



# ÉTUDE DE SPECTRES INFRAROUGES DE GÉANTES ROUGES ÉVOLUÉES

---

Margaux Vandererven

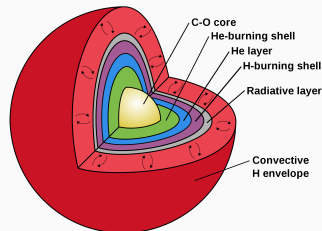
Supervisé par Sophie Van Eck

# Étoiles de type S & étoiles à baryum

$T_{\text{eff}}$  étoiles S  $\sim T_{\text{eff}}$  étoiles K et M

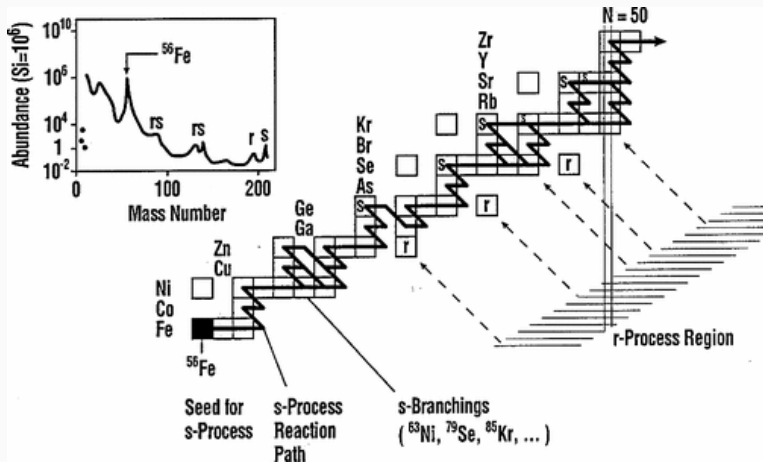
Bandes ZrO & enrichissement en éléments s

- de type S intrinsèques (Tc rich)
- de type S extrinsèques (Tc poor)
- à baryum



*Structure interne d'une étoile AGB. Tiré de Persson 2014.*

# Processus s



(Käppeler et al. 2011.)

+ de 50% éléments plus lourds que le fer

Spectre infrarouge :

IGRINS (Immersion GRating INfrared Spectrometer)

Haute résolution :  $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \sim 45000$

- Bande H (1.45 - 1.80  $\mu m$ )
- Bande K (2.05 - 2.50  $\mu m$ )

Correction :

Réduction, correction tellurique, première normalisation par Chris Sneden.

Seconde normalisation et correction redshift par moi-même.

Étoile	Type spectral	$T_{\text{eff}}$ (K)	$\log g$ ( $\text{cm s}^{-2}$ )	$\xi_{\text{micro}}$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	[Fe/H] (dex)
HD 60197	K3.5III:Ba3.5	$3800 \pm 50^{(3)}$	$2.00 \pm 0.50^{(3)}$	$2.00^{(3)}$	$-0.60 \pm 0.20^{(3)}$
HD 63733	S3.5/3	$3700^{(1)}$	$1.00^{(1)}$	-	$-0.10 \pm 0.13^{(1)}$
CR Cir	S6,2	-	-	-	-
HD 123949	K1pBa	$4378 \pm 80^{(3)}$	$1.78 \pm 0.53^{(3)}$	$1.37^{(3)}$	$-0.31 \pm 0.13^{(3)}$
BD-22°1742	S3:*3	$4000^{(1)}$	$1.00^{(1)}$	-	$-0.30 \pm 0.09^{(1)}$
CD-29°5912	S4,4	$3600^{(4)}$	$1.00^{(4)}$	-	$-0.40 \pm 0.22^{(4)}$
BD-18°2608	S	$3500^{(2)}$	$1.00^{(2)}$	-	$-0.31 \pm 0.16^{(2)}$
HD 116869	G8III:Ba1	$4892 \pm 30^{(3)}$	$2.59 \pm 0.07^{(3)}$	$1.38 \pm 0.04^{(3)}$	$-0.44 \pm 0.09^{(3)}$
HD 120620	K0III (Ba <sup>(3)</sup> )	$4831 \pm 13^{(3)}$	$3.03 \pm 0.30^{(3)}$	$1.11 \pm 0.05^{(3)}$	$-0.30 \pm 0.10^{(3)}$
HD 121447	K4III <sup>(3)</sup> (Ba <sup>(3)</sup> )	$4000 \pm 50^{(3)}$	$1.00 \pm 0.50^{(3)}$	$2.00^{(3)}$	$-0.90 \pm 0.13^{(3)}$
HD 100503	G/KpBa	$4000 \pm 50^{(3)}$	$2.00 \pm 0.50^{(3)}$	$2.00^{(3)}$	$-0.72 \pm 0.13^{(3)}$
HD 119185	G8IIIpBa	-	-	-	-
HD 88562	K1III (Ba <sup>(3)</sup> )	$4000 \pm 50^{(3)}$	$2.00 \pm 0.50^{(3)}$	$2.00^{(3)}$	$-0.53 \pm 0.12^{(3)}$
V812 Oph	S5+/2.5	$3500^{(2)}$	$1.00^{(2)}$	-	$-0.37 \pm 0.13^{(2)}$
19 Aql	F0III-IV	-	-	-	-
V915 Aql	S5+/2	$3400^{(1)}$	$0.00^{(1)}$	-	$-0.50 \pm 0.15^{(1)}$
HD 165774	S4,6	-	-	-	-

