



ÉTUDE DE SPECTRES INFRAROUGES DE GÉANTES ROUGES ÉVOLUÉES

Margaux Vandererven

Supervisé par Sophie Van Eck

Étoiles de type S & étoiles à baryum

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

Bandes ZrO & enrichissement en éléments s

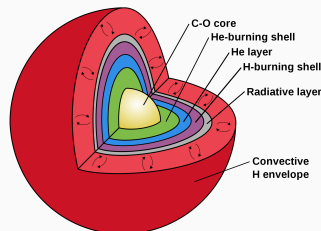
- de type S intrinsèques (Tc rich) :



- de type S extrinsèques (Tc poor)

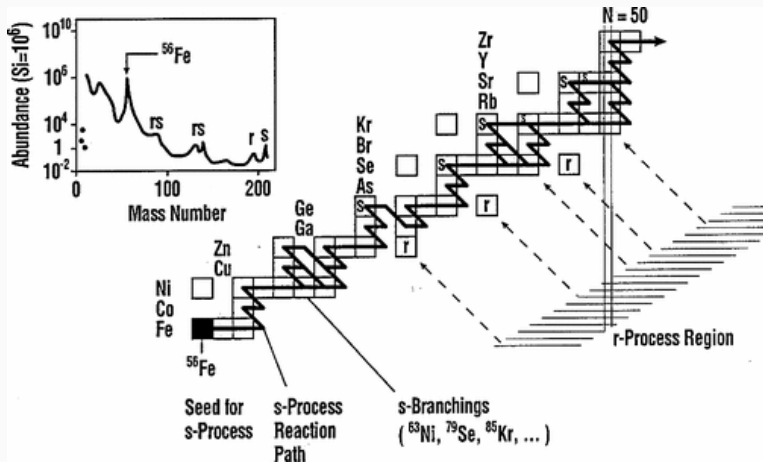
T_{eff} étoiles à baryum $\sim T_{\text{eff}}$ étoiles G-K

Enrichissement en éléments s



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 μm)
- Bande K (2.05 - 2.50 μm)

Correction :

Réduction, correction tellurique, première normalisation par Chris Sneden.

Seconde normalisation et correction redshift par moi-même.

Étoile	Type spectral	T_{eff} (K)	$\log g$ (cm s^{-2})	ξ_{micro} (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 ⁽³⁾)	$4831 \pm 13^{(3)}$	$3.03 \pm 0.30^{(3)}$	$1.11 \pm 0.05^{(3)}$	$-0.30 \pm 0.10^{(3)}$
HD 121447	K4III ⁽³⁾ (Ba ⁽³⁾)	$4000 \pm 50^{(3)}$	$1.00 \pm 0.50^{(3)}$	$2.00^{(3)}$	$-0.90 \pm 0.13^{(3)}$
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 ⁽³⁾)	$4000 \pm 50^{(3)}$	$2.00 \pm 0.50^{(3)}$	$2.00^{(3)}$	$-0.53 \pm 0.12^{(3)}$
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. ⁽¹⁾Shetye et al. 2018, ⁽²⁾Shetye et al. 2021, ⁽³⁾Karinkuzhi et al. 2018, ⁽⁴⁾Shetye et al. 2019

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)

TurboSpectrum v20

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

→ Minimisation χ^2 entre spectres synthétiques et spectre observé

Contributions moléculaires

	Molécules	Bande H (%)	Bande K (%)
Cat. I (> 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}CH	4.68	10.68
	^{16}OH	59.68	31.59
Cat. II (1-10%)	$^{13}\text{C}^{13}\text{C}$	7.84	3.51
	$^{13}\text{C}^{17}\text{O}$	0.04	1.96
	^{56}FeH	3.12	0.08
	^{14}NH	1.57	1.23
	H_2O	1.75	6.80

Cat. III (< 1%) : ^{13}CH , ^{14}NH , ^{48}TiO , C_2H_2 , HCl , ^{20}CaH , ^{28}SiH , ^{28}SiO , VO , YO , ^{48}TiO , ^{24}MgH , AlH , ^{52}CrH , H^{12}CN , H^{13}CN , $^{90-94}\text{ZrO}$ et ^{96}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 ± 0.01	8.44	7.38	40	^{16}OH
8.59	7.82 ± 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 ± 0.02	7.82	7.38	20	^{16}OH
8.30	7.89 ± 0.02	7.38	20	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$
8.33 ± 0.02	7.89	7.38	20	^{16}OH
8.33	7.86 ± 0.03	7.38	20	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$
8.33	7.86	7.84 ± 0.02	20	$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$
8.33	7.86	7.84	12	$^{13}\text{C}^{14}\text{N}$
8.31 ± 0.01	7.86	7.84	12	^{16}OH
8.31	7.88 ± 0.03	7.84	12	$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$
8.31	7.88	7.84 ± 0.02	12	$^{12}\text{C}^{14}\text{N}$

organigramme

Paramètres stellaires

Paramètre	Détermination	Infrarouge	Visible	Littérature
[Fe/H] (dex)	abondance de fer	-0.25 ± 0.10		-0.30
T_{eff} (K)	respect de l'équation de Boltzmann → abondance d'un élément ne varie pas en fonction du potentiel d'excitation	4000 ± 125		4000

Paramètres stellaires suite

Paramètre	Détermination	Infrarouge	Visible	Littérature
log g	respect de l'équation de Saha → abondance identique pour l'élément neutre et ses différents états d'ionisation	to do Ti lines		1.00 km s ⁻¹
	isochrones (estimer âge)	1.04		1.00

Paramètres stellaires suite

Paramètre	Détermination	Infrarouge	Visible	Littérature
log g	tracés évolutifs (estimer masse)	to do		1.00
	ailes raies fortes	0.31		1.00
ξ_{micro}	abondance ne varie pas en fonction de la largeur équivalente réduite	to do		-

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- α	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

- 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