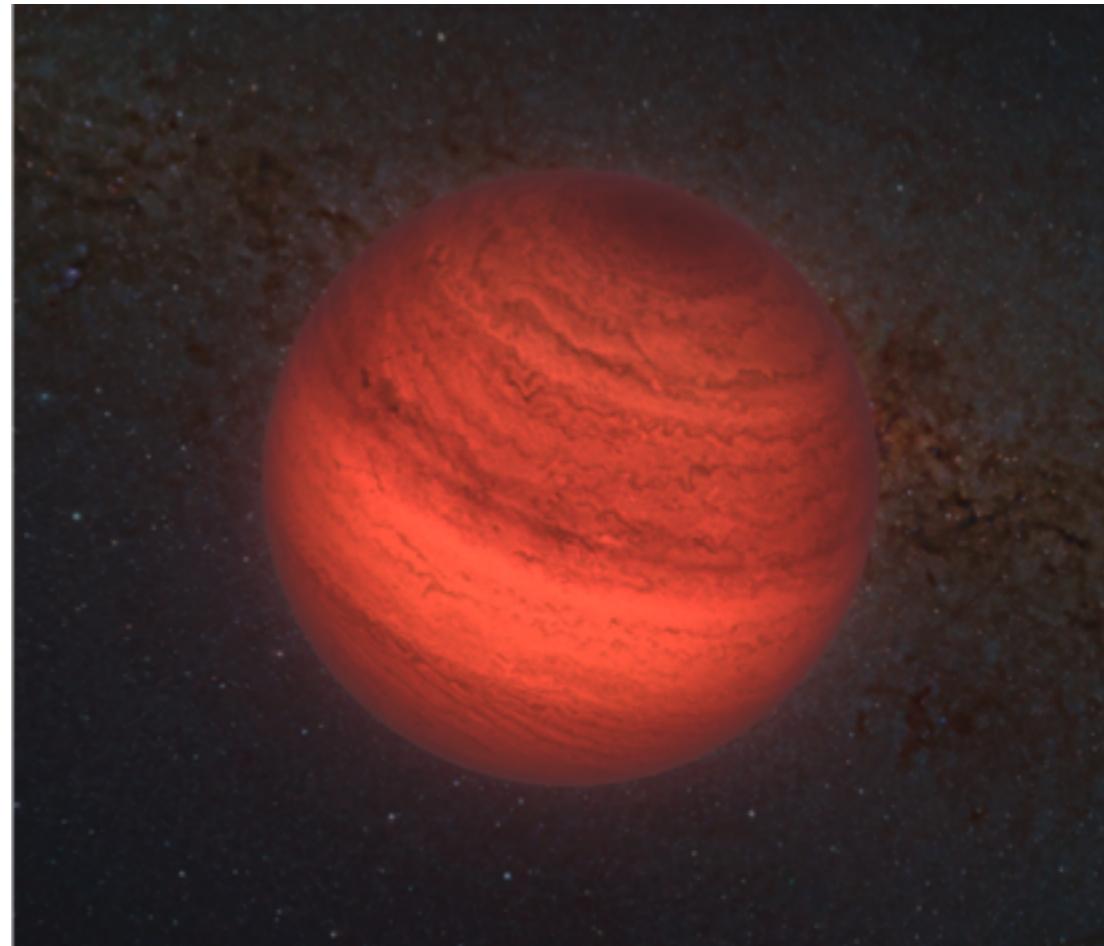


Étoiles de petite masse et naines brunes

Céline Reylé

Institut UTINAM, OSU THETA Franche-Comté-Bourgogne



Evry Schatzman School on Stellar Physics XXIII

Low-mass stars are the dominant stellar component of the Galaxy and are important probes for understanding the Galaxy. The prolongation of the star sequence towards cooler dwarfs leads to the brown dwarfs. The transition between stellar and substellar regime is not very well known and new processes occur at these low temperatures, such as the condensation of solids in clouds. This volume offers lectures given by world experts in this field during the Evry Schatzman School on Stellar Physics (EES) of the Programme National de Physique Stellaire, held in Septembre 2011 in Roscoff, France. It gives the status of our understanding of the cool dwarfs physics on the theoretical and observational sides. The latest results are reviewed and discussed extensively. Therefore we trust this book will be a valuable reference for researchers and students in the coming years.

- 1. Les modèles d'atmosphère des étoiles froides et des naines brunes**
- 2. La fonction de masse initiale aux petites masses, dans les amas, dans le champ**
- 3. Les modèles de formation stellaire et substellaire**
- 4. Le point de vue observationnel : recensement et caractérisation**
- 5. Champ magnétique, activité, métallicité**

ISBN: 9978-2-7598-0819-9
ISSN: 1633-4760

www.edpsciences.org

edp sciences

Evry Schatzman School on Stellar Physics XXIII – Low-Mass Stars and the Transition Stars/Brown Dwarfs

