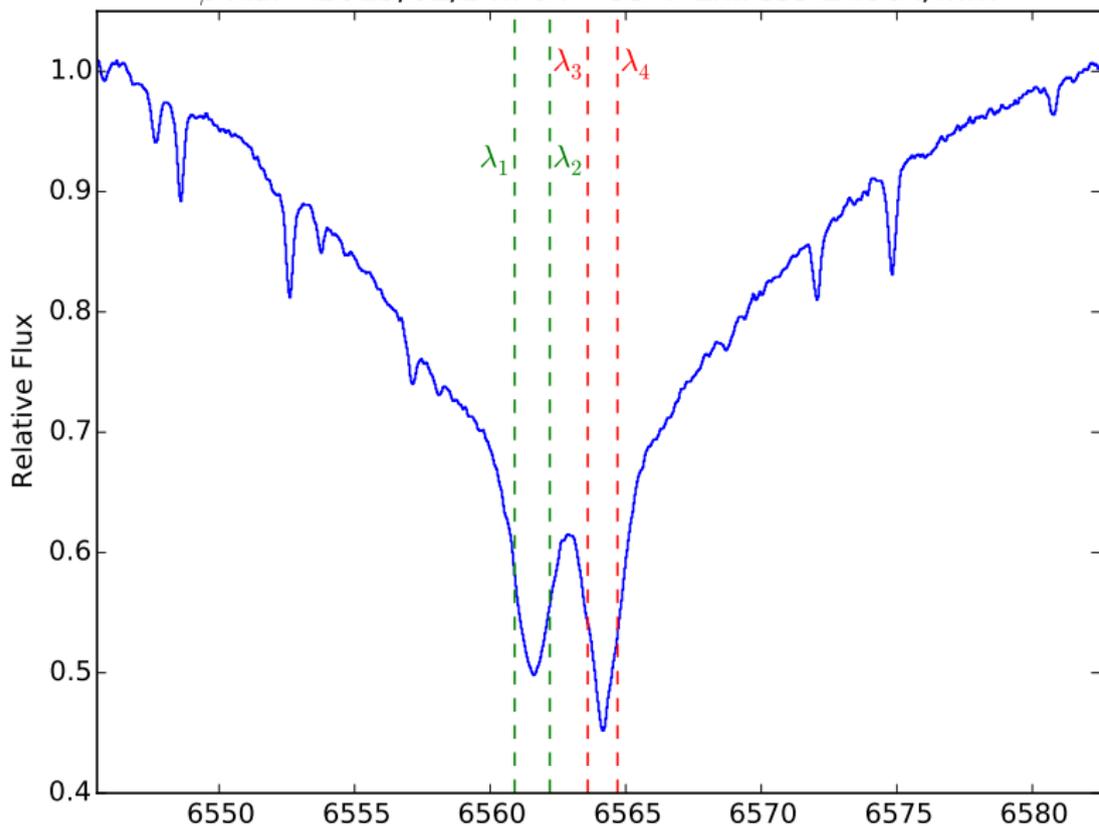
# Évolution des raies spectrales

Time evolution of menkalinan1 from 2458539.2645 to 2458542.5037

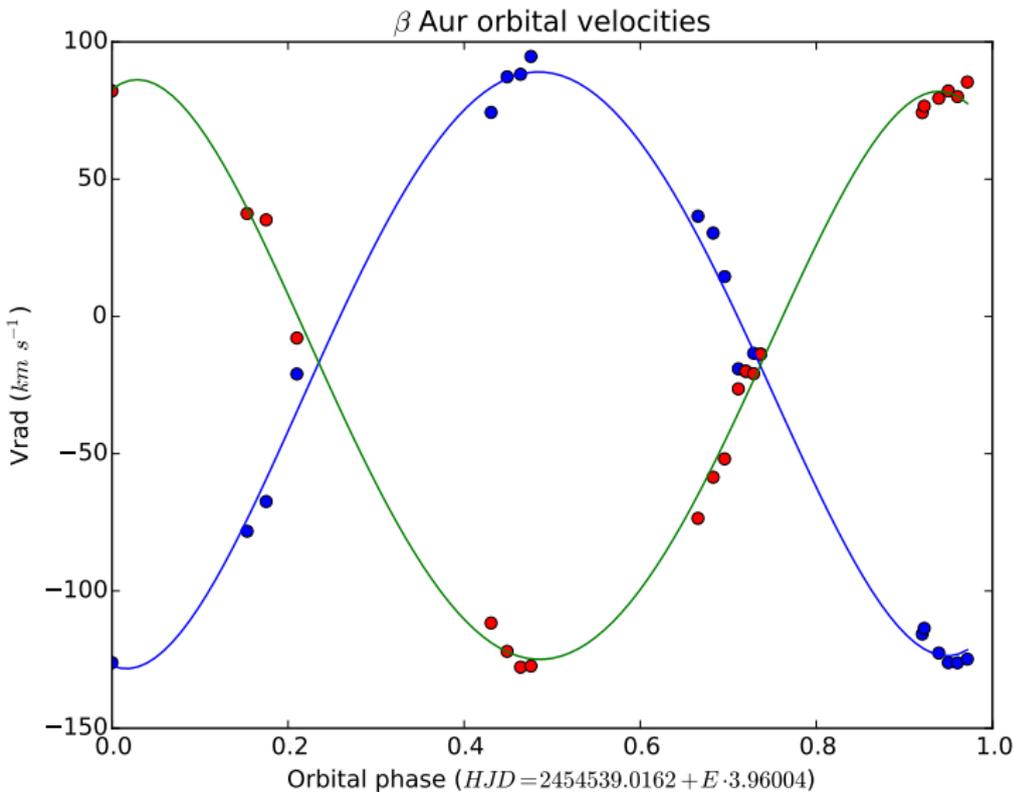


# Mesure des vitesses des 2 composantes

$\beta$  Aur - 2019/02/24.764 - C8 + Lhires3 2400 l/mm



# Tracé de la vitesse des 2 étoiles



# Les caractéristiques des étoiles binaires

- On mesure les vitesses radiales dans une raie pour les 2 composantes.

# Les caractéristiques des étoiles binaires

- On mesure les vitesses radiales dans une raie pour les 2 composantes.
- On trace les 2 courbes  $V = f(t)$  et l'on mesure leur amplitude  $K_A$  et  $K_B$

# Les caractéristiques des étoiles binaires

- On mesure les vitesses radiales dans une raie pour les 2 composantes.
- On trace les 2 courbes  $V = f(t)$  et l'on mesure leur amplitude  $K_A$  et  $K_B$
- Masse des 2 étoiles (composantes) :

$$M_A \sin^3 i = (K_A + K_B)^2 K_B \frac{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}}{2\pi G}$$

# Les caractéristiques des étoiles binaires

- On mesure les vitesses radiales dans une raie pour les 2 composantes.
- On trace les 2 courbes  $V = f(t)$  et l'on mesure leur amplitude  $K_A$  et  $K_B$
- Masse des 2 étoiles (composantes) :

$$M_A \sin^3 i = (K_A + K_B)^2 K_B \frac{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}}{2\pi G}$$

- Demi-grand axe  $a$  des 2 ellipses :

$$a_A \sin i = \frac{T}{2\pi} \sqrt{1 - e^2} K_A$$

# Les caractéristiques des étoiles binaires

- On mesure les vitesses radiales dans une raie pour les 2 composantes.
