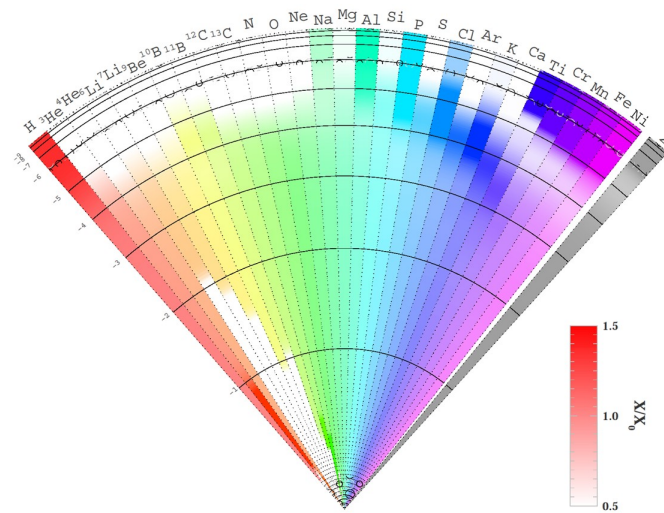


# Prospective PNPS 2014

Conséquences pour la structure stellaire des mélanges macroscopiques induits par les processus microscopiques



Morgan Deal  
Sylvie Vauclair  
Olivier Richard



Sébastien Deheuvels (IRAP, Toulouse), Felipe Wachlin (Stellar Physics, La Plata, Argentine),  
Pascale Garaud et Barbara Zemsanova (Applied Mathematics, Santa Cruz, Californie)

Projet proposé au PNPS dans le cadre de la demande faite par Georges Alecian : **Processus atomiques dans les étoiles: vers un renouveau du modèle standard.**

Travaux discutés au **colloque de Roscoff** (New advances in stellar physics : from microscopic to macroscopic processes, 27-31 mai 2013) soutenu par le **PNPS**.

# Vue d'ensemble

Les processus **microscopiques** à l'origine de la diffusion atomique dans les étoiles ont des **conséquences hydrodynamiques directes** qui doivent être prises en compte dans les calculs de physique stellaire. Elles provoquent des **mélanges supplémentaires** dans les étoiles et peuvent aussi exciter des oscillations par  **$\kappa$ -mécanisme** (e.g. sdB).

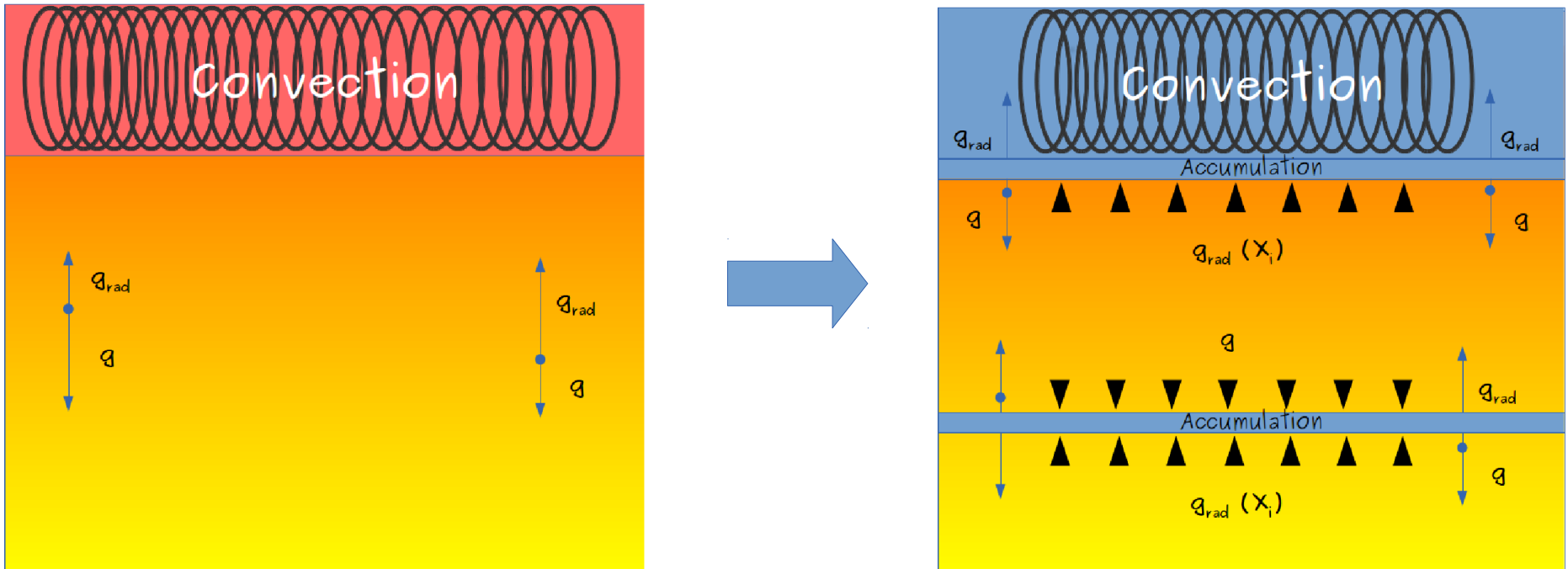
- **Plusieurs cas d'étude :**

- couplage entre **diffusion atomique** et **convection dynamique** et/ou **double-diffusive**

- influence de ces processus en cas d'**accrétion** de « matière lourde » sur les étoiles

