

Étude de l'âge 2 jeunes populations stellaires de l'association Scorpius-Centaurus



Unité de formation
Physique / université
de BORDEAUX

Par Noémie Voulgre



Sommaire

1. Cadre scientifique
2. Réduction des données spectroscopiques
3. Estimation de l'âge par ajustement d'isochrones
4. Étude de la raie H α

1. Cadre scientifique : Association Scorpius-Centaurus

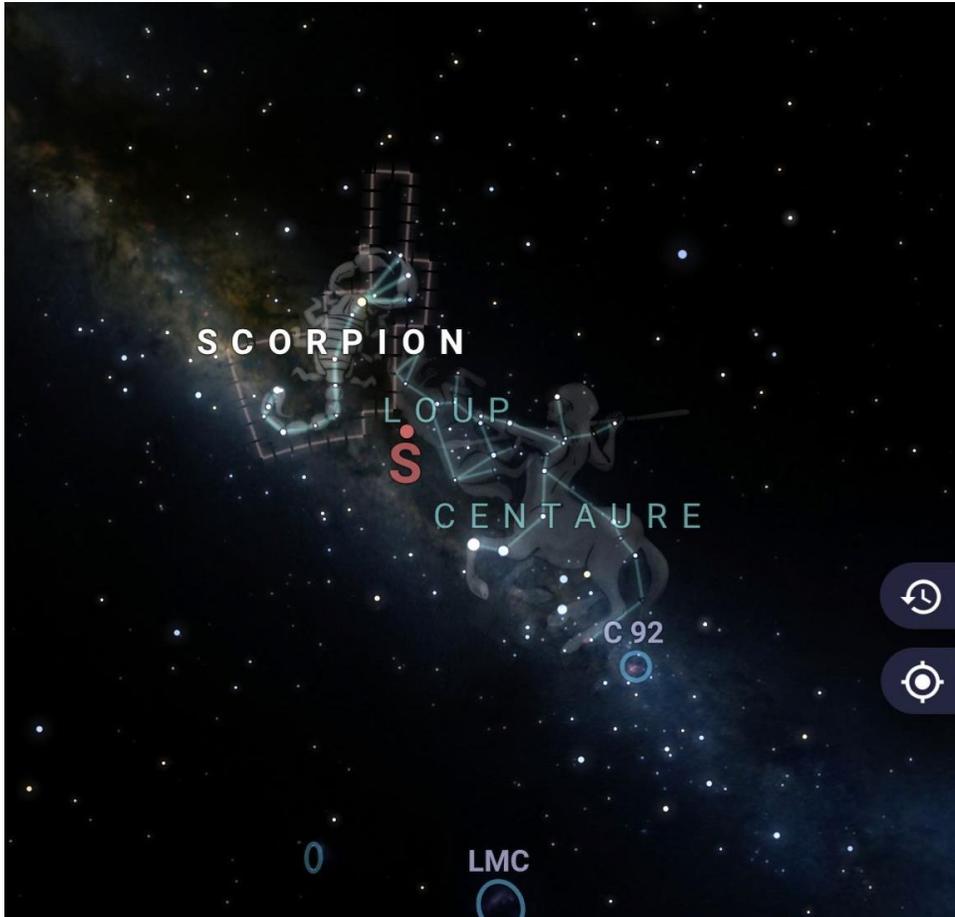
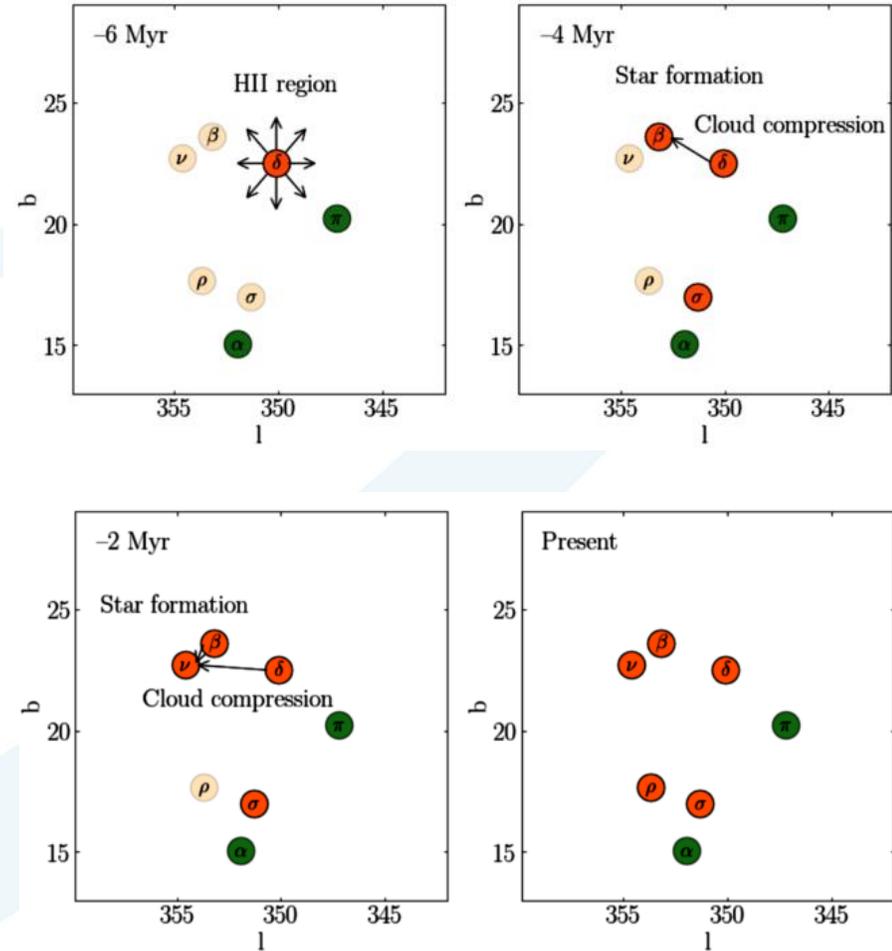
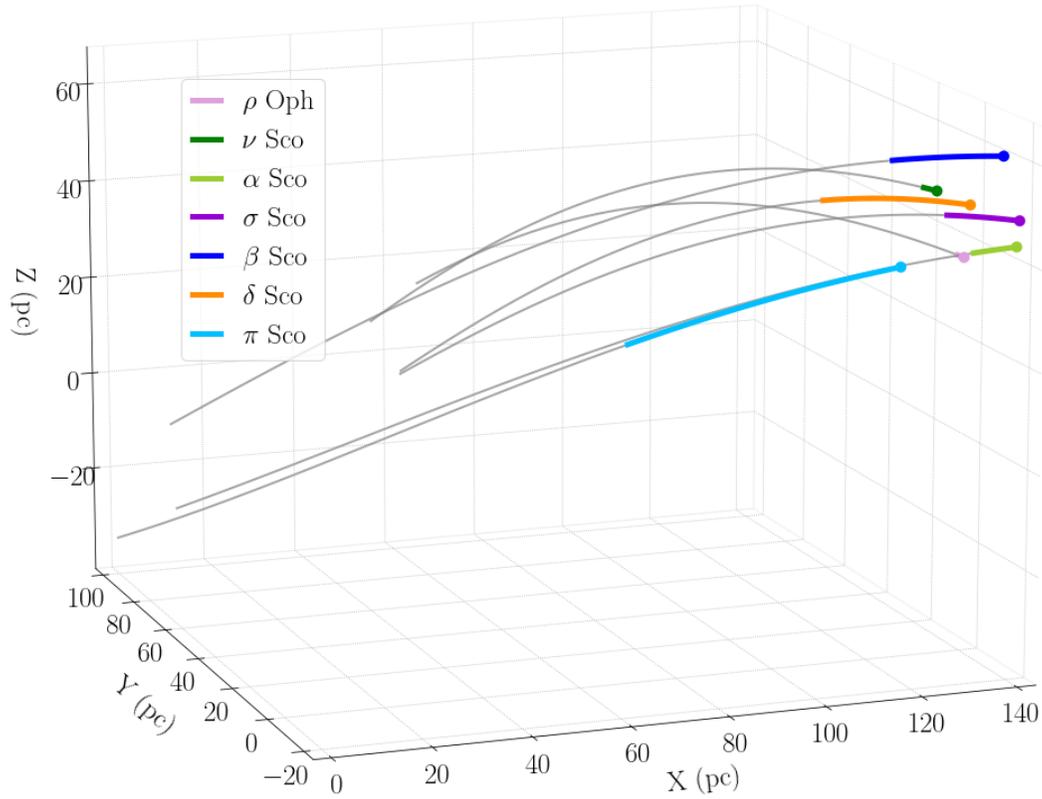