- On trace les 2 courbes  $V = f(t)$  et l'on mesure leur amplitude  $K_A$  et  $K_B$
- Masse des 2 étoiles (composantes) :

$$M_A \sin^3 i = (K_A + K_B)^2 K_B \frac{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}}{2\pi G}$$

- Demi-grand axe  $a$  des 2 ellipses :

$$a_A \sin i = \frac{T}{2\pi} \sqrt{1 - e^2} K_A$$

- 4 équations et 4 inconnues.

# Les caractéristiques des étoiles binaires

- On mesure les vitesses radiales dans une raie pour les 2 composantes.
- On trace les 2 courbes  $V = f(t)$  et l'on mesure leur amplitude  $K_A$  et  $K_B$
- Masse des 2 étoiles (composantes) :

$$M_A \sin^3 i = (K_A + K_B)^2 K_B \frac{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}}{2\pi G}$$

- Demi-grand axe  $a$  des 2 ellipses :

$$a_A \sin i = \frac{T}{2\pi} \sqrt{1 - e^2} K_A$$

- 4 équations et 4 inconnues.
- Excentricité  $e$  et inclinaison  $i$  : par ajustement de  $V = f(t)$  + hypothèse sur  $i$

# Les caractéristiques des étoiles binaires

- On mesure les vitesses radiales dans une raie pour les 2 composantes.
- On trace les 2 courbes  $V = f(t)$  et l'on mesure leur amplitude  $K_A$  et  $K_B$
- Masse des 2 étoiles (composantes) :

$$M_A \sin^3 i = (K_A + K_B)^2 K_B \frac{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}}{2\pi G}$$

- Demi-grand axe  $a$  des 2 ellipses :

$$a_A \sin i = \frac{T}{2\pi} \sqrt{1 - e^2} K_A$$

- 4 équations et 4 inconnues.
- Excentricité  $e$  et inclinaison  $i$  : par ajustement de  $V = f(t)$  + hypothèse sur  $i$
- Rayons et luminosités : par photométrie.