**ex** : WD, CEMP, ...

# Contexte



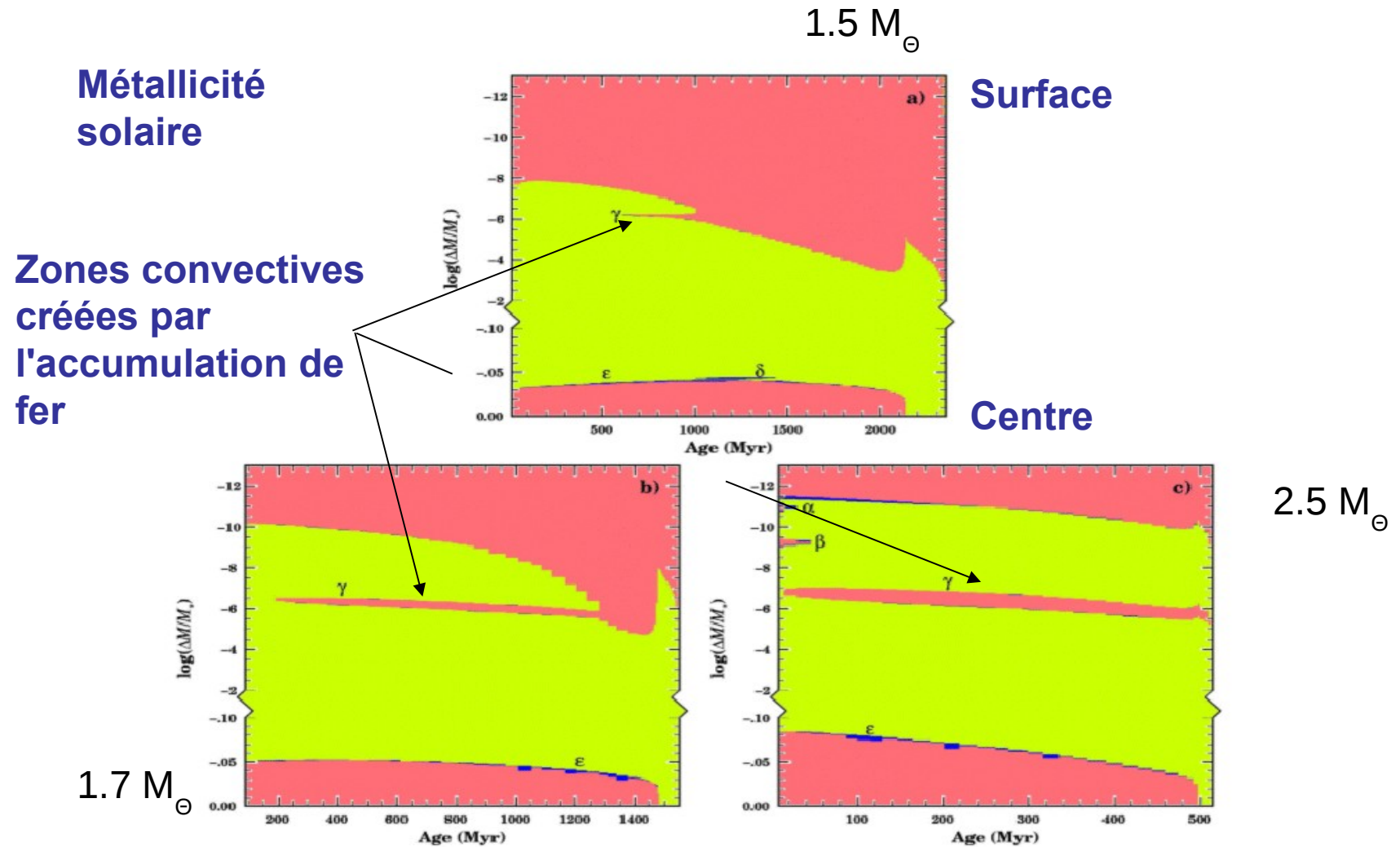
**Diffusion atomique** → stratification des éléments  
accumulation d'éléments

Ces effets sont **différents pour chaque élément** et dépendent :