edp
57

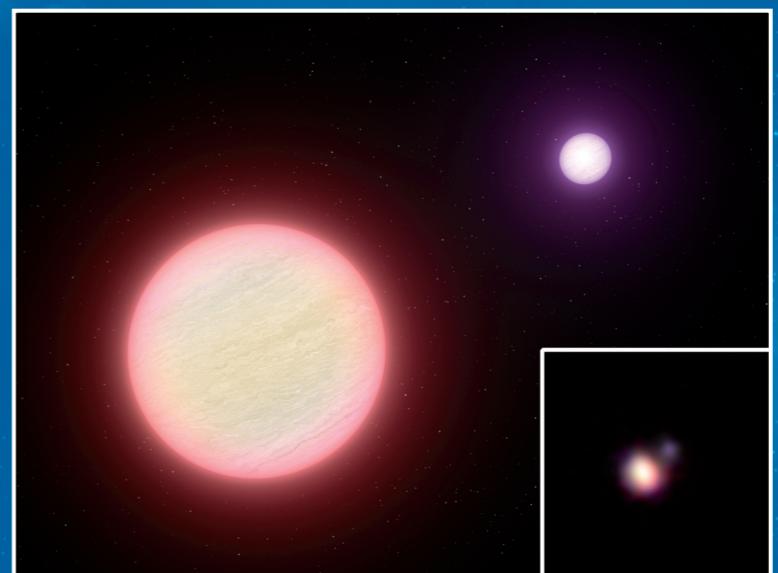
VOL. 57

edp sciences

Evry Schatzman School on Stellar Physics XXIII

Low-Mass Stars and the Transition Stars/Brown Dwarfs

Editors
C. Reylé, C. Charbonnel and M. Schultheis



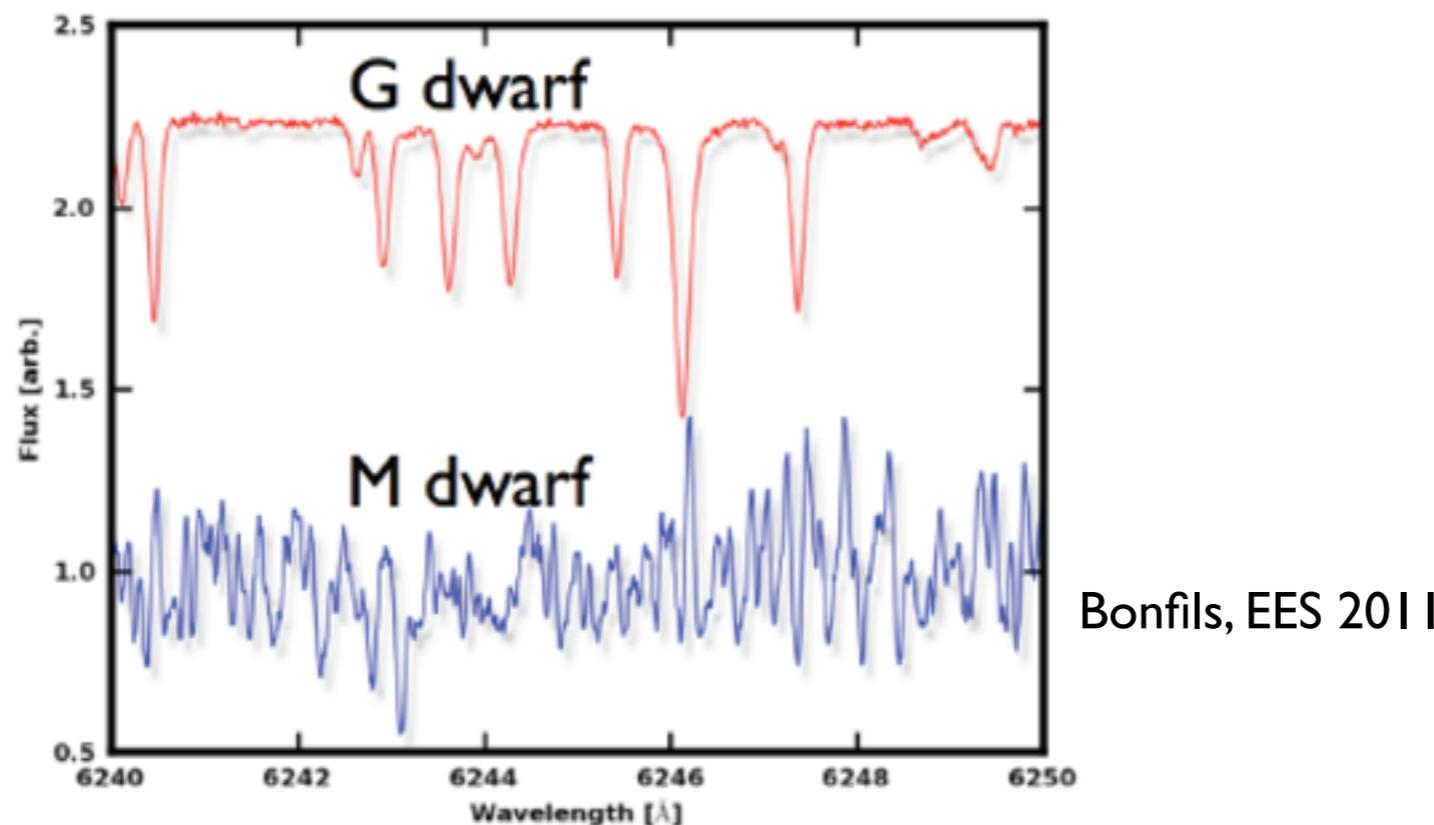
eas

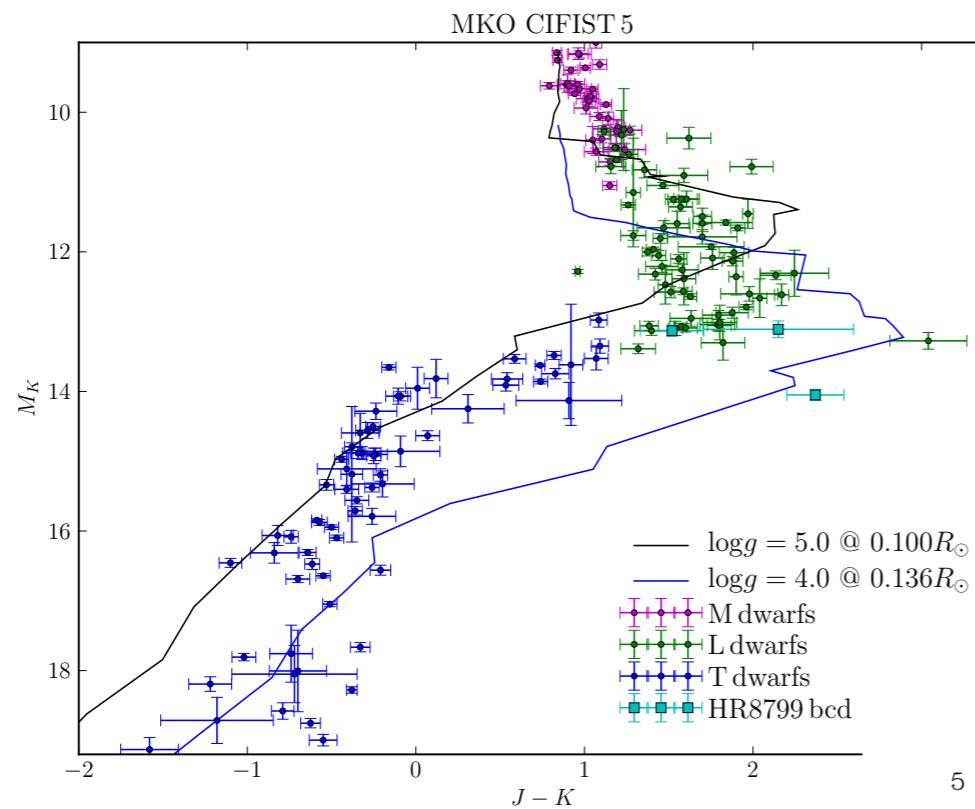
- Naines M, L, T, Y

Type d'objet	Soleil	Naine M	Naine L	Naine T	Naine Y	Jupiter
Température (K)	5800	4000-2300	2300-1300	1300-~600	~600-???	112
Gravité ($m.s^{-2}$)	275	480-2200	2200-2500	1000-2800	1000-~50	25
Diamètre	1	0.3-0.1	0.1-0.095	0.09-0.1	0.1-0.11	0.1
Luminosité	1	$0.08 \cdot 10^{-3.5}$	$10^{-3.5} \cdot 10^{-4.5}$	$10^{-4.5} \cdot 10^{-6}$	$10^{-6} \cdot ???$	$1.6 \cdot 10^{-13}$

Delorme, thèse 2008

- ~1500 naines brunes connues (dont 200 dans amas)



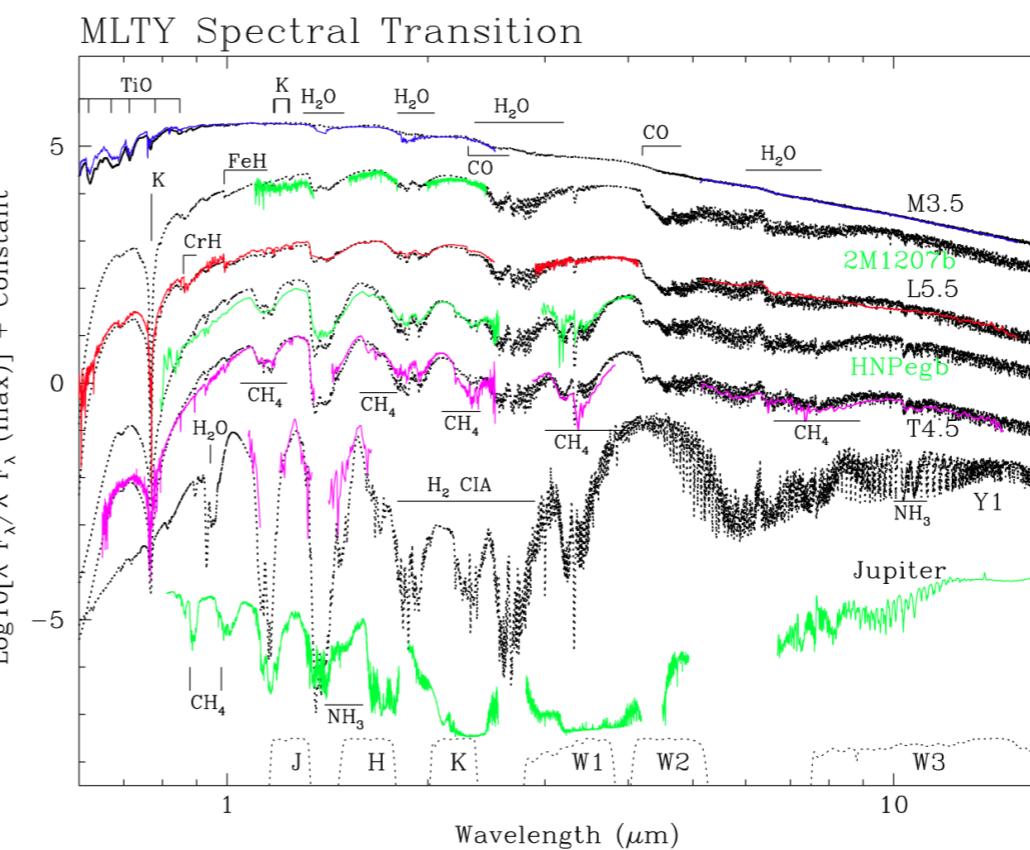


Peu de différence entre naines brunes et planètes imagées (dans l'IR)
Bonne compréhension des propriétés spectrales des naines brunes sur toute la SED