**Références.** <sup>(1)</sup>Shetye et al. 2018, <sup>(2)</sup>Shetye et al. 2021, <sup>(3)</sup>Karinkuzhi et al. 2018, <sup>(4)</sup>Shetye et al. 2019

## **TurboSpectrum v20**

- code qui résoud l'équation de transfert radiatif avec méthode Feautrier
- à la fois dans l'approximation ETL et non-ETL
- à la fois pour la géométrie plan-parallèle ( $\log g > 3.5$ ) et sphérique ( $\log g < 3.5$ )
- élargissement : profil de Voigt, effet Stark linéaire, théorie ABO

## **MARCS**

- Model Atmospheres with a Radiative and Convective Scheme
- 1D à équilibre hydrostatique
- convection implémentée par théorie de longueur de mélange
- turbulences implémentées par paramètres simples (micro et macro-turbulence)

→ Minimisation  $\chi^2$  entre spectres synthétiques et spectre observé

# Contributions moléculaires

	Molécules	Bande H (%)	Bande K (%)
<b>Cat. I</b> (> 10%)	$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$	55.14	44.35
	$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$	32.00	14.51
	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$	75.33	72.01
	HF	17.79	57.16
	$^{12}\text{C}^{12}\text{C}$	32.97	30.73
	$^{12}\text{C}^{13}\text{C}$	14.12	12.26
	$^{12}\text{CH}$	4.68	10.68
	$^{16}\text{OH}$	59.68	31.59
<b>Cat. II</b> (1-10%)	$^{13}\text{C}^{13}\text{C}$	7.84	3.51
	$^{13}\text{C}^{17}\text{O}$	0.04	1.96
	$^{56}\text{FeH}$	3.12	0.08
	$^{14}\text{NH}$	1.57	1.23
	$\text{H}_2\text{O}$	1.75	6.80

**Cat. III** (< 1%) :  $^{13}\text{CH}$ ,  $^{14}\text{NH}$ ,  $^{48}\text{TiO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $^{20}\text{CaH}$ ,  $^{28}\text{SiH}$ ,  $^{28}\text{SiO}$ ,  $\text{VO}$ ,  $\text{YO}$ ,  $^{48}\text{TiO}$ ,  $^{24}\text{MgH}$ ,  $\text{AlH}$ ,  $^{52}\text{CrH}$ ,  $\text{H}^{12}\text{CN}$ ,  $\text{H}^{13}\text{CN}$ ,  $^{90-94}\text{ZrO}$  et  $^{96}\text{ZrO}$

# Abondances C, N, O

Itération sur les abondances de C, N, O jusqu'à convergence

$\log \varepsilon_O$	$\log \varepsilon_C$	$\log \varepsilon_N$	$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$	Raie
$8.59 \pm 0.01$	8.44	7.38	40	$^{16}\text{OH}$
8.59	$7.82 \pm 0.03$	7.38	40	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$
8.59	7.82	7.38	20	$^{13}\text{C}^{17}\text{O}$
$8.30 \pm 0.02$	7.82	7.38	20	$^{16}\text{OH}$
8.30	$7.89 \pm 0.02$	7.38	20	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$
$8.33 \pm 0.02$	7.89	7.38	20	$^{16}\text{OH}$
8.33	$7.86 \pm 0.03$	7.38	20	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$
8.33	7.86	$7.84 \pm 0.02$	20	$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$
8.33	7.86	7.84	12	$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$
$8.31 \pm 0.01$	7.86	7.84	12	$^{16}\text{OH}$
8.31	$7.88 \pm 0.03$	7.84	12	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$
8.31	7.88	$7.84 \pm 0.02$	12	$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$



# Paramètres stellaires

Paramètre	Détermination	Ce travail	Littérature
$[Fe/H]$	abondance de fer	-0.25 dex	-0.30 dex
$T_{\text{eff}}$	respect de l'équation de Boltzmann $\rightarrow$ abondance d'un élément ne varie pas en fonction du potentiel d'excitation	$4000 \pm ?$ K	4000 K
$\log g$	respect de l'équation de Saha $\rightarrow$ abondance identique pour l'élément neutre et ses différents états d'ionisation	to do Ti lines	$1.00 \text{ km s}^{-1}$

## Paramètres stellaires suite

Paramètre	Détermination	Ce travail	Littérature
log g	isochrones (estimer âge)	1.04	1.00
	tracés évolutifs (estimer masse)	to do	1.00
	ailes raies fortes	0.31	1.00
$\xi_{\text{micro}}$	abondance ne varie pas en fonction de la largeur équivalente réduite	à vérifier	

# Raies atomiques

	Élément	Nb. raies
Éléments pic du fer	Sc I	115
	Ti I	63
	Ti II	7
	V I	76
	Cr I	20
	Mn I	55
	Fe I	81
	Co I	69
	Ni I	58
Éléments- $\alpha$	Mg I	12
	Si I	13
	Ca I	5

	Élément	Nb. raies
Éléments Z impaire	Na I	19
	Al I	7
	K I	5
Éléments s	Cu I	5
	Y I	17
	Zr I	2
	Ba I	2
	Ce II	9
	Ce III	2
	Nd II	7
	Yb II	2

# La suite ?

- finir détermination paramètres stellaires
- comparaison avec abondances déterminées dans le visible à partir de spectre HERMES
- détermination d'abondances d'éléments lourds ETL et non-ETL
  - besoin de listes non-ETL
  - besoin d'interpoler modèles et coefficients d'écarts non-ETL
- comparaison profil d'abondances avec modèles de nucléosynthèse
- analyse d'une autre étoile ?