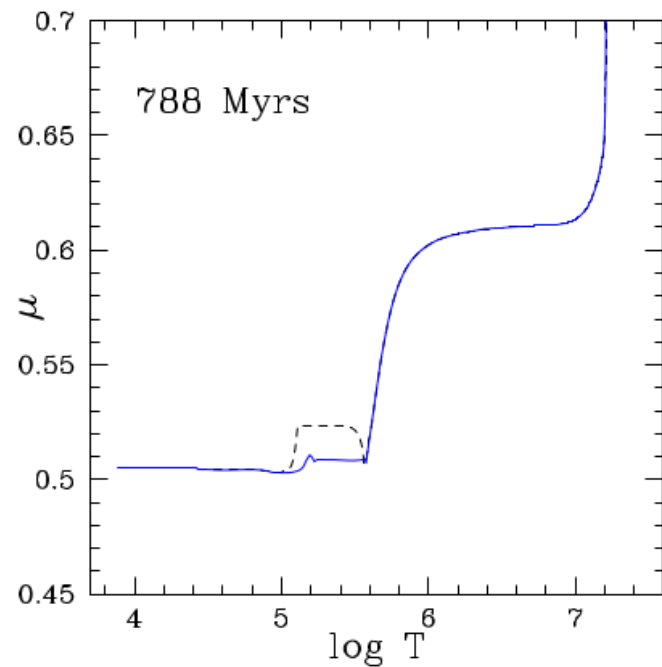
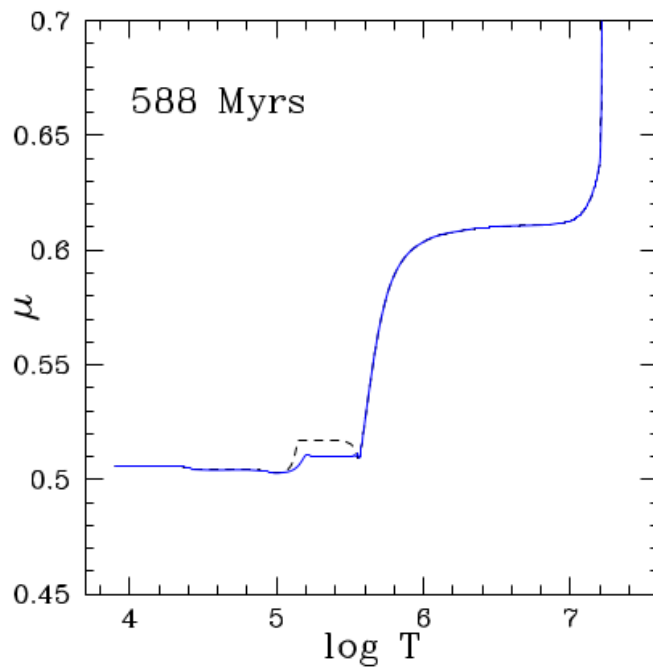
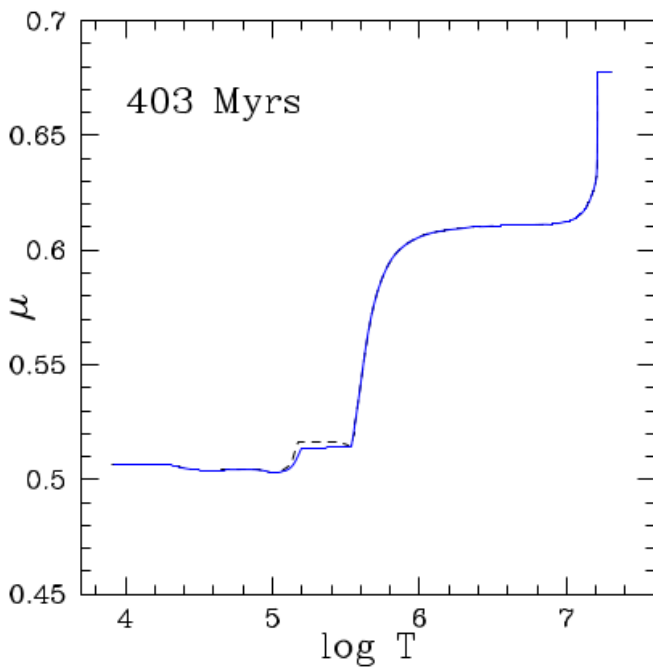
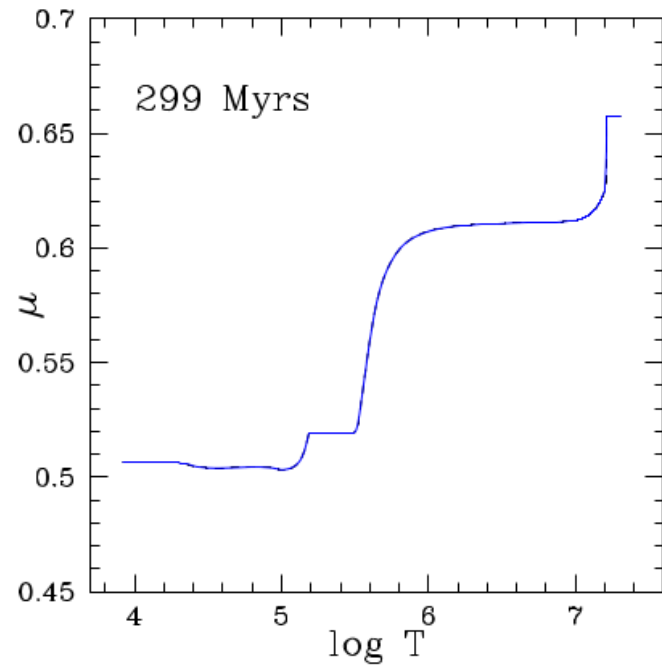
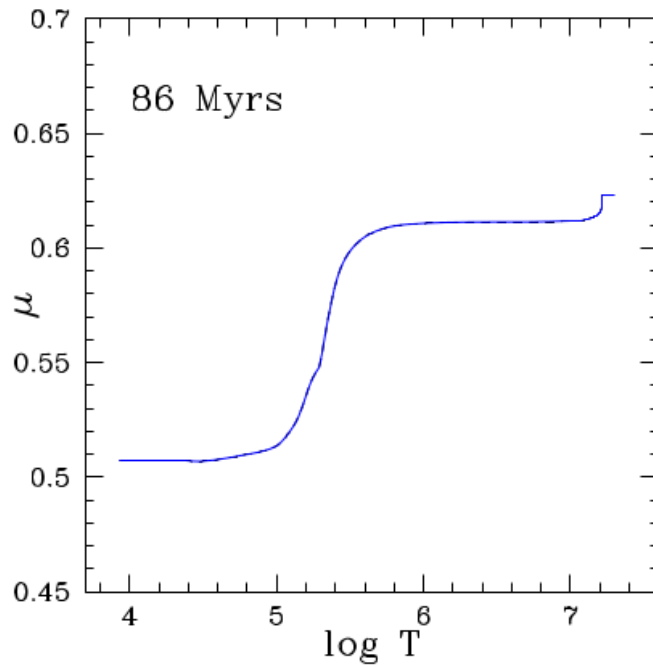
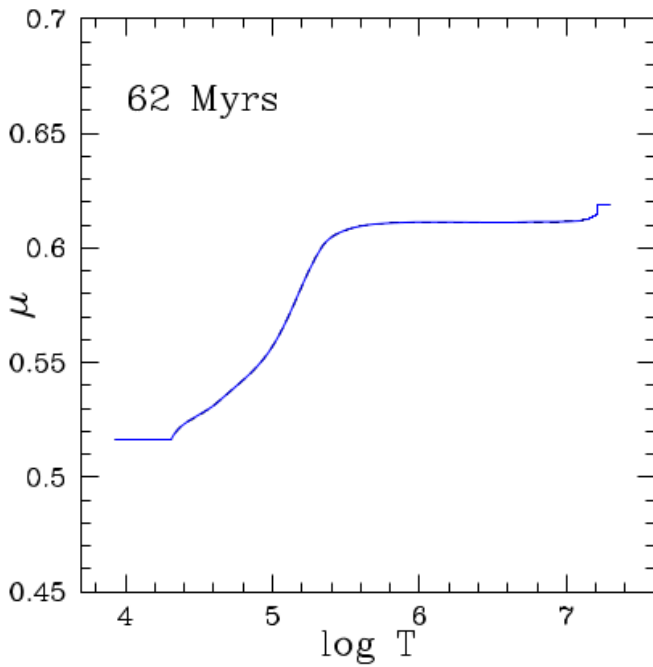
- de l'**abondance** des éléments
- de leur **état d'ionisation**
- du **flux de photons** provenant du cœur