The BT-Settl Model Atmospheres

F.Allard, D. Homeier & B. Freytag

Abondances solaires révisées
Nouvelles opacités (eg TiO B. Plez)
(Asplund et al 2009, Caffau et al 2011)
Modèle de nuages

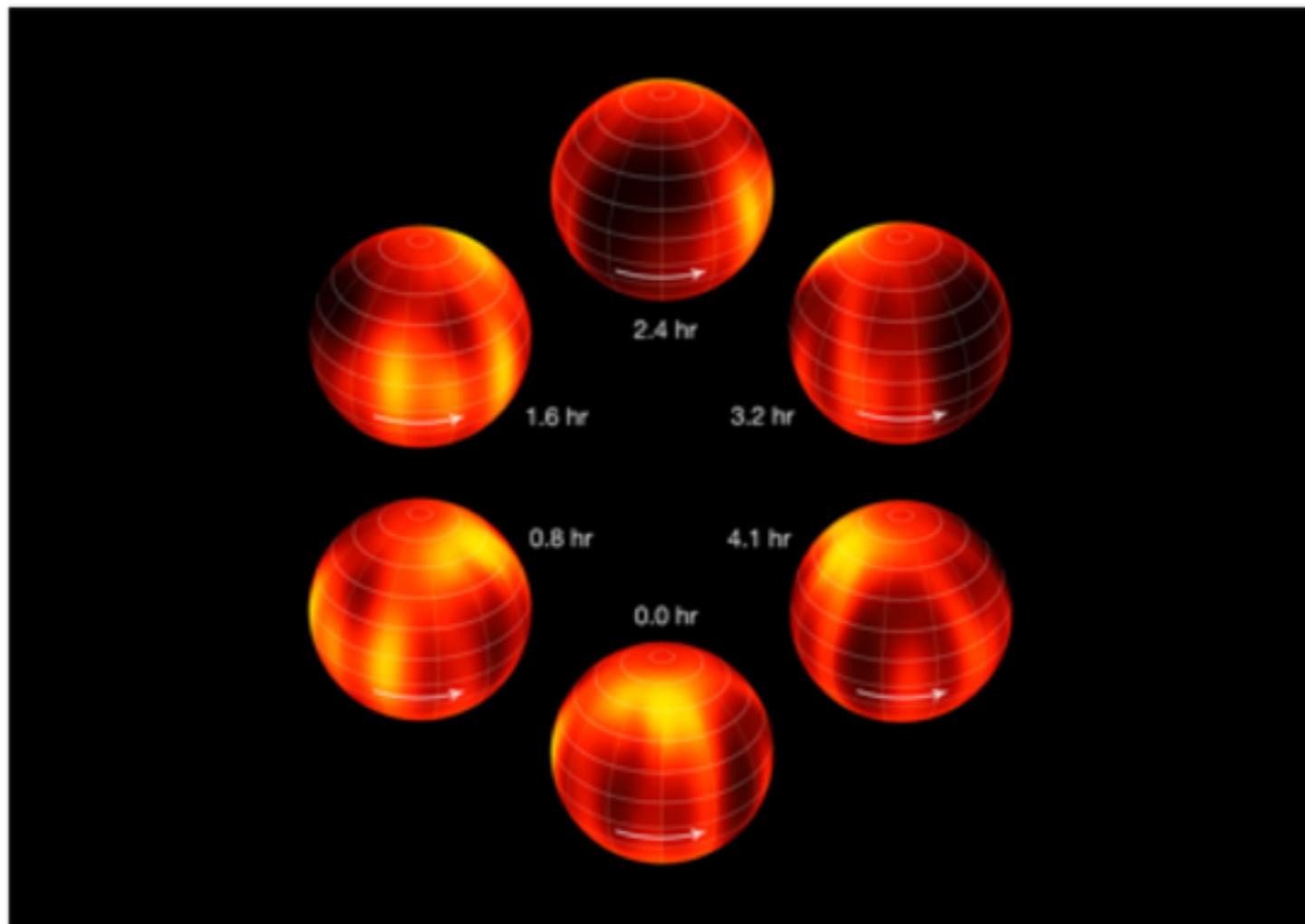


Premiers résultats de l'intérieur et évolution des naines étoiles de faible masse Baraffe et al. (2014).

Les modèles marchent bien !

Autres problèmes sous-jacents :

- météorologie des couches nuageuses
- chimie hors équilibre lorsque le temps caractéristique du mélange dans la photosphère devient plus court que celui de certaines réactions chimiques.