Illustration de l'étendue de l'association par une vue sur l'application Stellarium

- Question ouverte : Déclenchement et propagation de la formation stellaire
- Estimation âge des étoiles => Histoire de la région
- Association Scorpius-Centaurus :
 - 100 pc / étoiles OB
 - Origine commune
 - Dispersion en quelques Myr

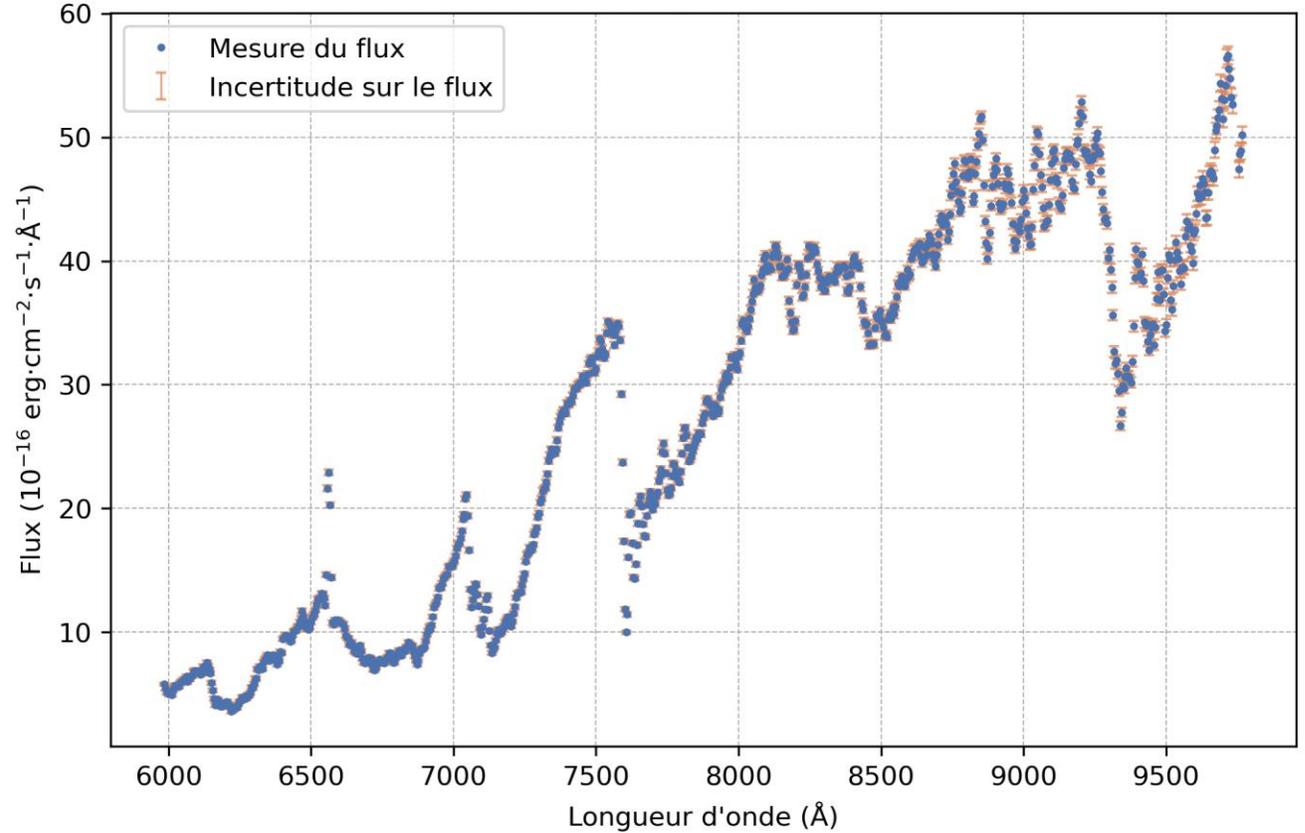
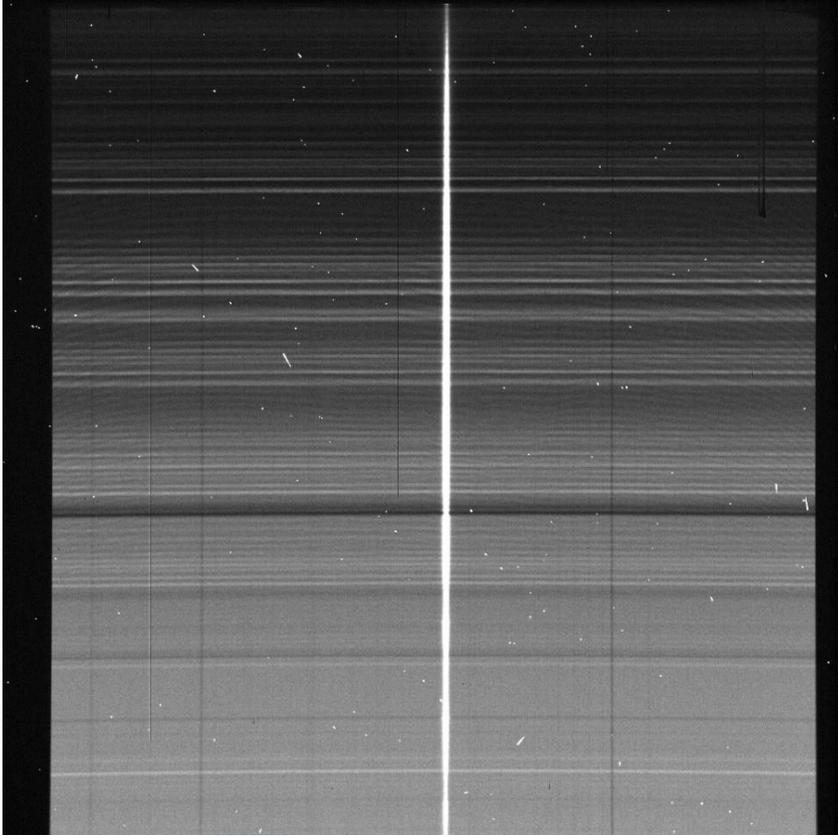
1. Cadre scientifique : Sous-groupes dans le Haut Scorpion