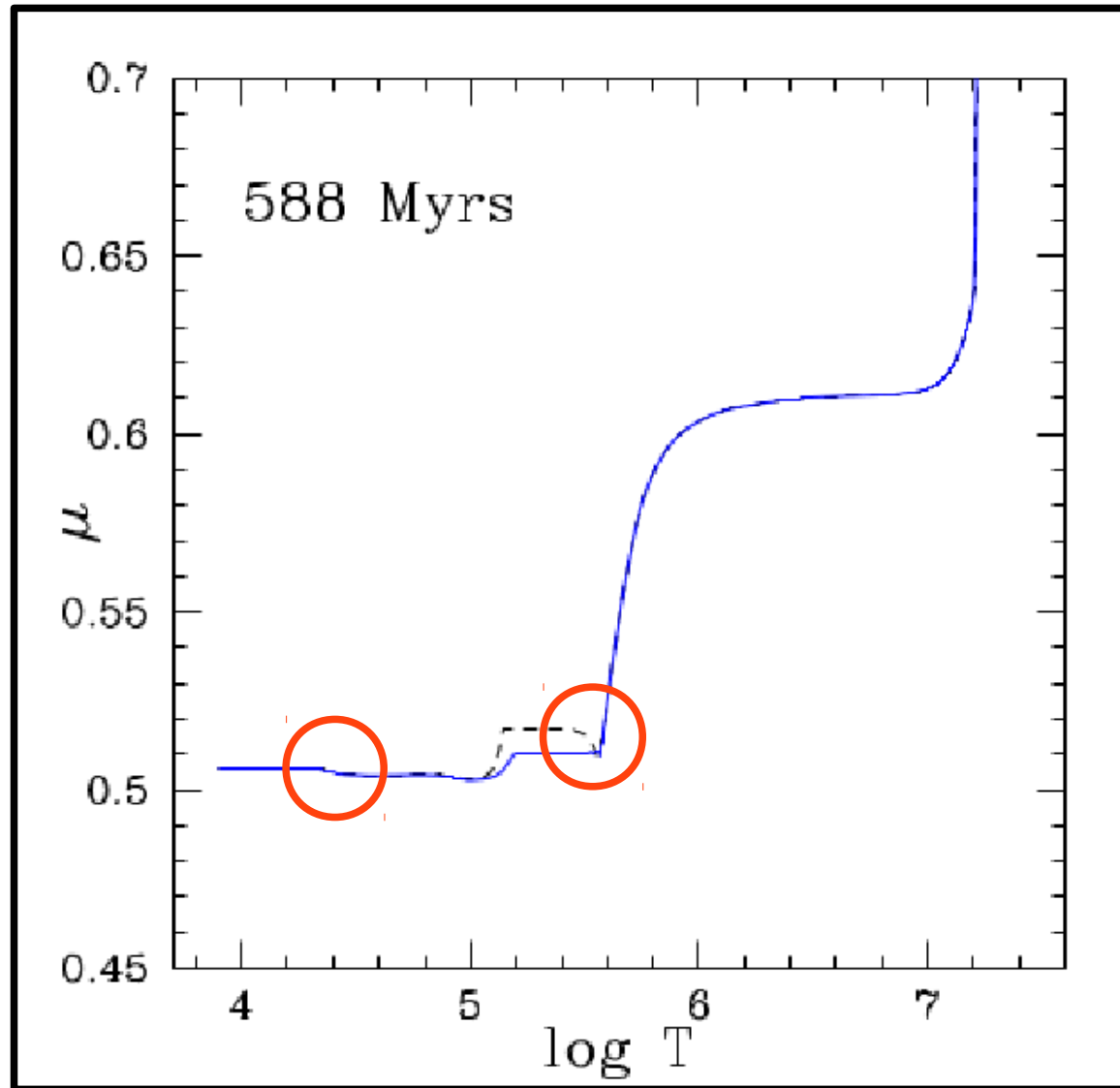
→ **Influence directe** sur l'**hydrodynamique** stellaire

