

# **Etoiles Massives à Faible Métallicité**

## **Les étoiles O dans le Petit Nuage de Magellan**

**J.-C. Bouret**

**T. Lanz, F. Martins,**

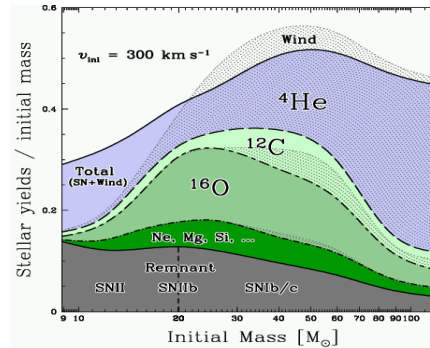
**W. Marcolino, E. Depagne,**

**J.D. Hillier, I. Hubeny**



# Les étoiles massives dans l'Univers

$$M > 8 M_{\odot}$$



CCSNe

Nucléosynthèse des éléments  
plus lourds que CNO

$$L > 10^5 L_{\odot}$$



Rayonnement UV  
intense

$$T_{\text{eff}} > 20000 \text{ K}$$

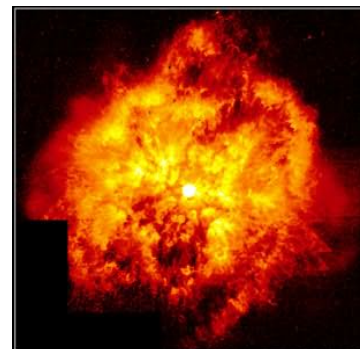


Ionisation des régions HII

$$\dot{M} \sim 10^{-5} M_{\odot}/\text{yr}$$



$$V_{\infty} \sim 3000 \text{ km/s}$$



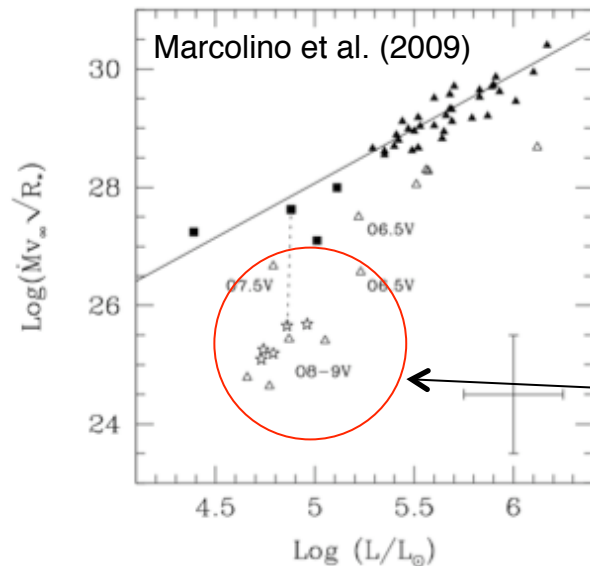
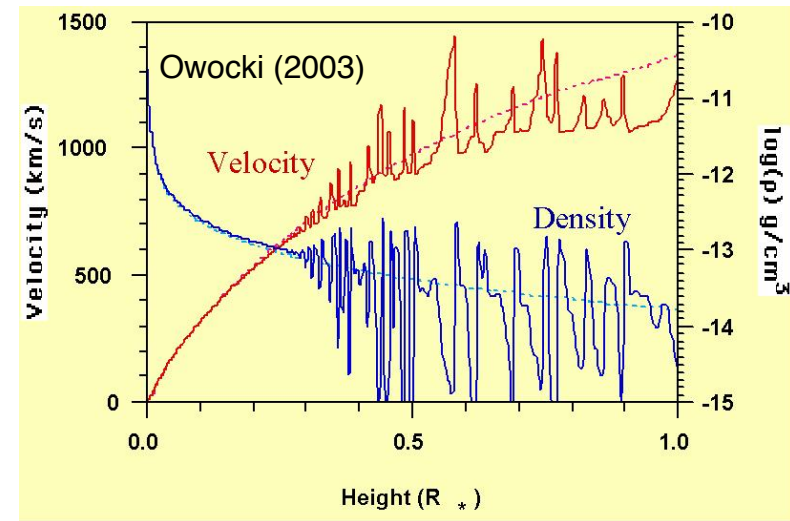
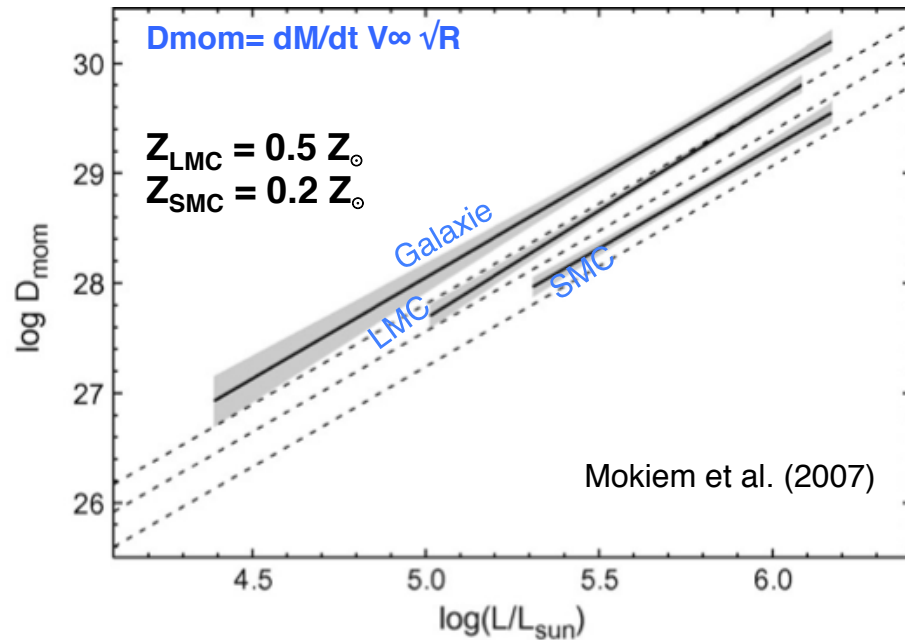
Evolution dynamique et chimique  
du MIS