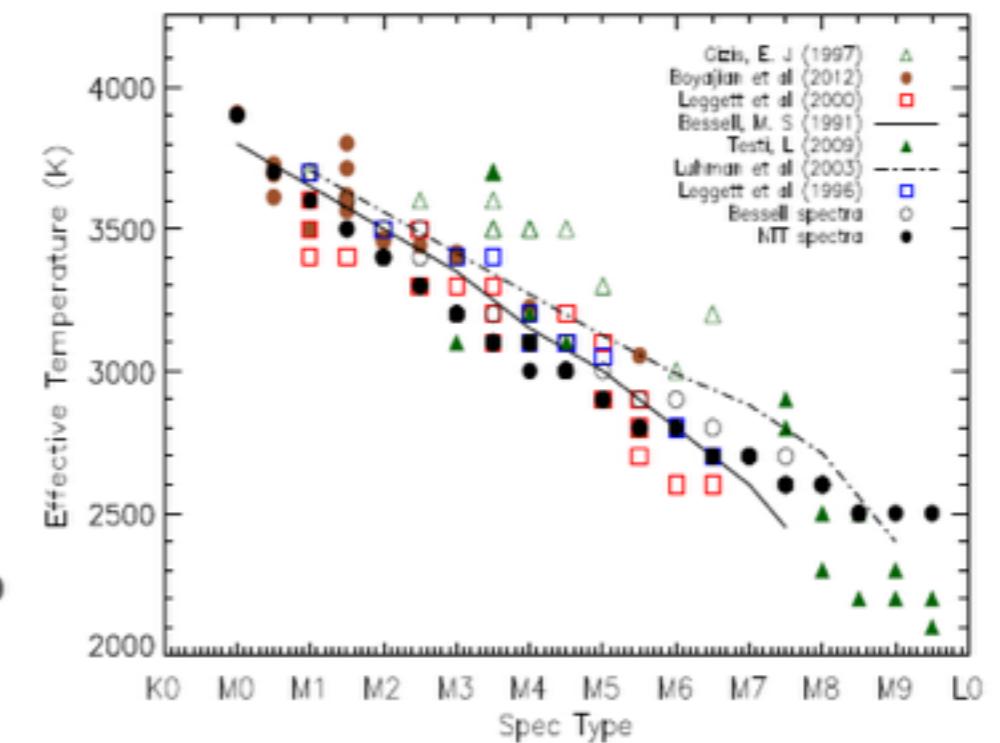
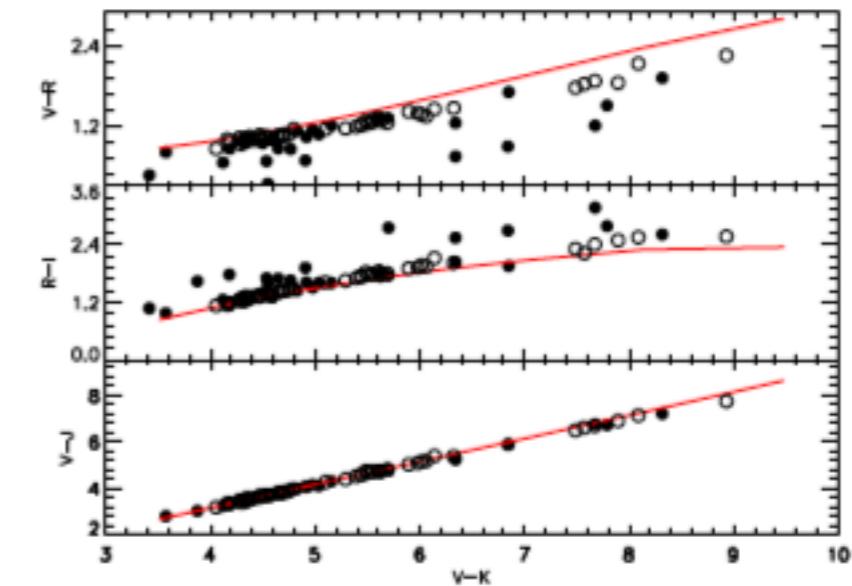
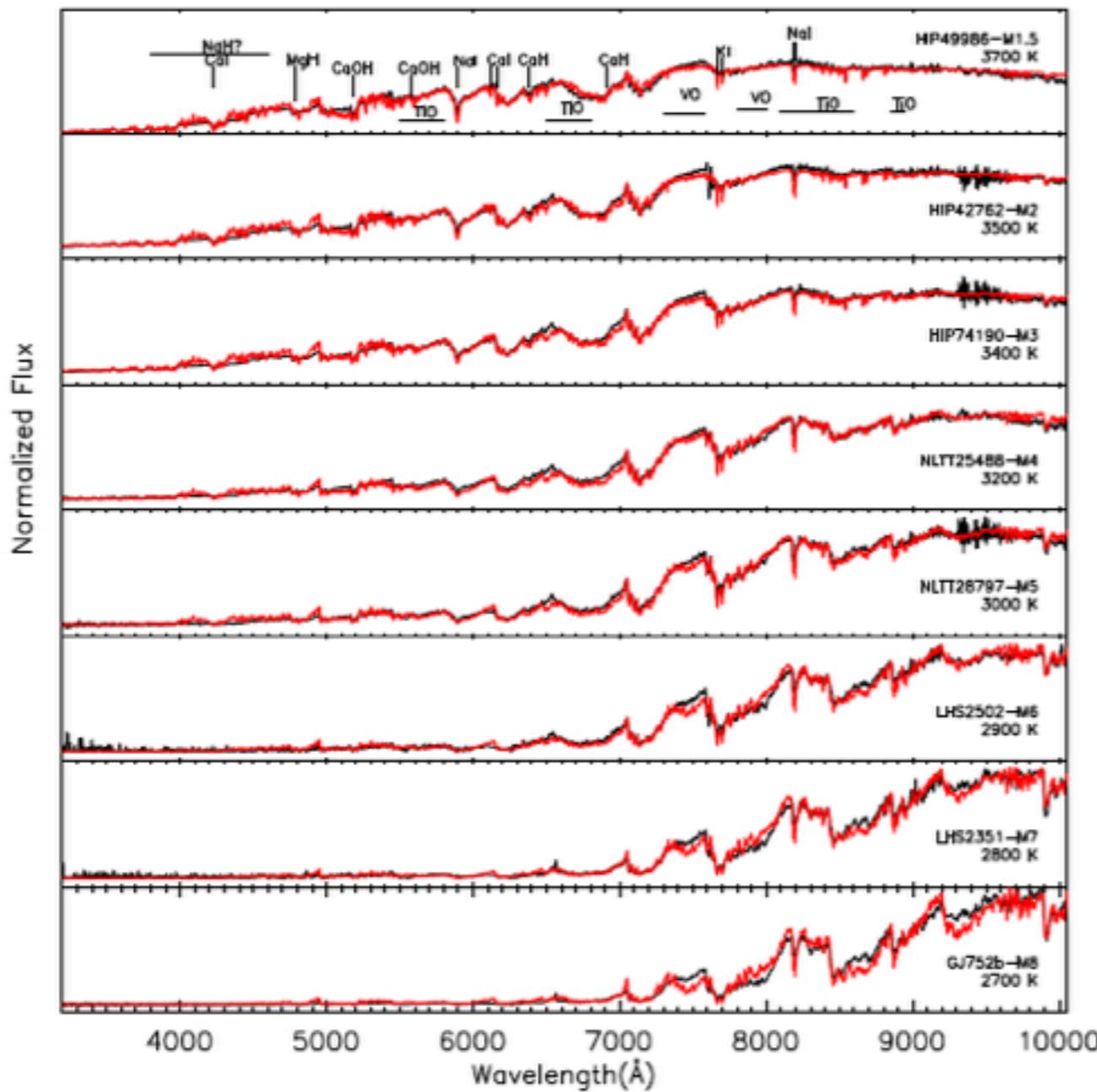


Une équipe internationale à laquelle ont participé des chercheurs du CNRS a utilisé le Very Large Telescope au Chili pour reconstituer la carte des zones claires et sombres qui parsèment la surface de Luhman 16B, la naine brune la plus proche du Soleil. La figure montre l'objet à six instants également répartis de sa rotation autour de son axe.

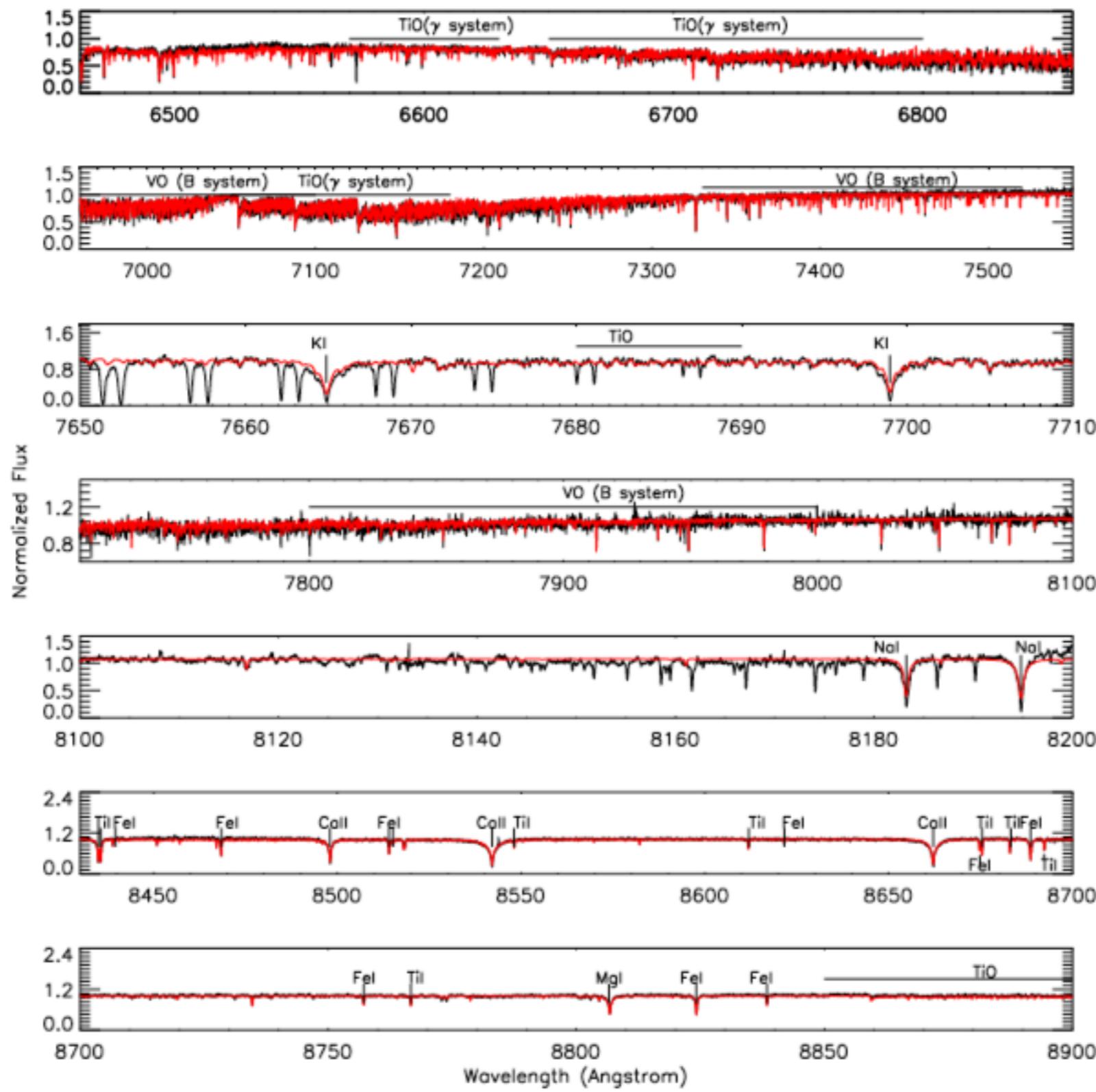
Les nouvelles informations obtenues sur Luhman 16B vont permettre en retour de contraindre et d'améliorer considérablement les modèles de l'atmosphère des planètes extrasolaires