Méthode du Traceback dynamique : représentation 3D des trajectoires des sous-groupes identifiés par Miret-Roig et al (2022)^[2]

Scénario de formation proposé par Miret-Roig et al (2022)^[2]

2. Réduction des données spectroscopiques



Données brutes : exemple d'image d'un spectre enregistré par la caméra CCD de EFOSC2

Données réduites : Tracé du spectre à partir des données réduites par le pipeline

3. Estimation de l'âge par ajustement d'isochrones

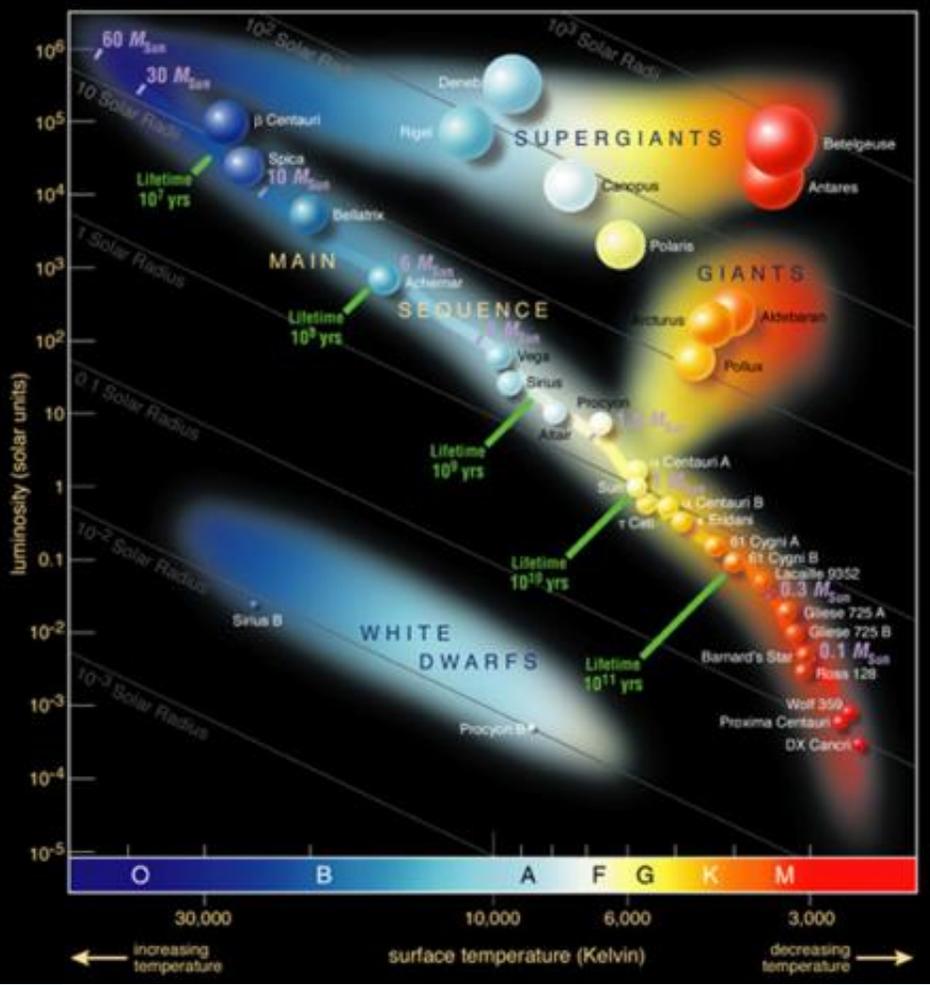
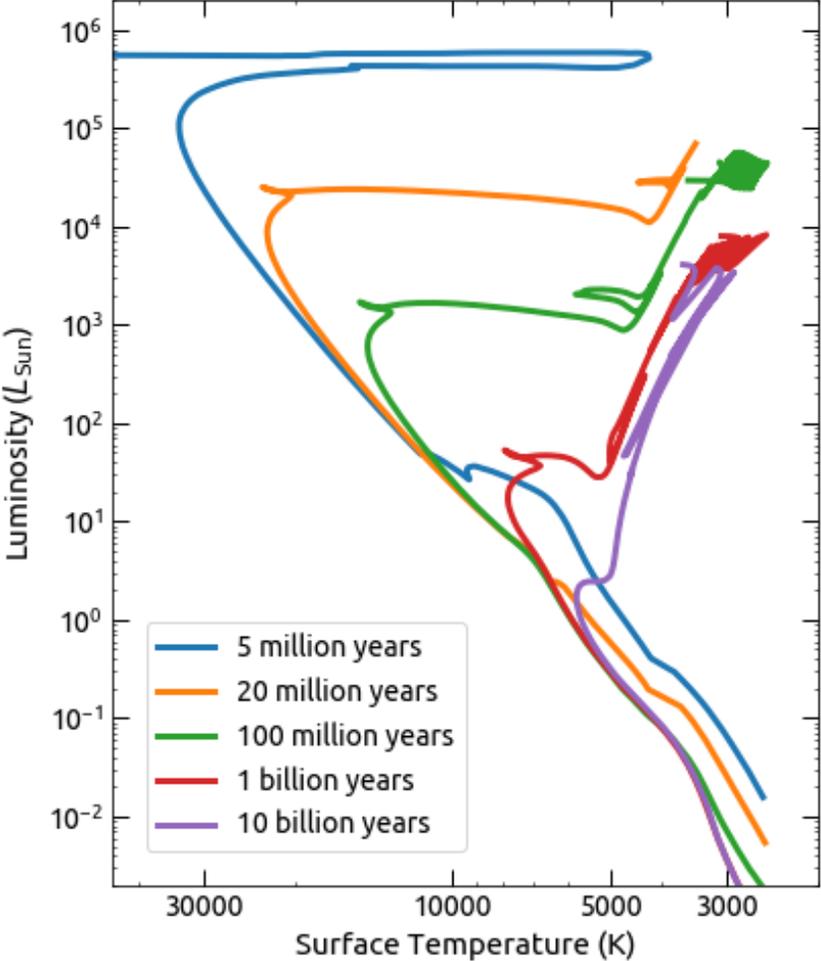