Vents galactiques

Formation stellaire induite....

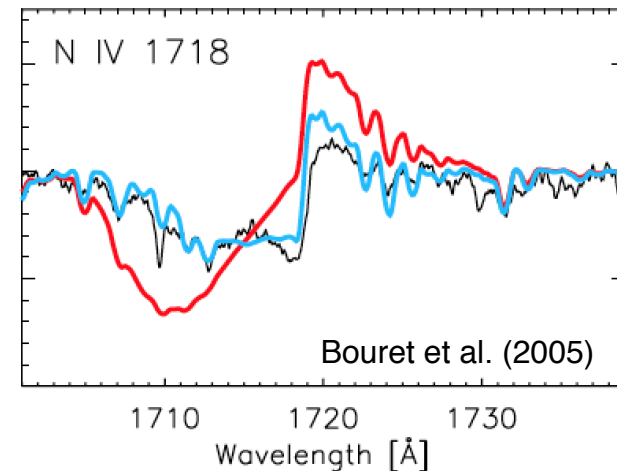
# Effet de la métallicité sur les vents

Transfert d'impulsion du champ de rayonnement au gaz via absorption de photons dans les raies des éléments métalliques



Vents faibles

Réduction du  $\dot{M}$  par  $\sqrt{f}$

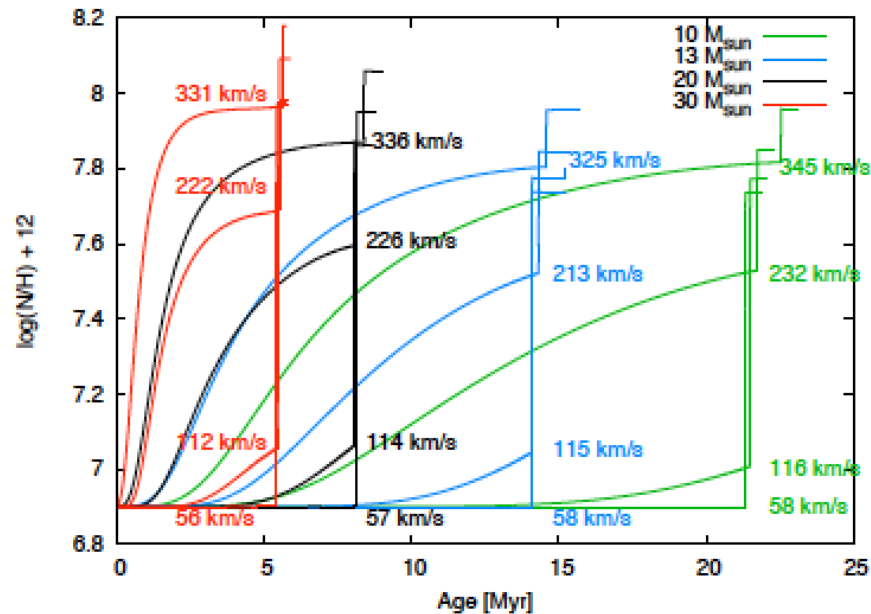