Crossfield et al (Bonnefoy, Allard, Homeier) Nature 2014

Validation des modèles



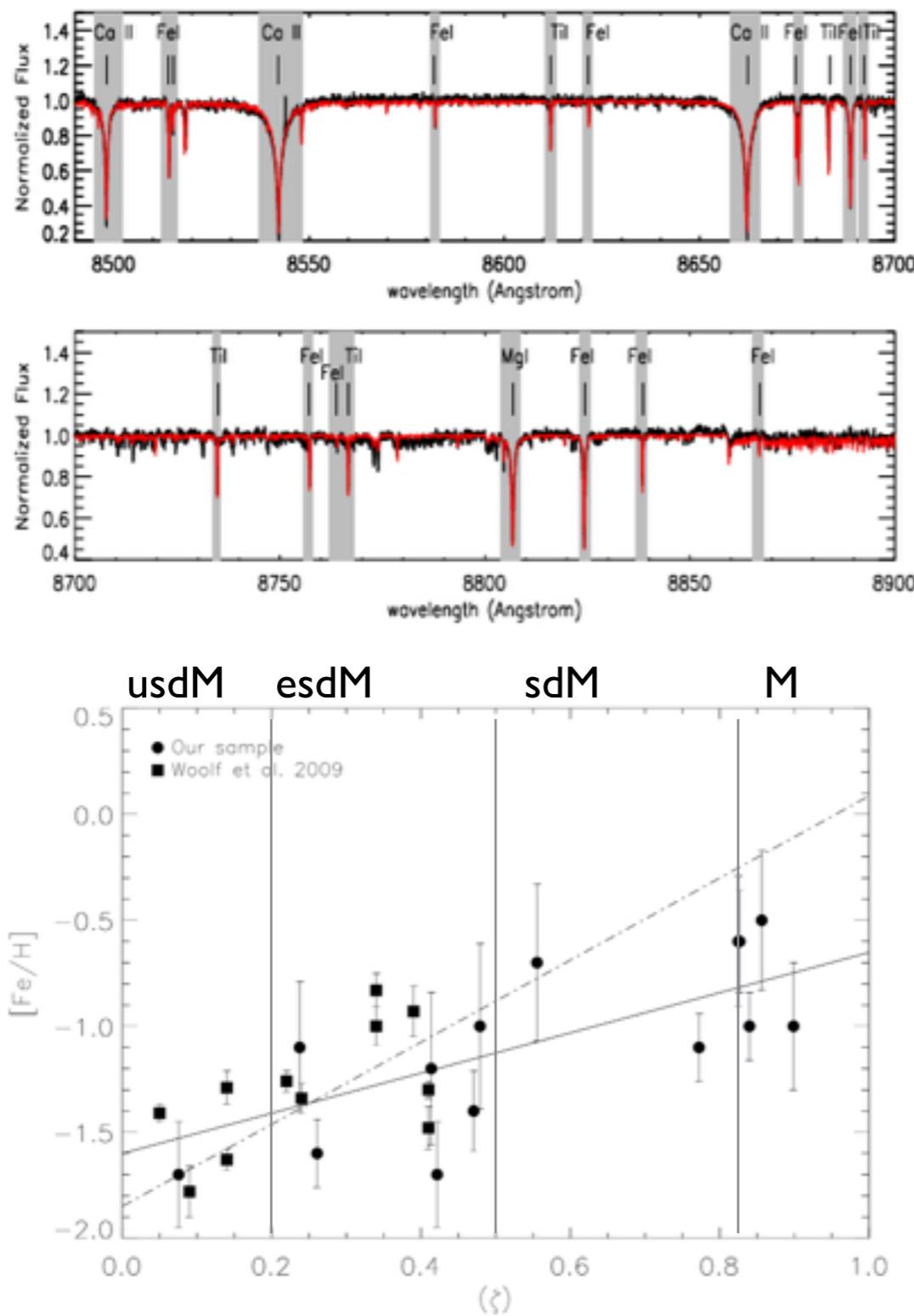
150 naines M (NTT, SSO) comparés aux
modèles BT-Settl (Allard 2012)
Rajpurohit et al 2013, thèse 2013



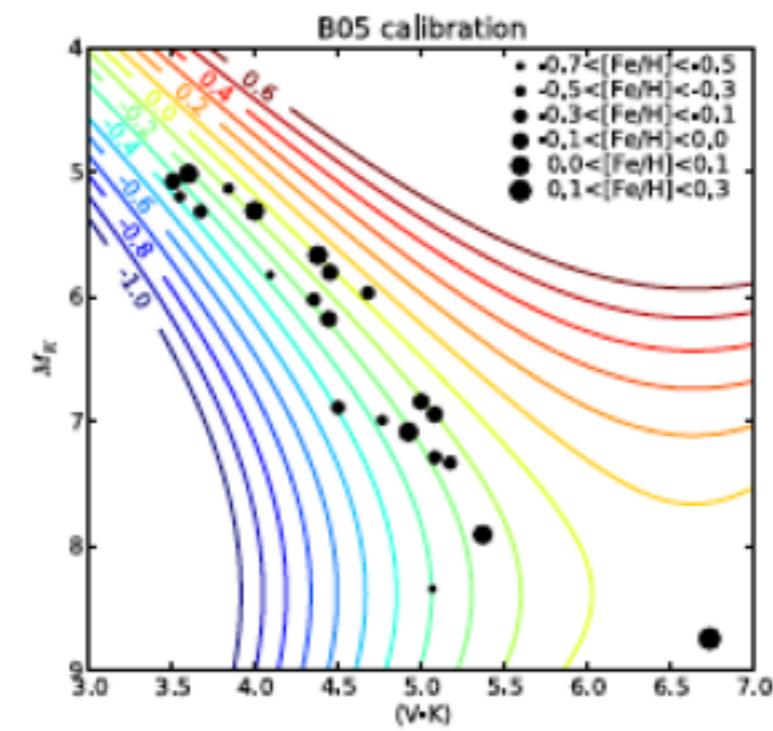
Atlas sur la séquence complète des sous-naines I8 sdM, esdM, usdM (UVES)

coll T. Masseron

Fig. 4: UVES spectra of the sdM1 star LHS 158 (black) compared to the best fit BT-Settl synthetic spectra (red).