Les processus microscopiques ont un **impact direct** sur la **structure interne** de l'étoile



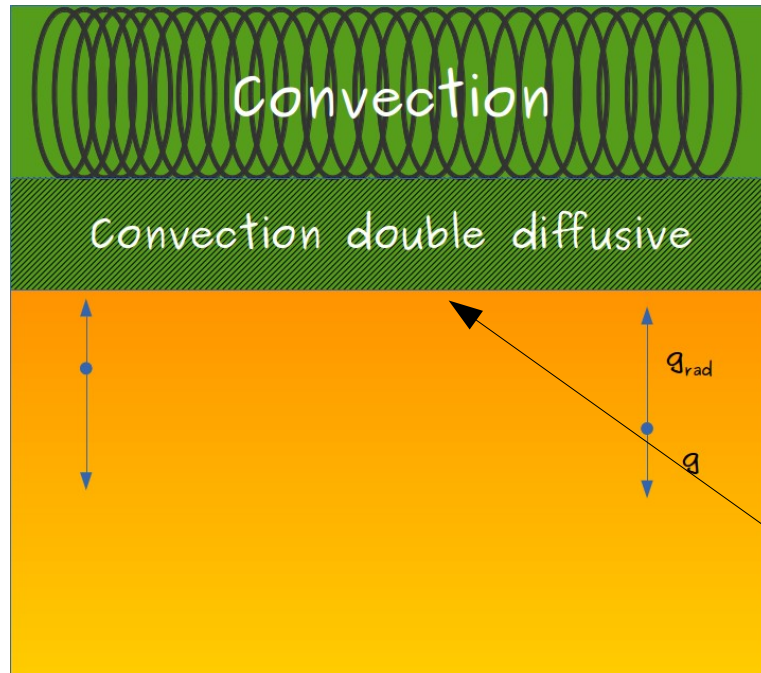
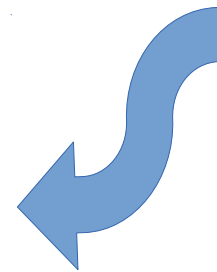
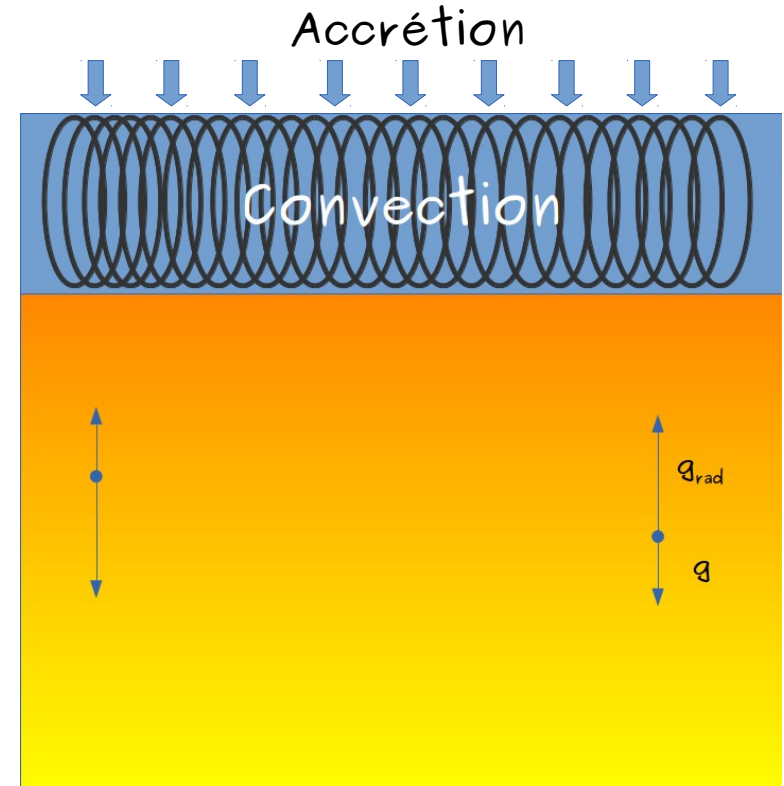
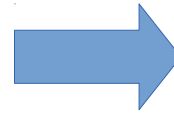
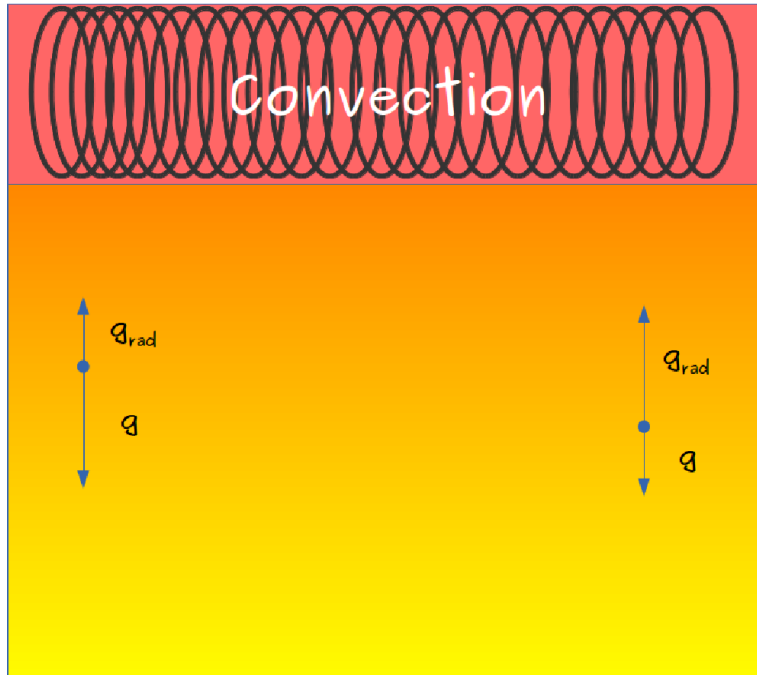
Richard + 2001