Homogène

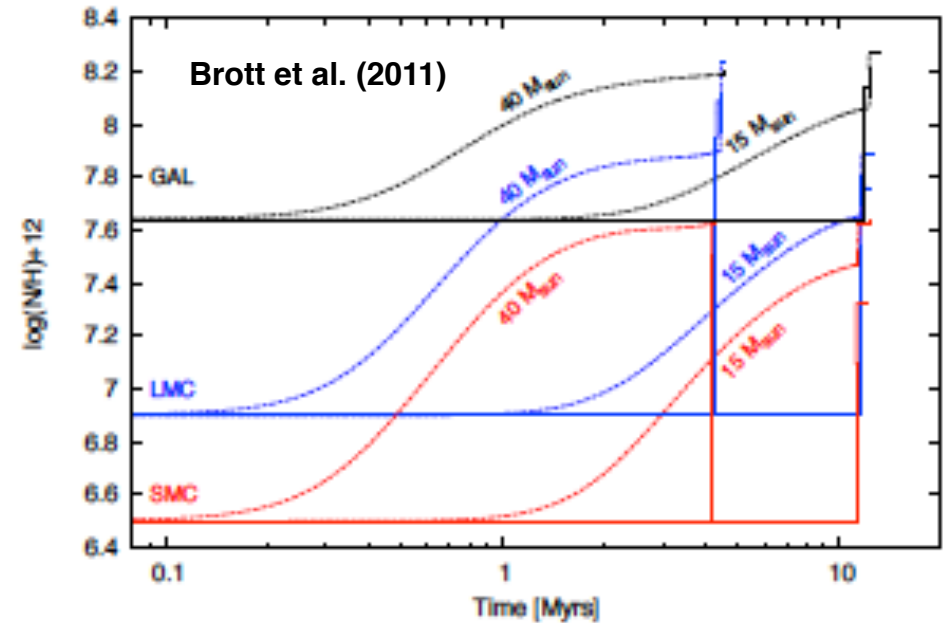
Clumpé

# Rotation

La rotation modifie les abondances de surface

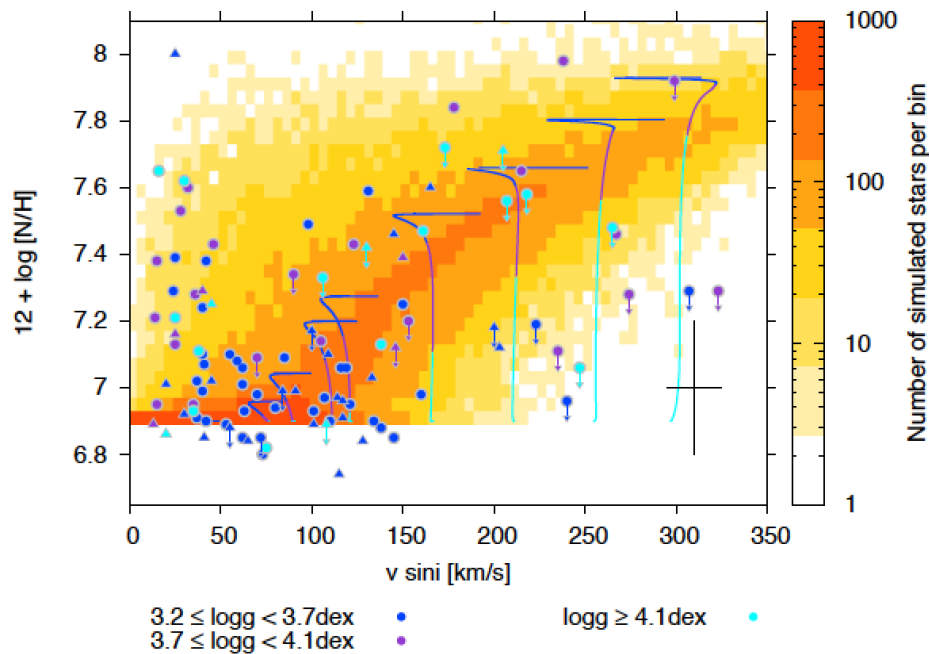


Les effets de la rotation sont plus prononcés à faible métallicité



40% d'étoiles B ont des abondances qui ne sont pas compatibles avec le mélange rotationnel (Hunter et al. 2009)