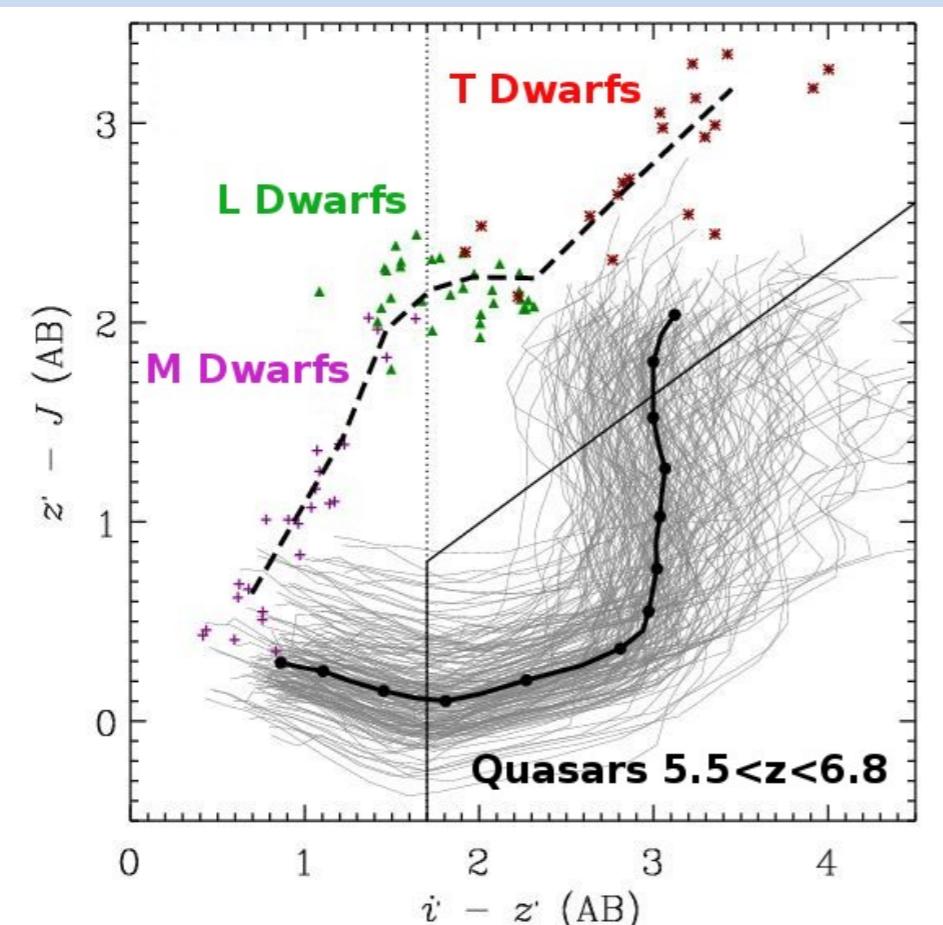
Calibration spectroscopique
Rajpurohit et al 2014 + thèse



FGK+M
Calibration photométrique
Bonfils et al 2005
Neves et al 2012 + thèse

How do we find them: CFBDS, a wide field survey for brown dwarfs

- => 800 square degrees in i' and z' , up to $z'=22.5$ in 5mn exposure time at CFHT
- => more than 30 000 000 astrophysical sources.



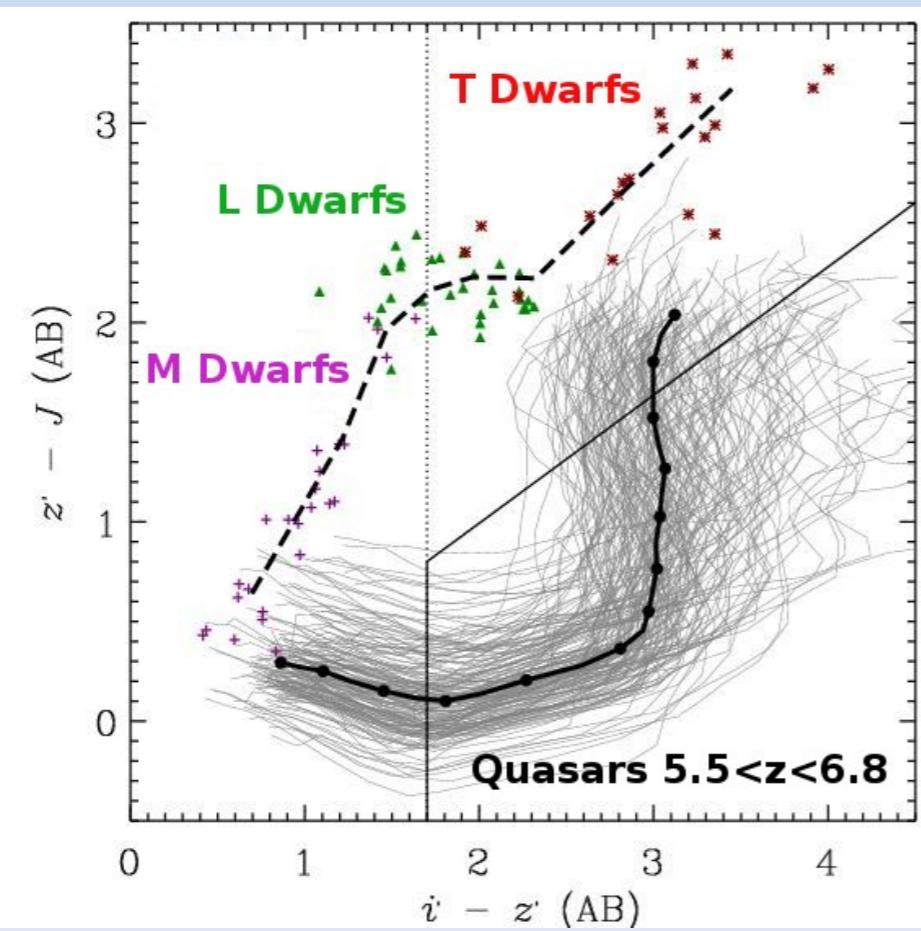
Selection of very red point-sources.
~50 nights of NIR follow-up
(NTT-3.6m)

**>300 L and T dwarfs
Quasars
collaboration
~20 quasars, redshift
>6**

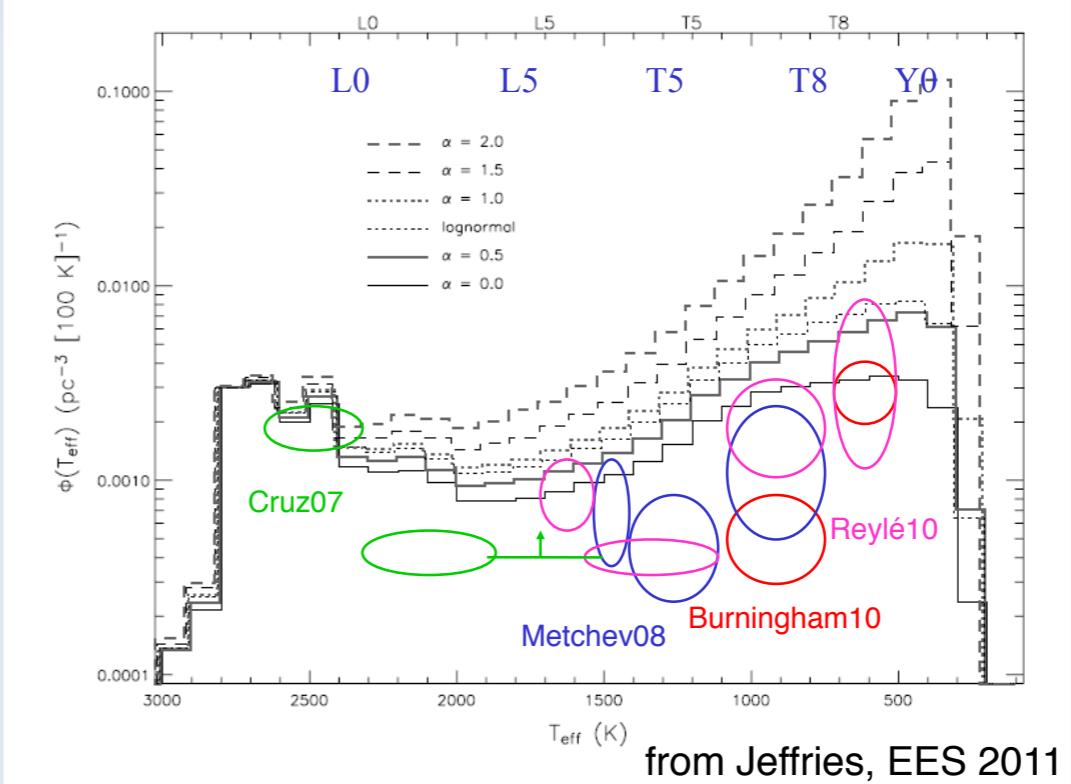
From Delorme et al, A&A, 2008b,

How do we find them: CFBDS, a wide field survey for brown dwarfs

- => 800 square degrees in i' and z' , up to $z'=22.5$ in 5mn exposure time at CFHT
- => more than 30 000 000 astrophysical sources.