- **Prospective** : étude du couplage diffusion atomique / instabilités macroscopiques avec l'aide de **simulations 3D** (collaboration en cours avec Pascale Garaud et Barbara Zemska). Introduction des résultats dans des modèles 1D (TGEC et code de Montpellier/Montréal).

# Couplage accrétion / diffusion atomique / convection double-diffusive



**Naines blanches** : application à l'accrétion du disque post-planétaire sur l'étoile (Deal et al. 2013, collaboration avec F. Wachlin, La Plata)

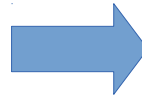
**CEMPs** : conséquences hydrodynamiques de l'accrétion de vents d'AGB (travail en cours)

**Gradient d'hélium**



# Disques de débris autour des naines blanches

Excès infrarouge +  
raies d'éléments lourds  
+  
Rapport d'abondances  
terrestres (Dufour + 2012)



preuve de l'existence d'un **disque post-planétaire** + **accrétion**

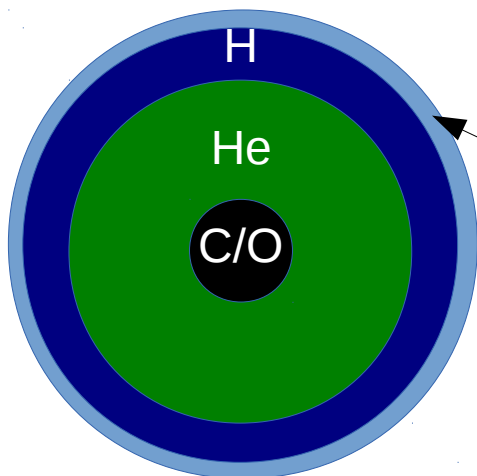


Importance du **taux d'accrétion** pour **contraindre** ces disques

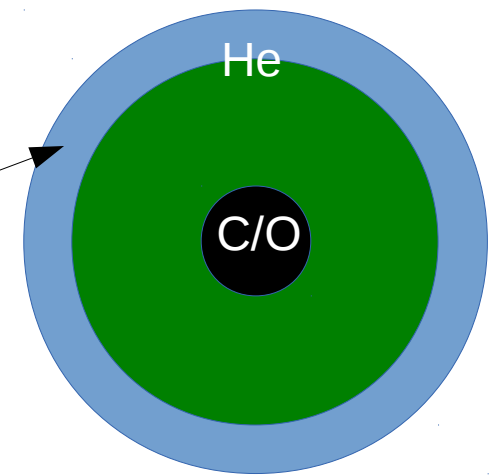


Dépend des processus de **diffusion atomique couplés** au effet de la **convection double-diffusive** (cf. Deal, Deheuvels, Vauclair, Vauclair & Wachlin 2013)