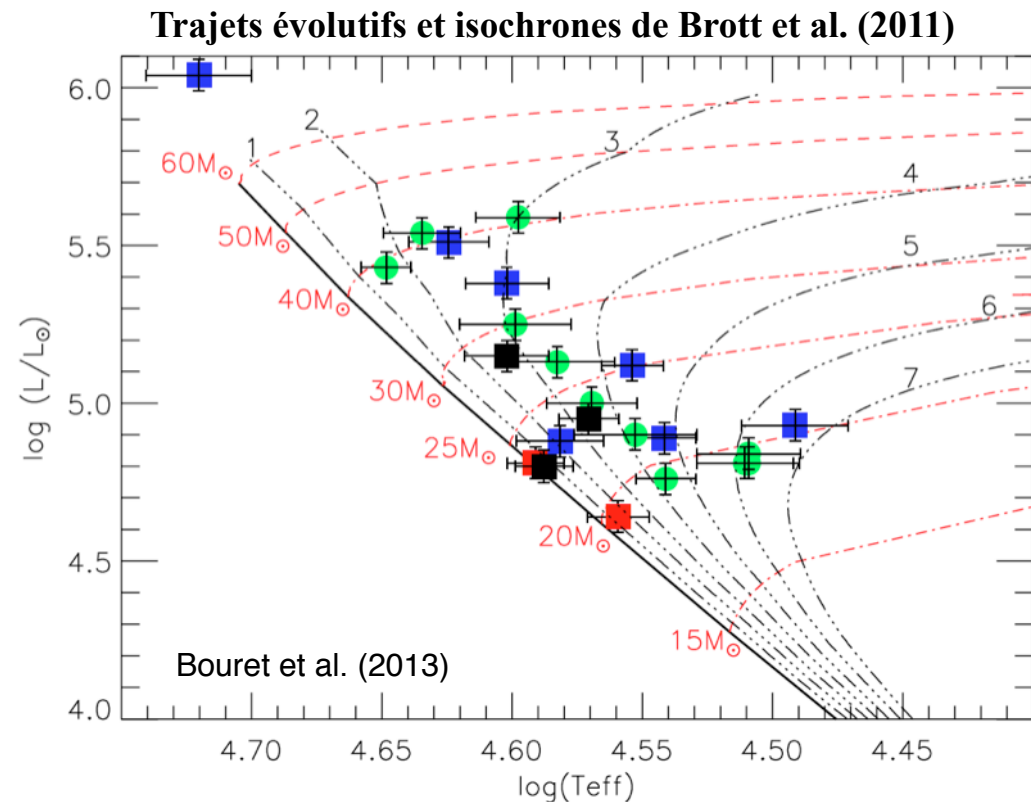
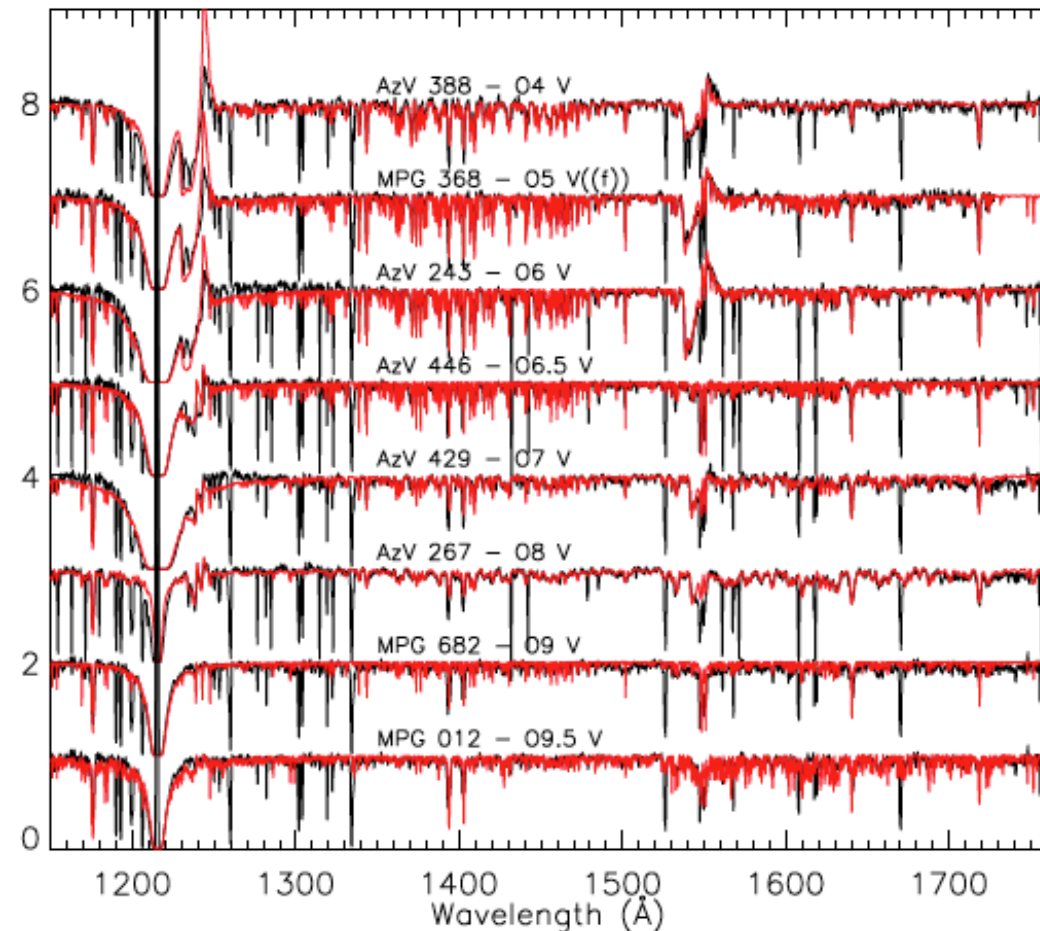
Synthèse de population ne favorise pas une évolution purement « single-star » pour les étoiles B (Brott et al. 2011)



# Étoiles O dans le SMC

Le SMC est le laboratoire idéal pour étudier les étoiles massives à faible métallicité