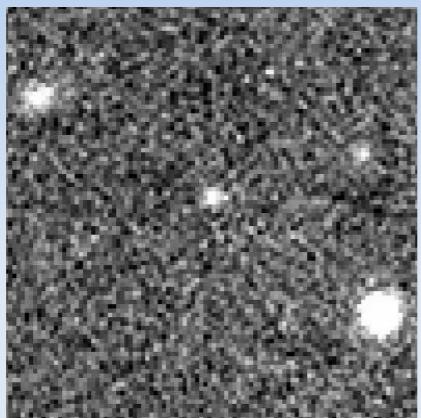


Selection of very red point-sources.



From Delorme et al, A&A, 2008b,

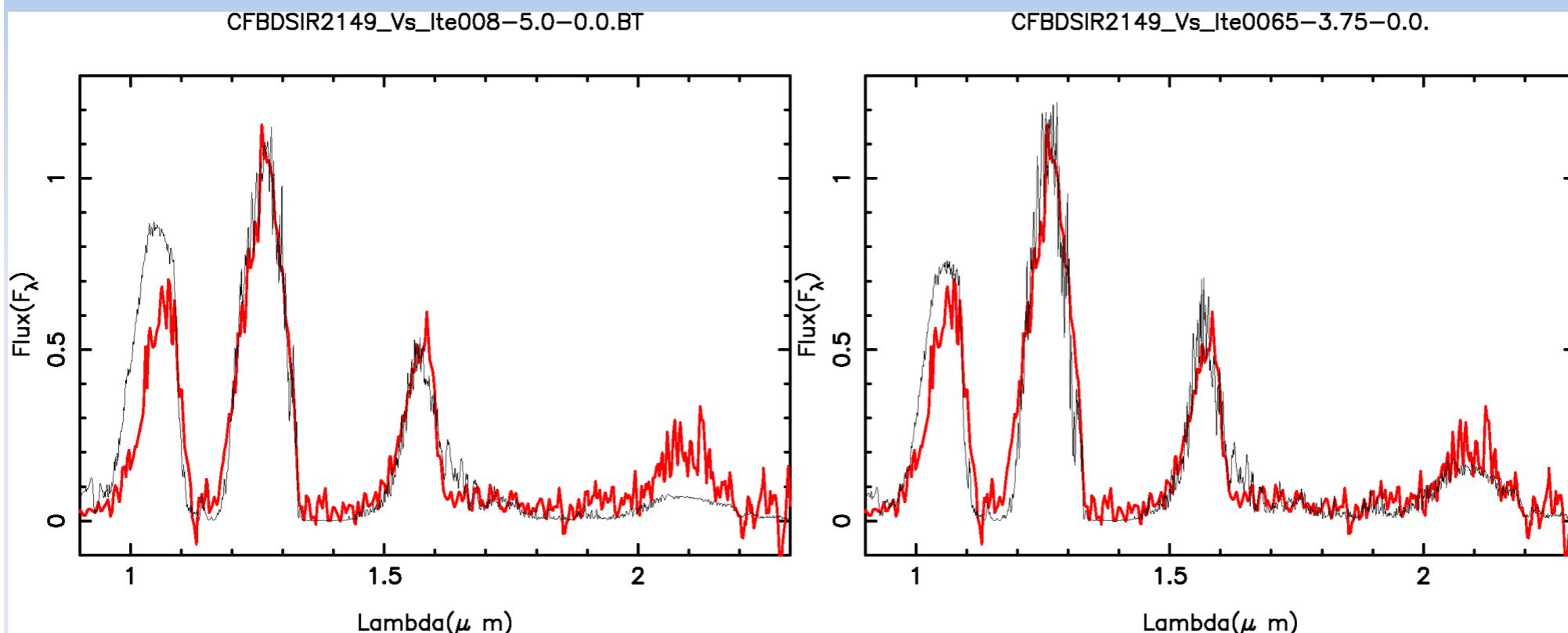
And a free-floating planet?



- An object with atypical red colours identified in CFBDSIR
- NIR spectrum confirms low gravity features
- Dynamical analysis independently gives high membership probability to the young stream AB Doradus

- This fits best with a 4-7 Jupiter mass T-type free-floating planet aged ~ 120 Myr
- Did it formed like a star or a planet ?

A low gravity object



Observed spectrum

Field gravity model « Brown dwarf »

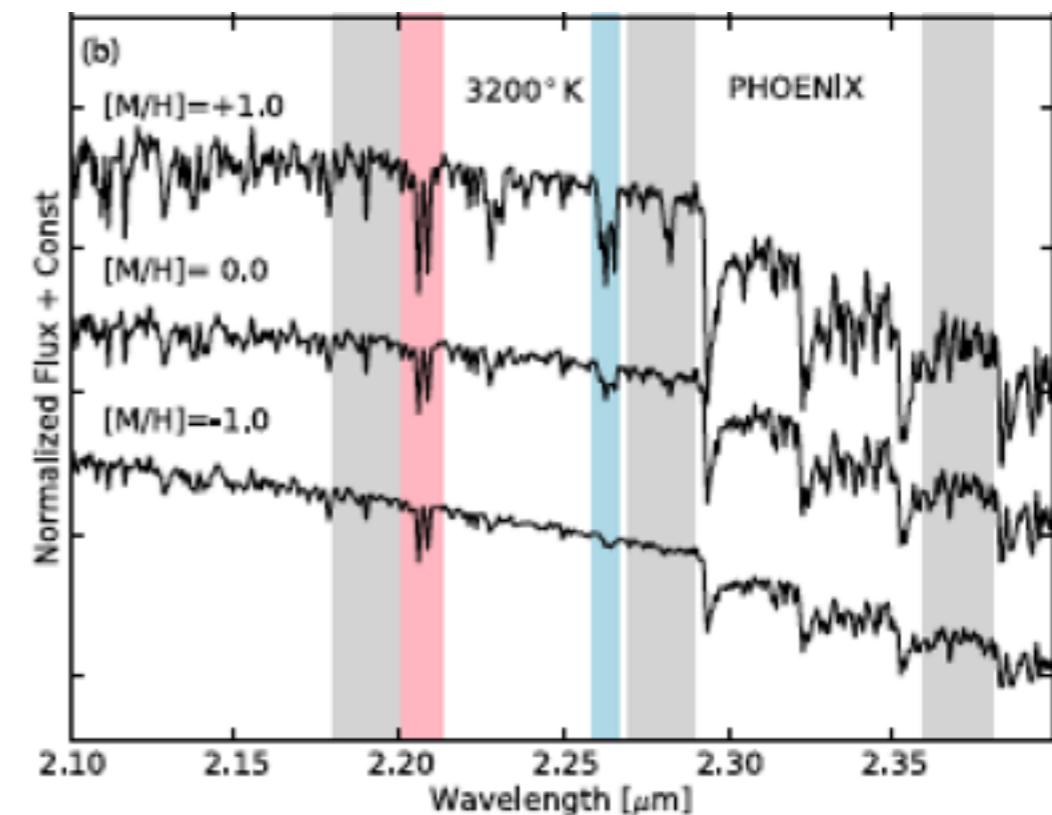
Observed spectrum

Low gravity model
« Free-floating planet »

Quelques éléments de prospective

- spectroscopie à haute résolution spectrale et/ou grande couverture spectrale en IR (Xshooter, SPIRou)

valider les modèles, calibration de la métallicité : Neves, Rajpurohit



Rojas-Ayala et al 2010

Quelques éléments de prospective

- spectroscopie à haute résolution spectrale et/ou grande couverture spectrale en IR (Xshooter, APOGEE, SPIRou)

valider les modèles, calibration de la métallicité : Neves, Rajpurohit

- Euclid : sonde les populations vieilles de la Galaxie, couvrant une grande gamme de métallicité et ouvre une nouvelle fenêtre sur l'évolution chimique de la Galaxie