Naine blanche DA



Naine blanche DB

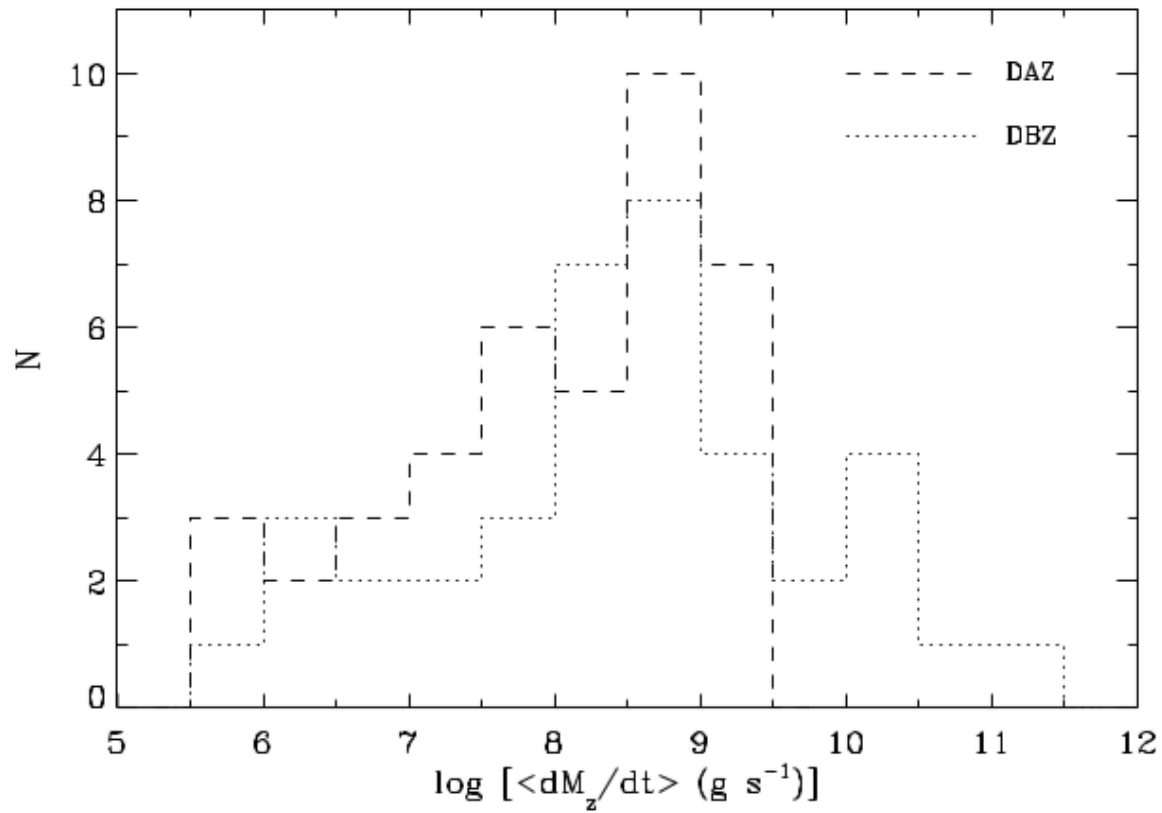


ZC de surface

# Naines blanches

Farihi + 2012

Nombre de NB

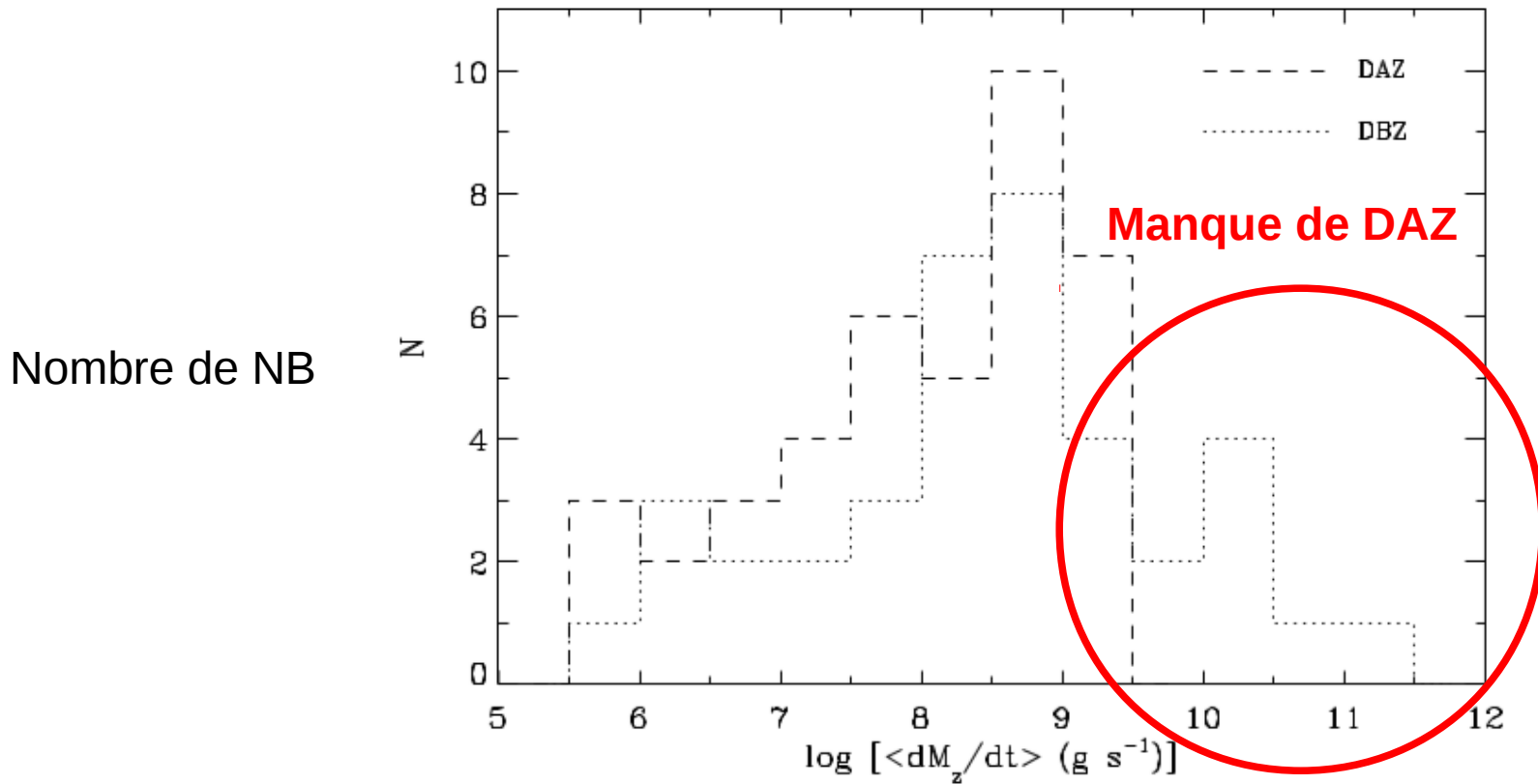


Taux d'accrétion calculés

# Naines blanches

En considérant **seulement** le **triage gravitationnel**

Farihi + 2012

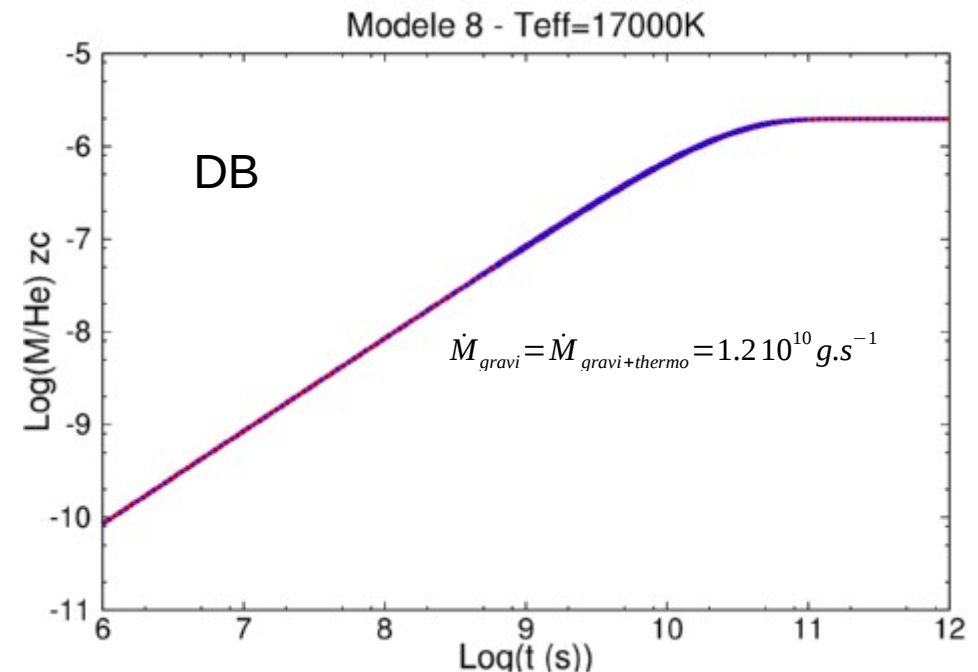
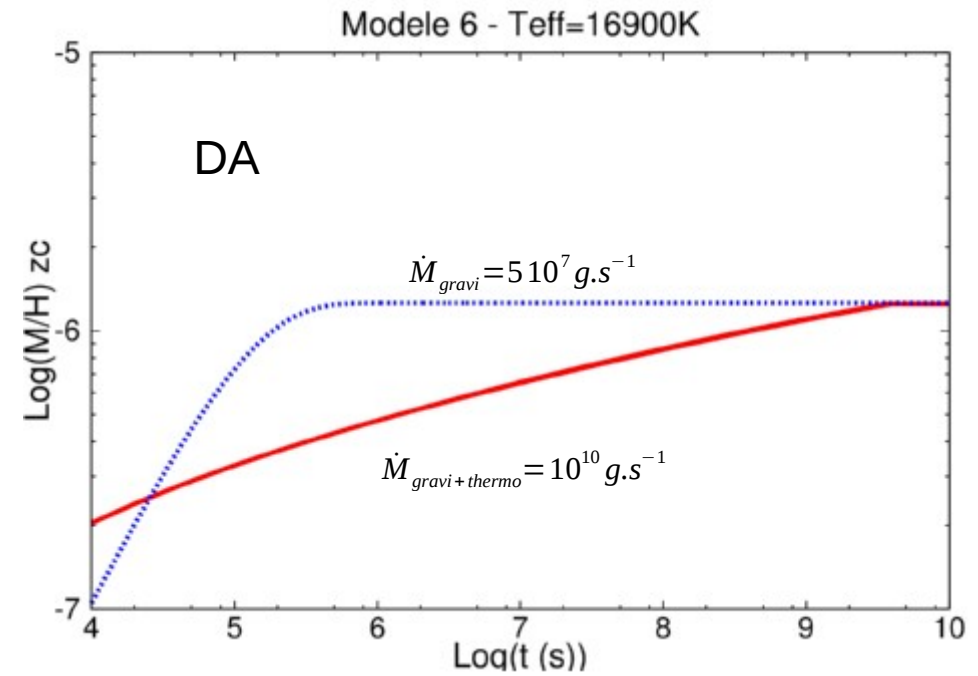


Taux d'accrétion calculés

# Résultats

Modèles	$\log(\dot{M}_{gravi})$		$\log(\dot{M}_{gravi+th})$
DAZ 1	9.19	X4	9.83
DAZ 2	7.74	X182	10.00
DAZ 3	7.70	X50	9.40
DBZ 1	8.04		8.04
DBZ 2	10.08		10.08
DBZ 3	10.70		10.80

La **convection double-diffusive** est **très efficace** dans les **DAs** mais ne l'est pas dans les **DBs** compte-tenu de la différence de **densité** et de **composition** à la base de la ZC



# Conclusion

Le processus **microscopique** de diffusion atomique a pour **conséquence directe** des mélanges **macroscopiques** qui doivent être pris en compte dans les calculs de physique stellaire

## Prospective :

- étude du couplage physique diffusion atomique/convection double-diffusive en liaison avec les **simulation 3D** de P. Garaud et B. Zemsanova
- calculs détaillés d'abondances avec prise en compte de la diffusion atomique et de la convection **double-diffusive** dans les **étoiles de séquence principale**
- **approfondissement** du travail sur les **naines blanches** avec l'équipe de physique stellaire de **La Plata**
- caractérisation des **AGBs** susceptibles de rendre compte des abondances observées dans les CEMPs en s'appuyant sur des calculs détaillés de **diffusion atomique** et de convection **double-diffusive**
- applications de ces études à l'**astérosismologie** : prédictions de  **$\kappa$ -mécanisme** et comparaisons avec les observations. Influence de ces nouveaux processus hydrodynamiques sur les fréquences observées.