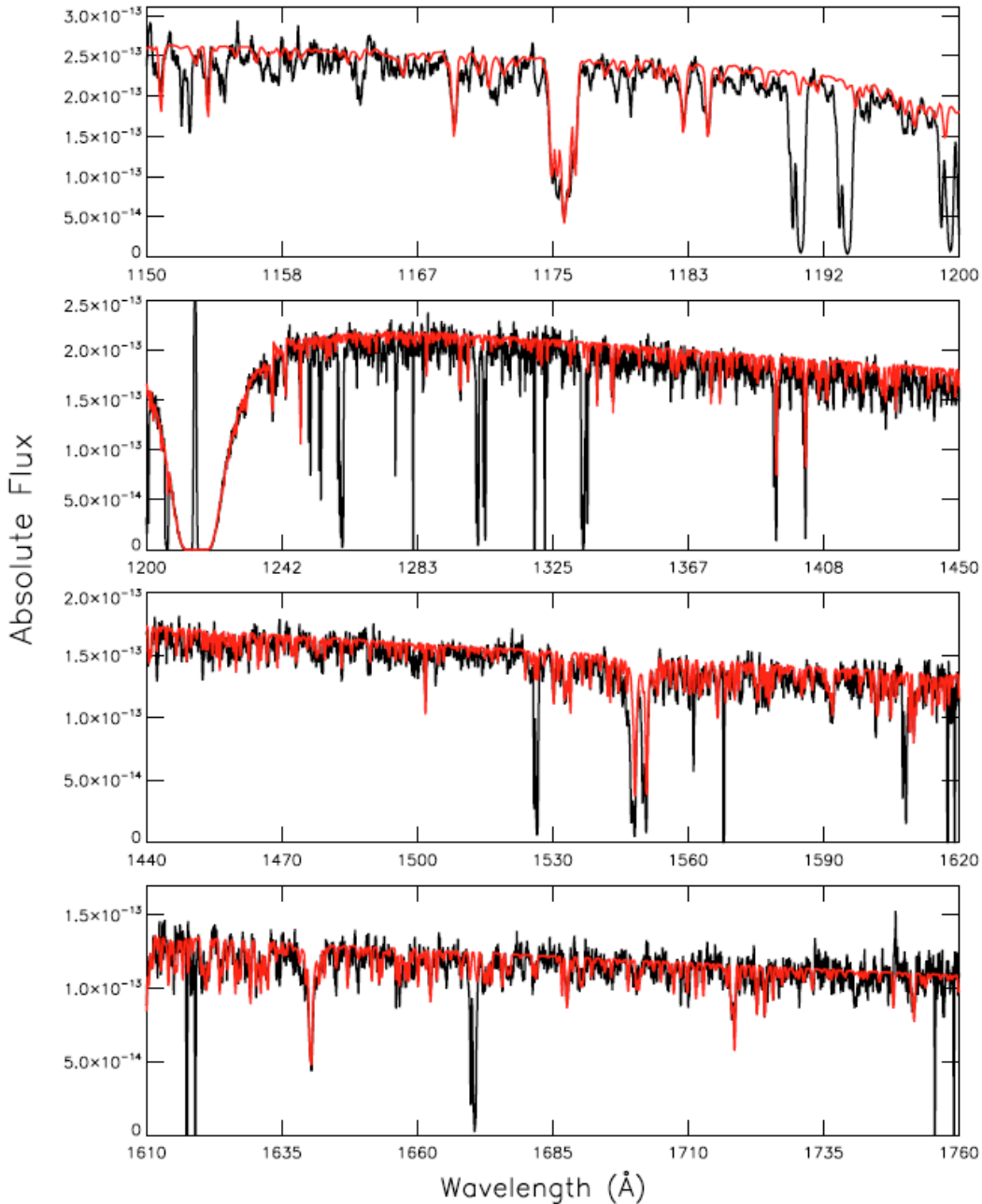
- Distance bien déterminée ( $DM = 18.9$ ) → estimations fiables des luminosités, rayons et masses
- Beaucoup d'étoiles O avec une faible extinction → spectroscopie UV possible
  - 23 étoiles O2V - O9.5V observées avec HST (COS/STIS) et à l'ESO (UVES)
  - Modèles d'atmosphère CMFGEN → Paramètres photosphériques + paramètres du vent