Quelques éléments de prospective

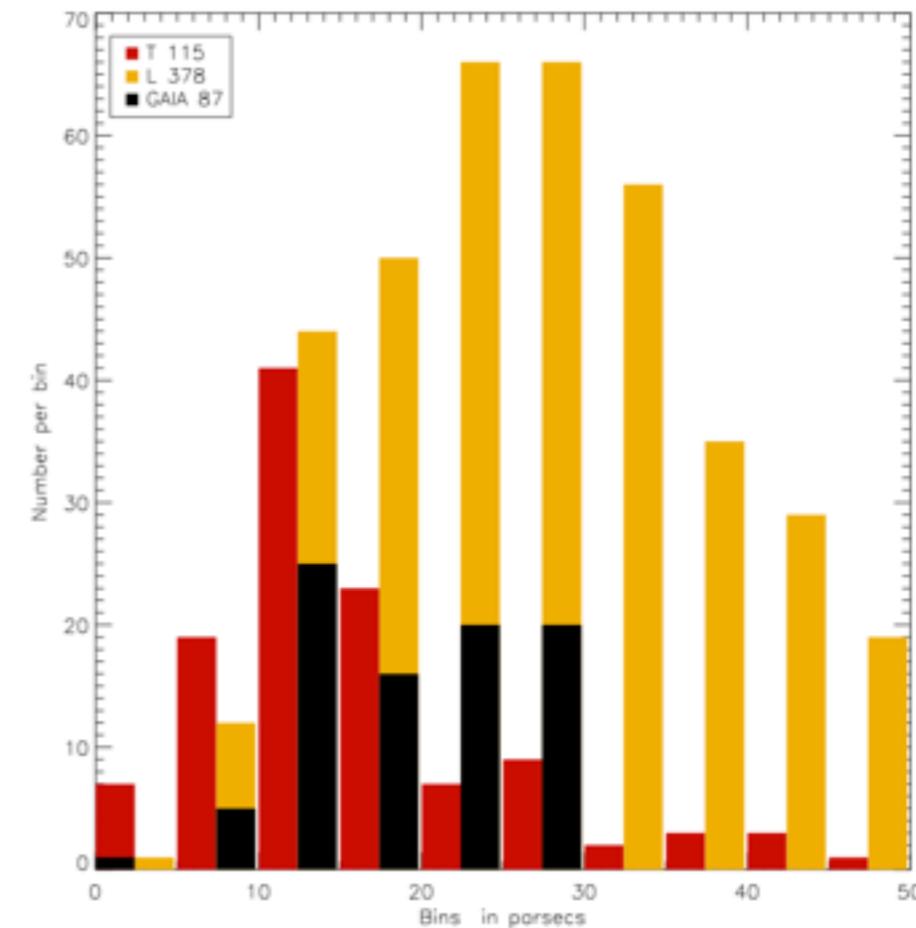
- spectroscopie à haute résolution spectrale en IR (Xshooter,APOGEE,

valider les modèles, calibration de la métallicité

- Euclid : sondera les populations vieilles et rares de la gamme de métallicité, et ouvrira une nouvelle ère de chimique de la Galaxie
- Gaia : BD benchmarks

Dégénérescence âge/luminosité

Gaia fournira des 1000s de systèmes binaires : explorer les détails spectraux qui peuvent être utilisés pour contraindre les âges des naines brunes.



Quelques éléments de prospective

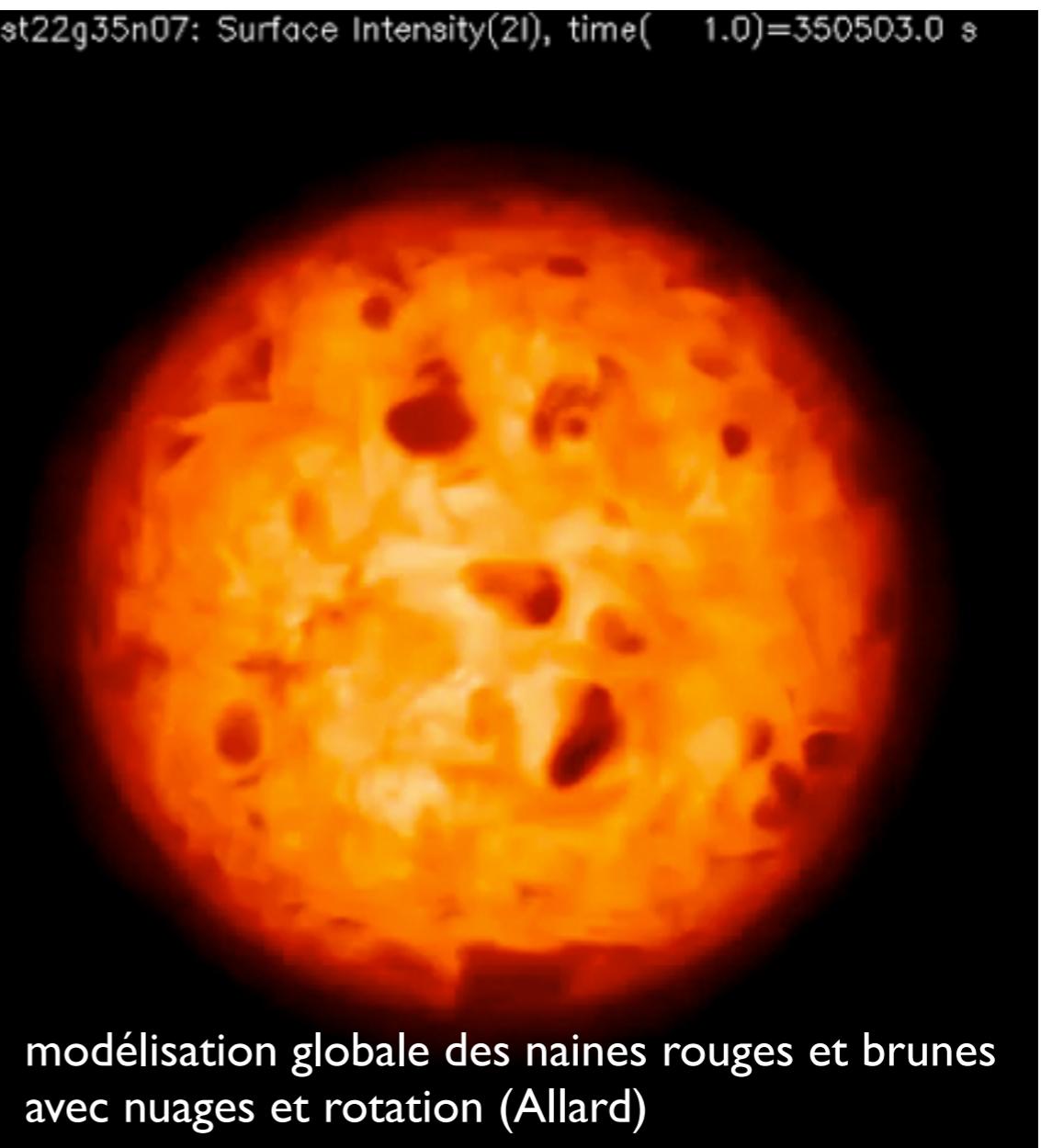
- spectroscopie à haute résolution spectrale en IR (Xshooter, APEX)

valider les modèles, calibration de la

- Euclid : sondera les populations, gamme de métallicité, et ouvrira la chimique de la Galaxie
- Gaia : BD benchmarks

Dégénérescence âge/luminosité

Gaia fournira des 1000s de systèmes qui peuvent être utilisés pour contraindre



- Modélisation des processus atmosphériques complexes (dont variabilité)
- BD les moins massives sont des analogues pour les planètes géantes gazeuses et rendent possibles des observations précises en dehors de la lumière de l'étoile hôte