Diagramme Hertzsprung-Russell [6]

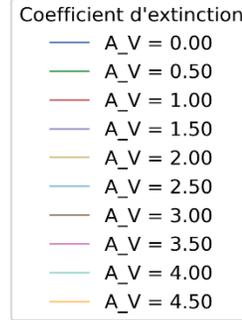
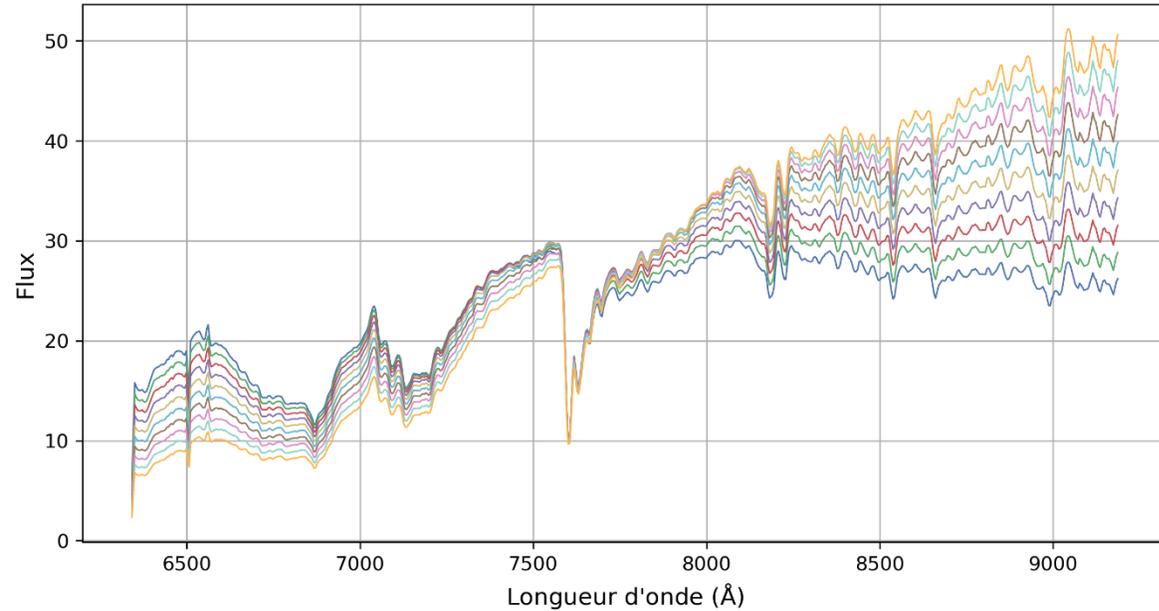


Exemple d'isochrones (source : Wikipédia)

3. Ajustement d'isochrones : Type spectral – Méthode

Tableau de correspondance type spectral, couleur apparente et température effective [6]

Rougisement d'un spectre M2



Spectral Class	Star Color	Surface Temp
O	Blue	40,000 K
B	Blue-White	20,000 K
A	White	8500 K
F	White	6500 K
G	Yellow-White	5500 K
K	Yellow-Orange	4500 K
M	Orange-Red	3000 K
L	Red-IR	1700 K
T	IR	1000 K

- Loi empirique d'extinction interstellaire de Fitzpatrick99 [3]: A_λ / A_V

- Rougisement spectres de référence : $F_{rougi}(\lambda) = F_{ref}(\lambda) * 10^{-0.4A_\lambda}$