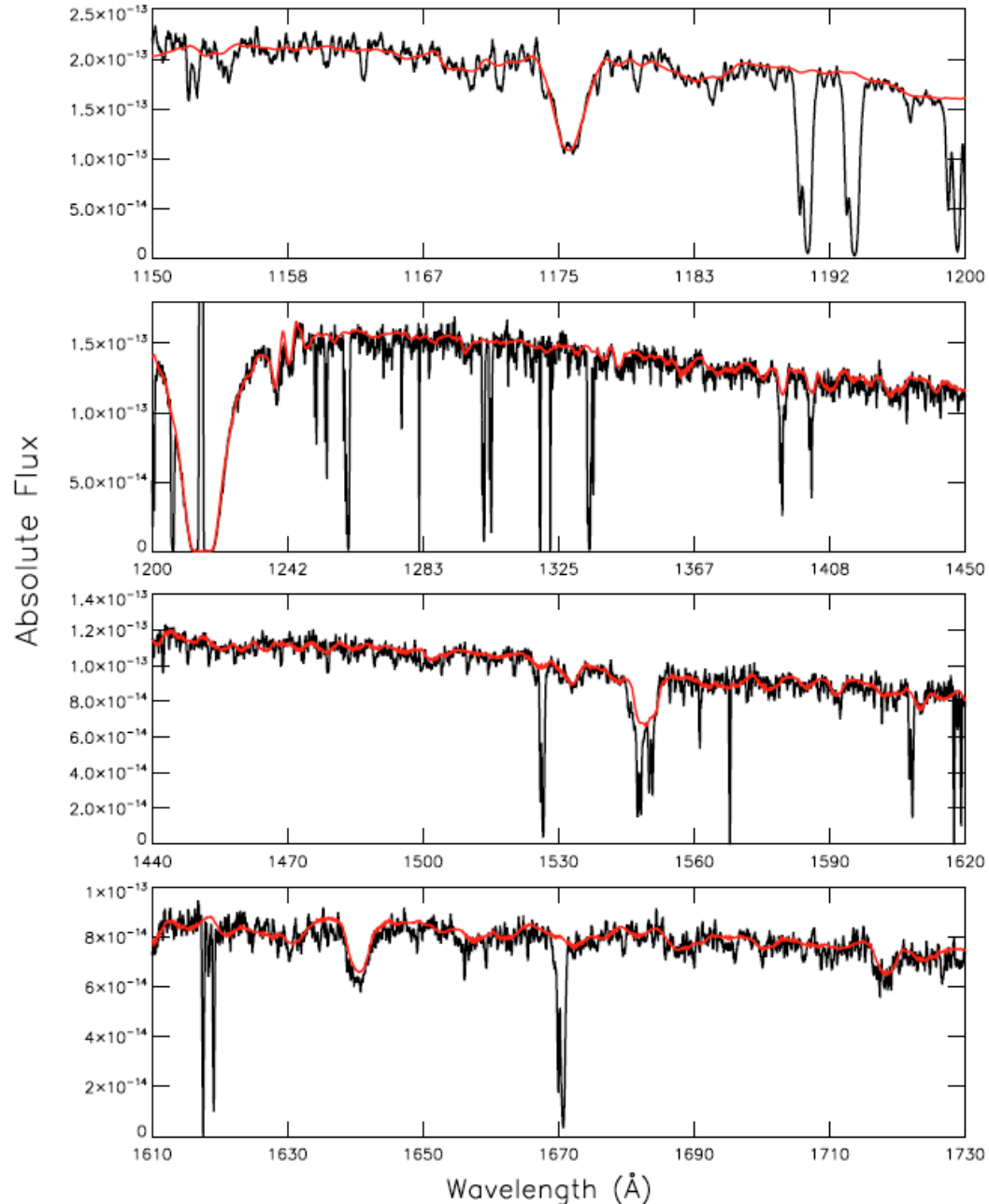


# *Effet de la rotation sur les spectres*

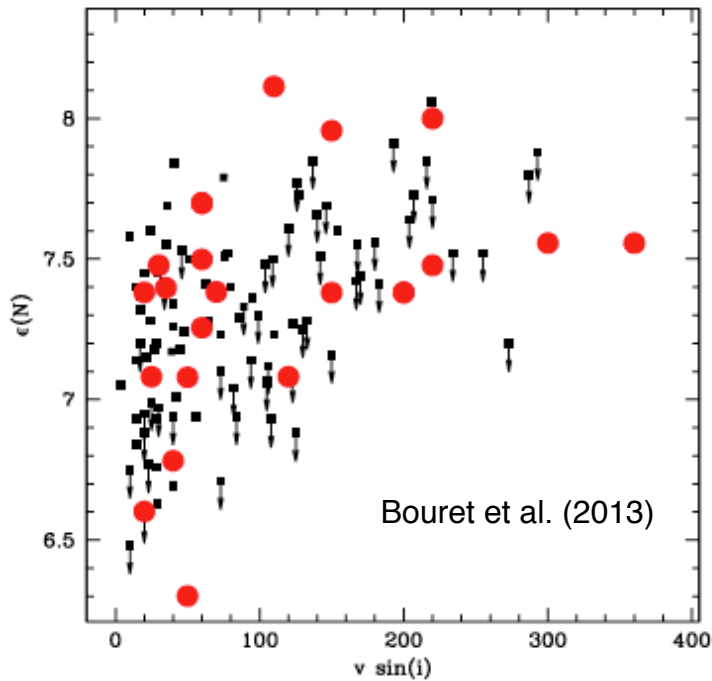
MPG 682 ( $v \sin i = 40$  km/s)



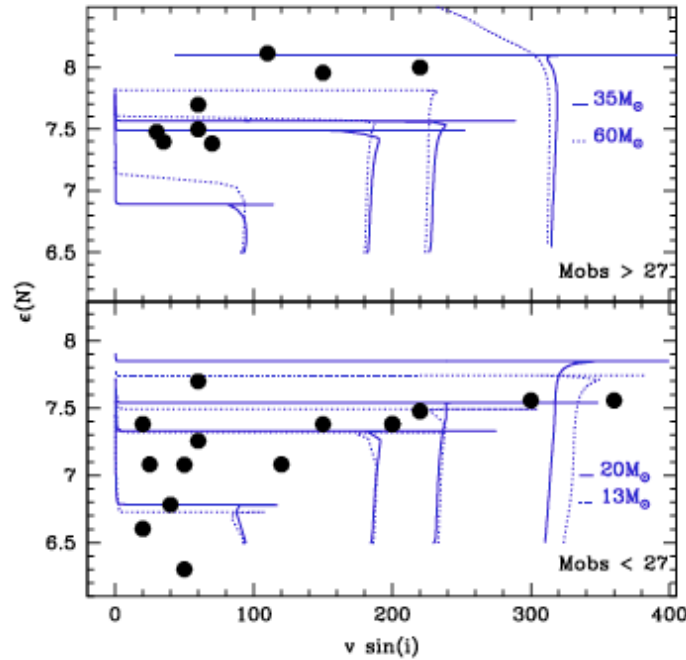
MPG 299 ( $v \sin i = 360$  km/s)