# Calcul des masses et rayons orbitaux

```
./rv_analysis.py bet_aur_date_phase_vr.csv 4
**** Binary spectroscopic stars Analyser (B. Mauclaire - 2019) ****

Vr1 half amplitude : 106.609232936 km/s
Vr2 half amplitude : 103.084453756 km/s
Vrad mean (binary system) : -14.3660026545 km/s
Period = 3.89926080184 d.

*** Case of circular orbits with  $i \sim 90^\circ$ :
M1 = 1.8314070425  $M_\odot$  ;  $r_1 = 0.0382107502172$  a.u. = 8.216539989  $R_\odot$ 
M2 = 1.89402856474  $M_\odot$  ;  $r_2 = 0.0369474031964$  a.u. = 7.94487975576  $R_\odot$ 
R =  $r_1+r_2 = 11243499.7164$  km = 0.0751581534137 a.u. = 16.1614197448  $R_\odot$ 
M2/M1 = 1.0341931208 ; M1/M2= 0.966937392916

*** Case of elliptic orbit with given excentricity e:
Excentricity used for computation: 0
M1sini3 = 1.8314070425  $M_\odot$ 
a1sini = 5716246.87035 km = 0.0382107502172 a.u. = 8.216539989  $R_\odot$ 
M2sini3 = 1.89402856474  $M_\odot$ 
a2sini = 5527252.84608 km = 0.0369474031964 a.u. = 7.94487975576  $R_\odot$ 
M2/M1 = 1.0341931208 ; M1/M2= 0.966937392916
```

# Comparaison aux valeurs de la littérature

Paramètres orbitaux	Cette étude (2018)	Nordström (1994)	Diff. (%)
$K_1$ (km s <sup>-1</sup> )	103,08	107,75 ± 0,40	4
$K_2$ (km s <sup>-1</sup> )	106,61	111,25 ± 0,40	4
$M_1/M_2$	0,97	0,97 ± 0,01	0
$V_\gamma$ (km s <sup>-1</sup> )	-14,4	-17,0 ± 0,4	15
$2a \sin i$ ( $R_\odot$ )	16,19	17,13 ± 0,04	6
$M_1 \sin^3 i$ ( $M_\odot$ )	1,89	2,19 ± 0,02	14
$M_2 \sin^3 i$ ( $M_\odot$ )	1,83	2,12 ± 0,02	14

Analyse détaillée :

<http://wsdiscovery.free.fr/astromie/publications/#bs>

B. Mauclaire

Sommaire

La spectro,  
késako?

Pourquoi les  
nébuleuses  
planétaires  
sont-elles vertes?

Presque tout  
connaître des  
étoiles binaires

**Conclusion**

- Toutes les tâches de réduction spectrale doivent être réalisées par un pipeline.

# Conclusion

- Toutes les tâches de réduction spectrale doivent être réalisées par un pipeline.

J'ai utilisé (réduction et mesures) SpcAudace :

<http://spcaudace.free.fr>

- Toutes les tâches de réduction spectrale doivent être réalisées par un pipeline.  
J'ai utilisé (réduction et mesures) SpcAudace :  
<http://spcaudace.free.fr>
- Les outils de mesure doivent produire **une estimation de l'incertitude.**

# Conclusion

- Toutes les tâches de réduction spectrale doivent être réalisées par un pipeline.  
J'ai utilisé (réduction et mesures) SpcAudace :  
<http://spcaudace.free.fr>
- Les outils de mesure doivent produire **une estimation de l'incertitude.**
- Lire des publications sur la cible étudiée pour connaître la signification des grandeurs mesurées.

- Toutes les tâches de réduction spectrale doivent être réalisées par un pipeline.  
J'ai utilisé (réduction et mesures) SpcAudace :  
<http://spcaudace.free.fr>
- Les outils de mesure doivent produire **une estimation de l'incertitude**.
- Lire des publications sur la cible étudiée pour connaître la signification des grandeurs mesurées.
- Connaître quelques langages de scripting : Python, Audela, bash, ...

# Conclusion

- Toutes les tâches de réduction spectrale doivent être réalisées par un pipeline.  
J'ai utilisé (réduction et mesures) SpcAudace :  
<http://spcaudace.free.fr>
- Les outils de mesure doivent produire **une estimation de l'incertitude**.
- Lire des publications sur la cible étudiée pour connaître la signification des grandeurs mesurées.
- Connaître quelques langages de scripting : Python, Audela, bash, ...
- **À vous de jouer !**