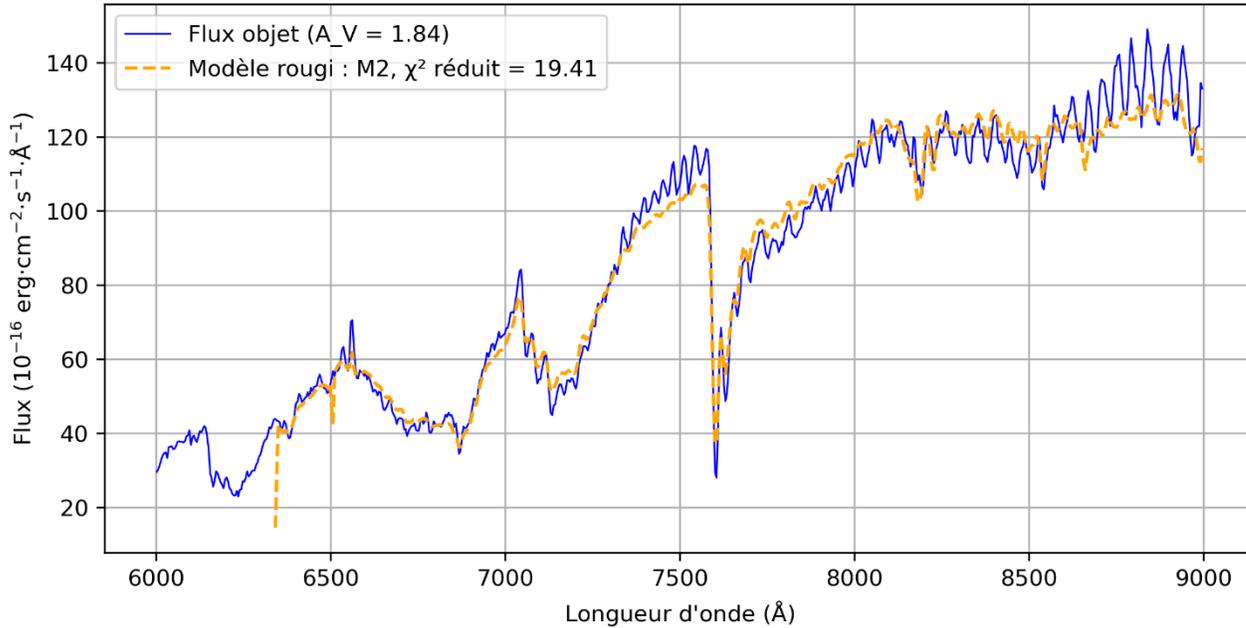
- Double boucle (type spectral + A_V)

- Minimisation du $\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(F_{\lambda,i}^{obs} - a * F_{\lambda,i}^{ref})^2}{\sigma_i^2}$

- Incertitudes : Monte Carlo

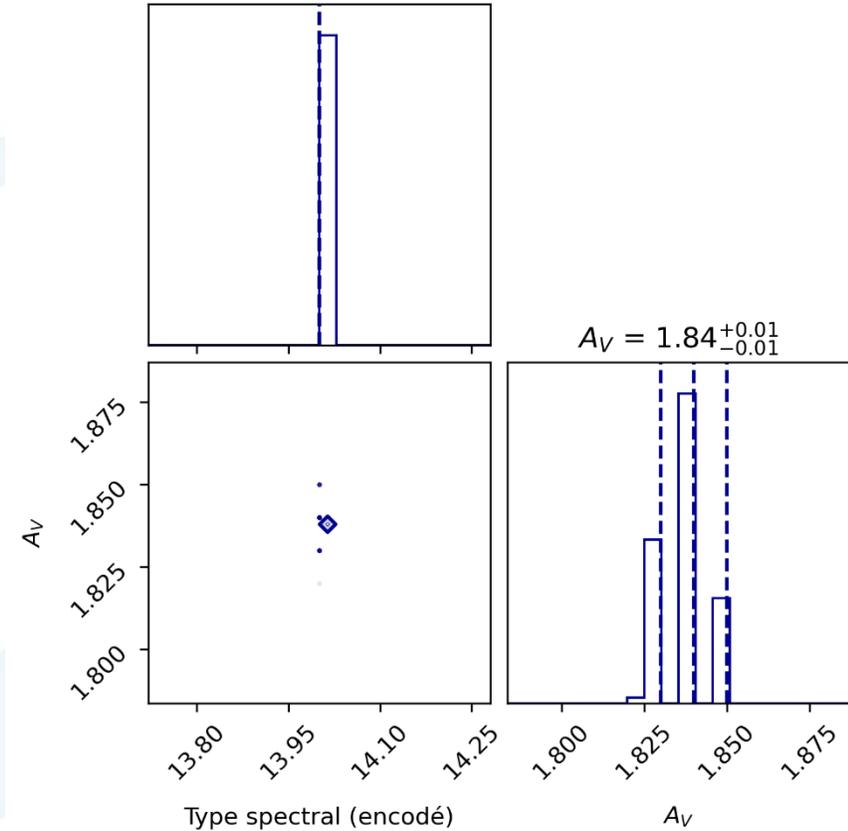
3. Ajustement d'isochrones : Type spectral – Résultats

Objet d'étude : Gaia_DR3_6244615614954295552
Avec rougissement des spectres de référence
Meilleur type spectral : M2
 $\chi^2 = 19.41$, $a = 389395.61$, $A_V = 1.84$