# Evolution chimique

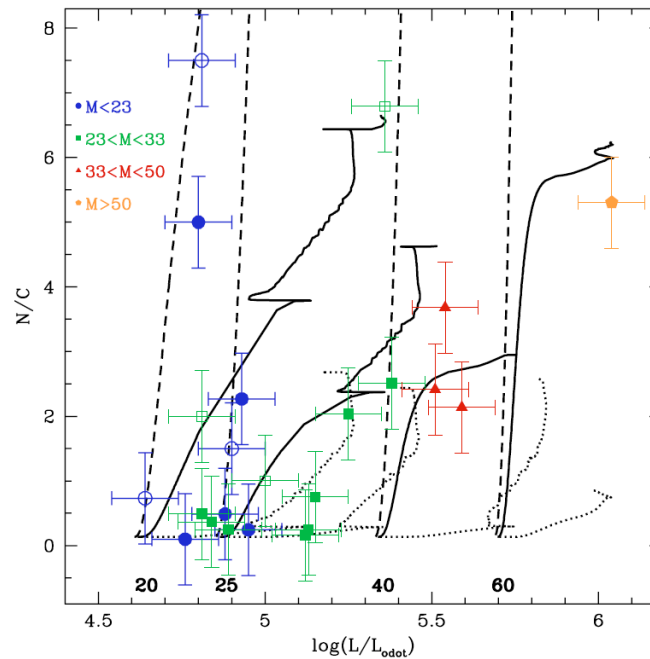


**Le mécanisme  
d'enrichissement dépend  
peu pas de la masse**



**Mélange rotationnel assez  
efficace dans les modèles?**

**Enrichissement plus fort aux  
grandes masses**

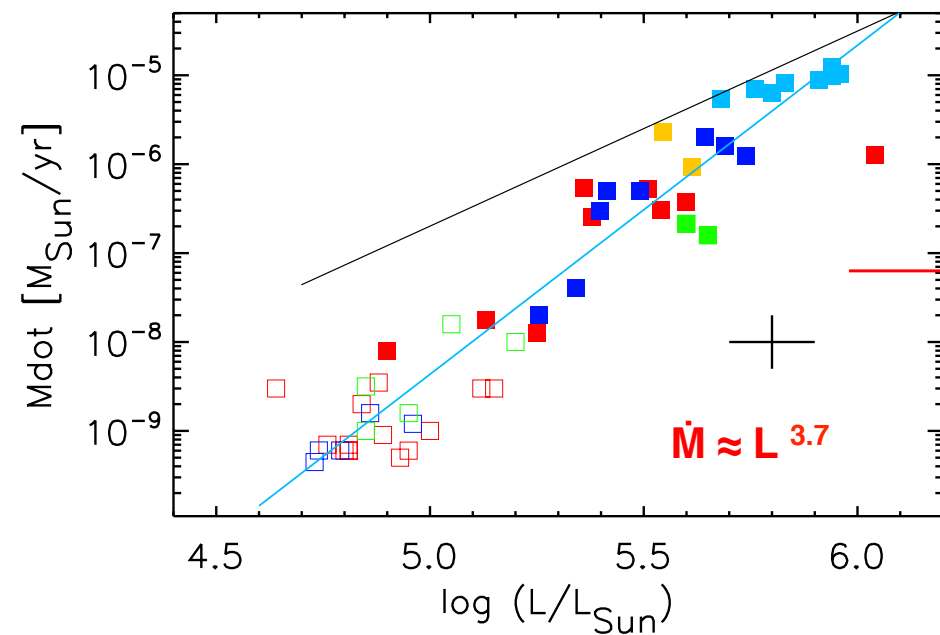
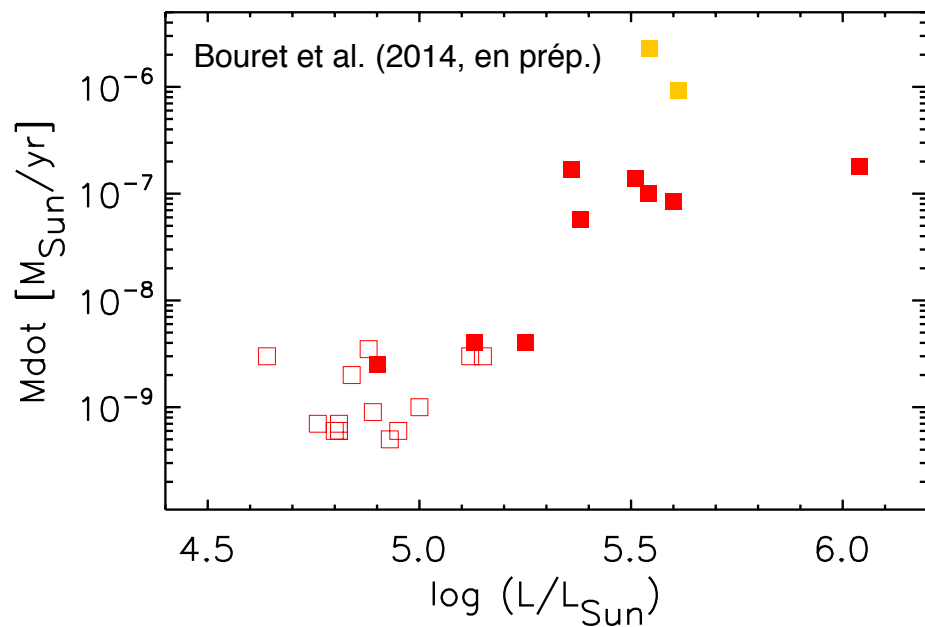


**N/C est un excellent  
traceur de l'évolution  
chimique**

**Moins de 10% de  
outliers**

# Perte de masse

| Filling factor $f_{\infty}$ | Giants/Supergiant<br>s | Dwarfs                |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Galaxy                      | 0.05<br>(0.03 – 0.06)  | 0.05<br>(0.02 – 0.1)  |
| SMC                         | 0.02 – 0.1             | 0.08<br>(0.05 – 0.11) |

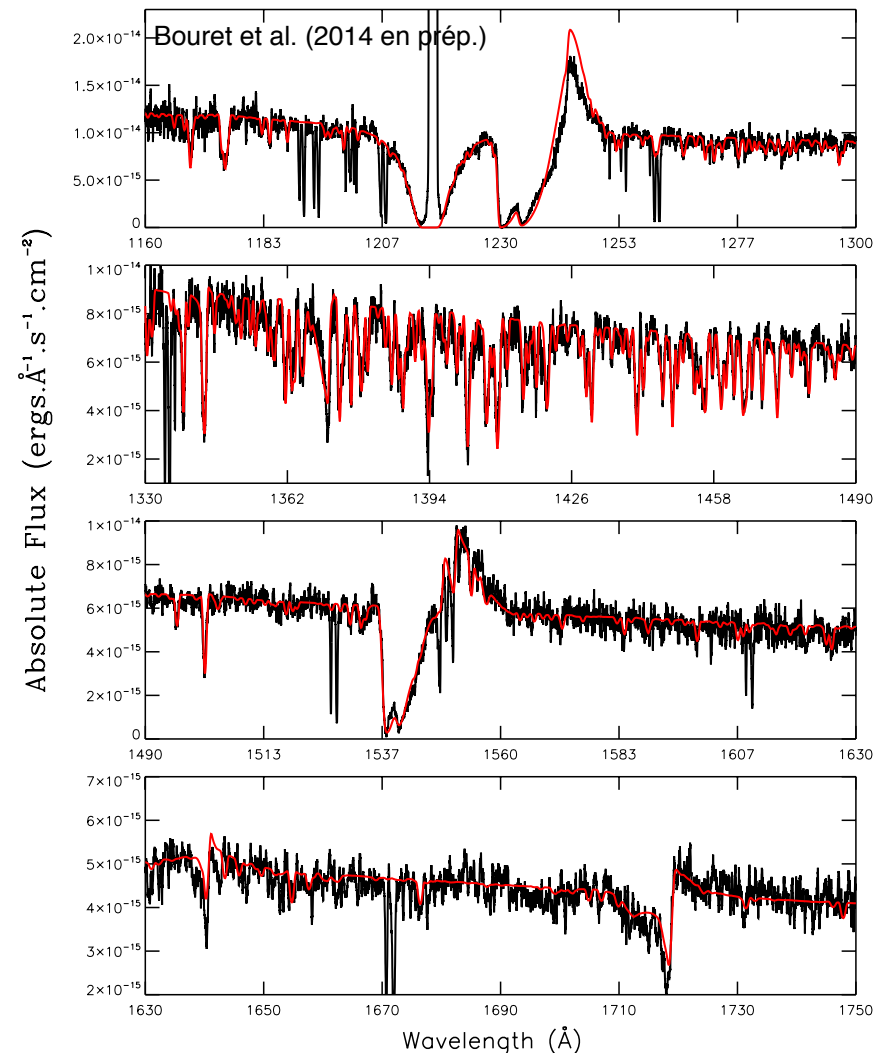




# Résumé - Perspectives

- Diagramme  $\varepsilon(N) - v \sin i \rightarrow$  enrichissement chimique dépend peu de la masse
- N/C (L) et NC vs N/O reproduits par les modèles d'évolution avec rotation
- Taux de perte de masse – luminosité:  $dM/dt \approx L^{3.7} \rightarrow$  vents faibles?

- **Géantes/Supergéantes**
  - Efficacité du mélange rotationnel en fonction de l'âge/rotation
  - vents plus forts  $\rightarrow$  perte de masse et clumping en fonction de Z.....
- Et aussi dans les galaxies naines IC1613 et WLM, I Zw 18 etc...



Merci au PNPS (participation à la conférence  
« Massive Stars: from  $\alpha$  to  $\omega$  », Rhodes , Juin 2013)