Exemple d'ajustement

Type spectral (encodé) = $14.00^{+0.00}_{-0.00}$



Exemple de Corner plot

3. Ajustement d'isochrones : Magnitude absolue

$$M = m_{corr} - 5 \log_{10}(d) + 5$$

$$A_V = m_{V,obs} - m_{V,intrinsèque}$$

$$A_G = 0.87 * A_V$$

$$A_{G50} = 0.87 * A_{V50}$$

$$A_{G16} = 0.87 * A_{V16}$$

$$A_{G84} = 0.87 * A_{V84}$$

$$m_{corr} = m - A_{G50}$$

$$M = m_{corr} - 5 * \log_{10}(d) + 5$$

$$M_{inf} = (m - A_{G84}) - 5 * \log_{10}(d_{84}) + 5$$

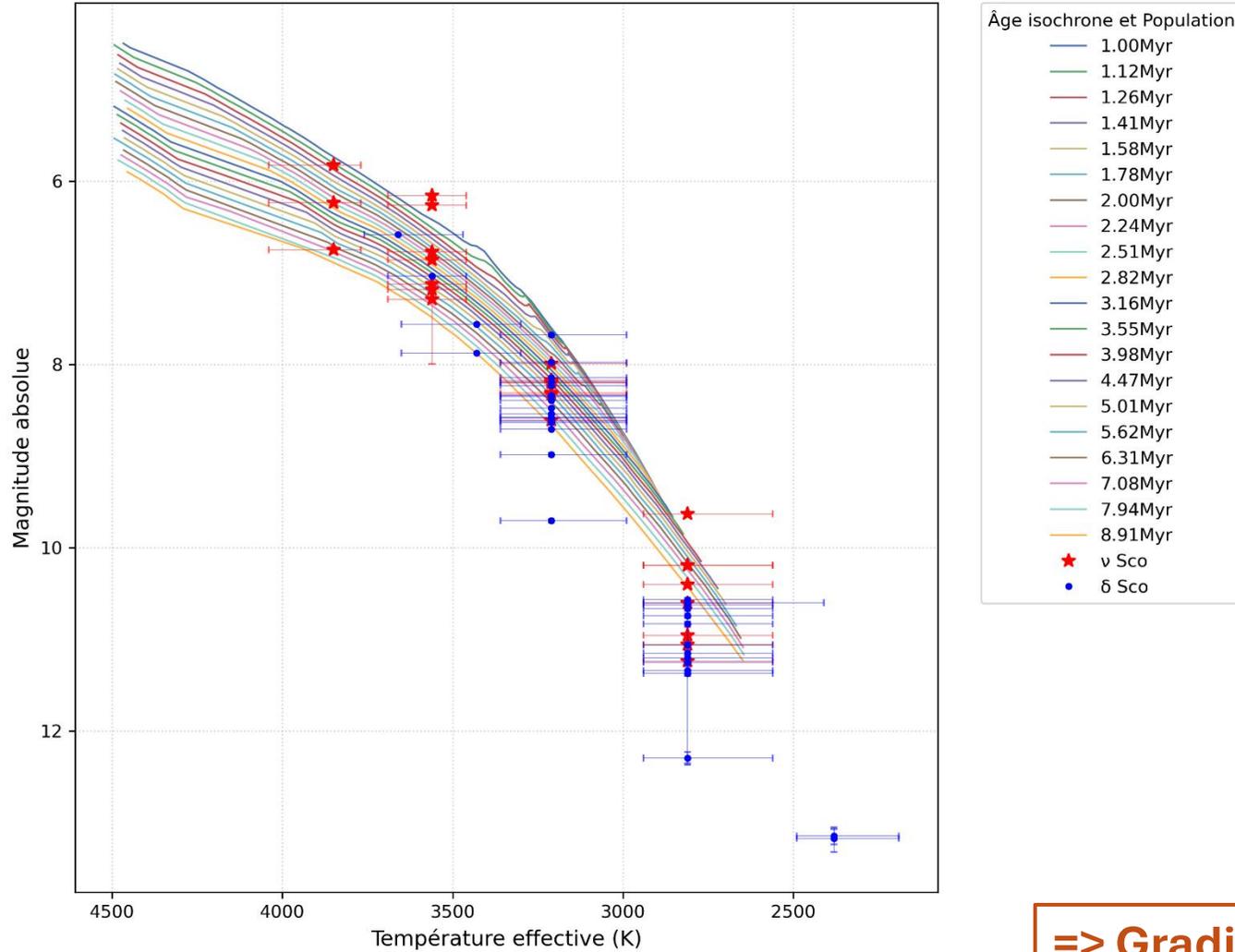
$$M_{sup} = (m - A_{G16}) - 5 * \log_{10}(d_{16}) + 5$$

$$\sigma_{M_{inf}} = \sqrt{(M - M_{inf})^2 + \sigma_m^2}$$

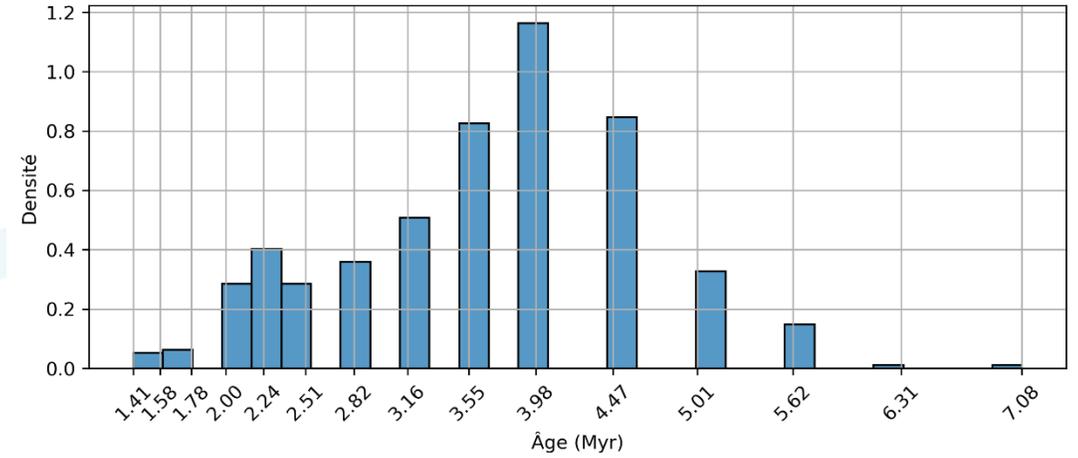
$$\sigma_{M_{sup}} = \sqrt{(M - M_{sup})^2 + \sigma_m^2}$$

3. Estimation de l'âge par ajustement d'isochrones : Résultats

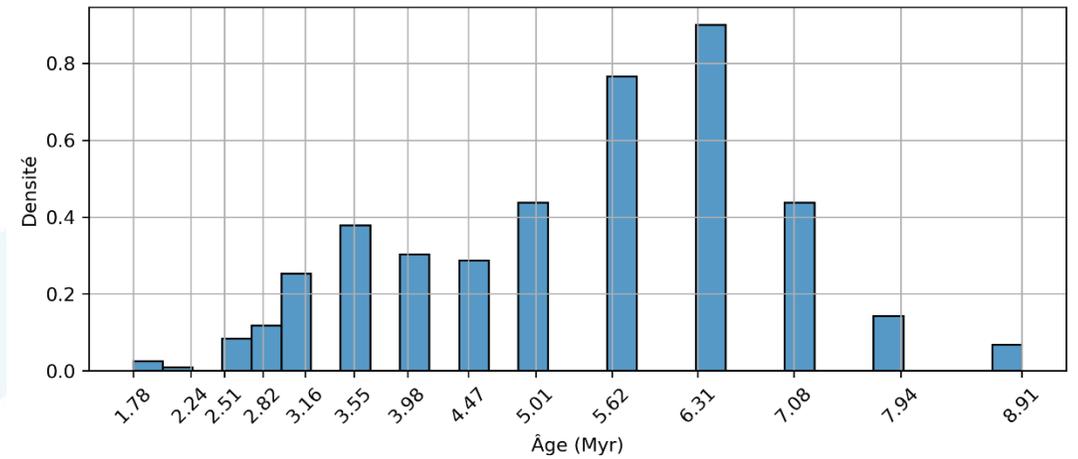
Diagramme de Hertzsprung-Russell — Modèles isochrones [4]



Distribution des âges ajustés (Monte Carlo)
 ν Sco



Distribution des âges ajustés (Monte Carlo)
 δ Sco



=> Gradient d'âge : δ Sco plus ancien que ν Sco

4. Étude de la raie H α

- Accrétion des jeunes étoiles => ionisation H

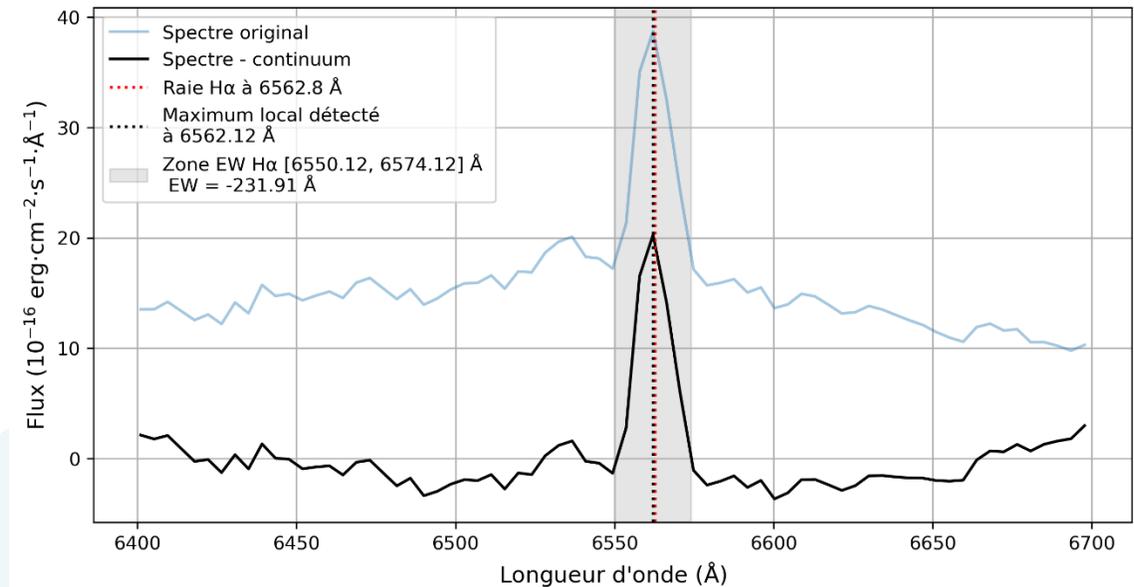
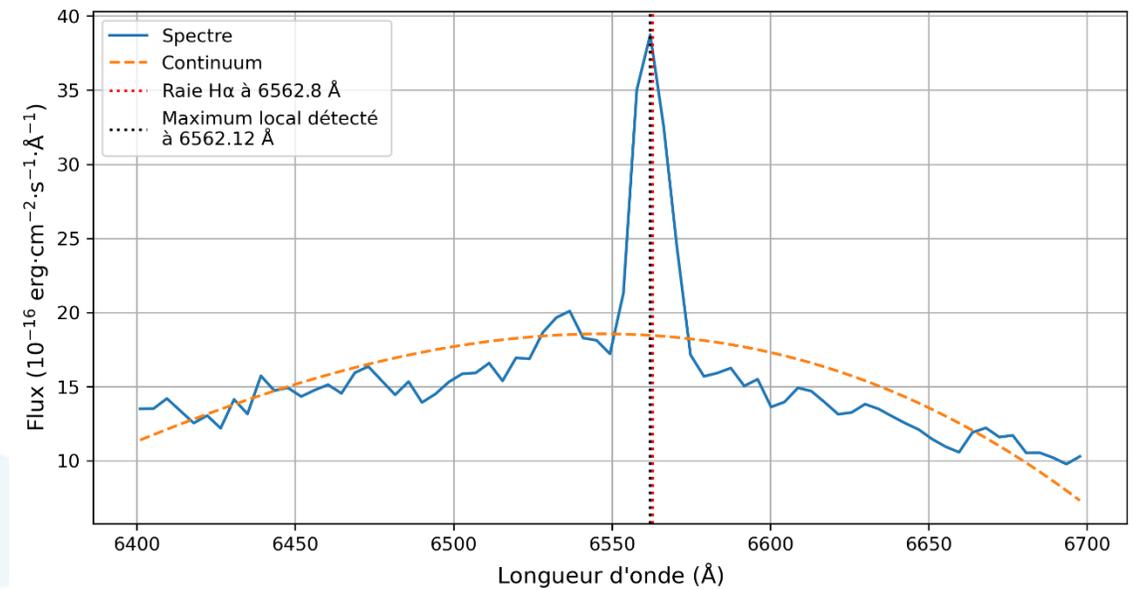
- Recombinaison : transition série Balmer :

$$n = 3 \rightarrow 2 : \text{photon } \lambda = 6562.8 \text{ \AA}$$

- Loi empirique de David Barrodo Y Navascuès et Eduardo L. Martin (2003) [5]:

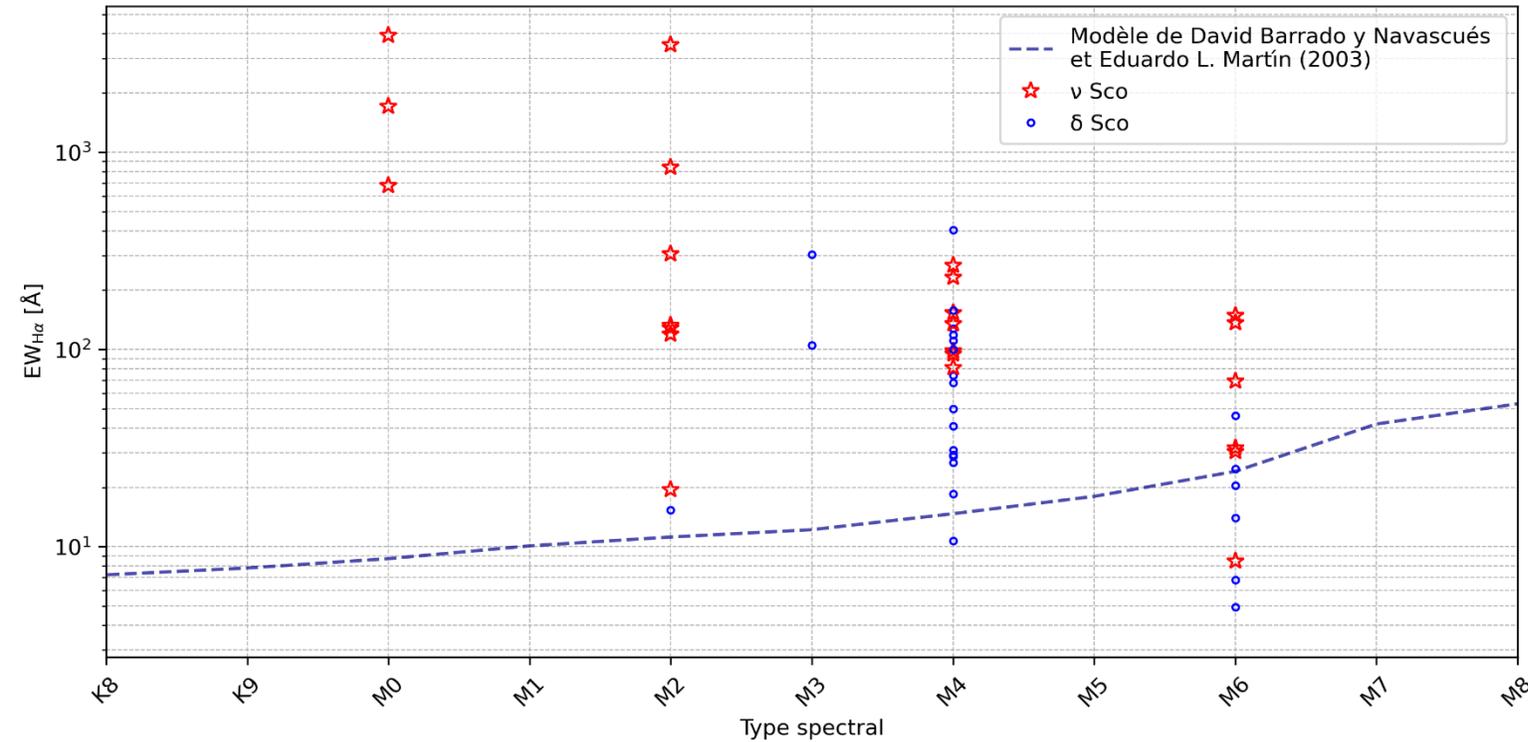
→ **étoiles accrétantes** en fonction du **type spectral** et de la **largeur équivalente** de la raie H α

- Largeur équivalente : $EW = \int \left(1 - \frac{F_\lambda}{F_0}\right) d\lambda$



Graphiques illustrant la méthode de calcul de EW

4. Étude de la raie H α



- **ν Sco : 85% d'étoiles accrétantes**
 - **δ Sco : 54% d'étoiles accrétantes**
- => Gradient d'âge confirmé**

Graphique largeur équivalente H α en fonction du type spectral, avec la ligne de séparation empirique entre objets accrétants et non accrétants

Conclusion et bilan personnel

- Processus complexe de la réduction des données brutes
- Estimation de l'âge par ajustement d'isochrones :
 - Type spectral : bibliothèque de spectres de référence / Extinction interstellaire / Minimisation χ^2 / Monte Carlo / incertitudes conservatrices
 - Diagramme HR : gradient d'âge qualitatif / âge quantitative à interpréter avec prudence
- Etude de la raie H α : confirmation du gradient d'âge
- Perspectives :
 - Affiner les incertitudes
 - Affiner l'étude quantitative de l'âge
 - Suite de l'étude : analyse de la gravité de surface



Merci pour votre attention !



Unité de formation
Physique / université
de BORDEAUX

Par Noémie Voulgre



Références

- [1] Ratzenböck et al. (2023), *The age map of Sco-Cen: Reconstructing the star formation history of the nearest OB association*, *Astronomy & Astrophysics*, 672, A55
- [2] Miret-Roig, Bouy, H., et al. (2022), *Revealing the star formation history of Upper Scorpius and Ophiuchus with Gaia and APOGEE*, *Astronomy & Astrophysics*, 658, A114
- [3] Edward L. Fitzpatrick (1999), *Correcting for the Effects of Interstellar Extinction*, *Astronomical Society of the Pacific*, 111, 755, 63
- [4] Isabelle Baraffe et al. (2015), *New evolutionary models for pre-main sequence and main sequence low-mass stars down to the hydrogen-burning limit*, *Astronomy & Astrophysics*, 577, A42
- [5] David Barrado y Navascués et Eduardo L. Martín (2003), *An Empirical Criterion to Classify T Tauri Stars and Substellar Analogs Using Low-Resolution Optical Spectroscopy*, *The Astronomical Journal*, 126(6), 2997–3005.
- [6] Fabrice Herpin (2024–2025), *Cours d'évolution stellaire M1*, Université de Bordeaux
- [7] Bouy, H., Barrado y Navascués, D., et al. (2015), *SPEXtractor User's Manual*

