



Prospective du PNPS

Évolution de la rotation des étoiles jeunes de faible masse

Louis Amard

Avec : Ana Palacios - Corinne Charbonnel - Florian Gallet - Nadège Lagarde

27 mars 2018

University of Exeter - Université de Genève - Université de Montpellier

Contenu de la grille

Dans quel but ?

Quelle physique ?

Modèles standard

Modèles avec rotation

Applications

Exemples passés

Quelques résultats

Rotation à différentes métallicité

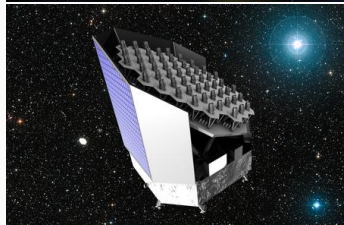
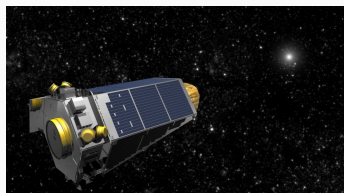
Conclusion

Contenu de la grille

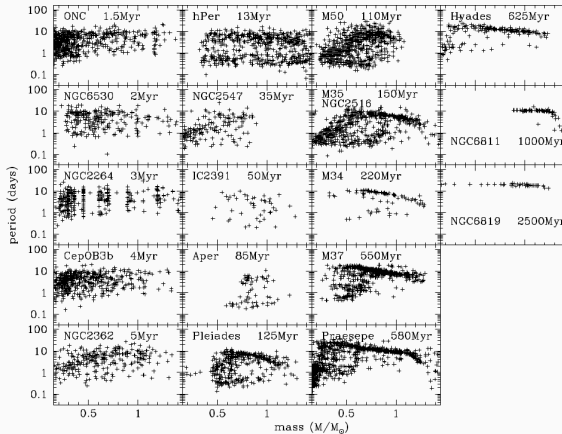
Contenu de la grille : Dans quel but? - Pourquoi?

- Toujours plus de données de plus en plus précises, K2 toujours, TESS ou PLATO
- La rotation est également un paramètre fondamental, aujourd'hui déduit au même titre que la Teff ou la luminosité : Il est temps de l'inclure dans les modèles stellaires.
- On a toujours "besoin" de connaître l'âge d'une étoile
- (Une physique mise à jour. Pas de grille PMS STAREVOL depuis Siess 2000 !)

Credit :
NASA
MIT
TAS, ESA



- Nouvelle génération de télescopes adaptée pour observer des étoiles hôtes d'exoplanètes susceptibles d'abriter la vie (eau liquide). → **Étoiles de faible masse**
- L'évolution du moment cinétique passe (très probablement) par une redistribution interne → **Dépendant de la taille du coeur radiatif (masse, Z)**



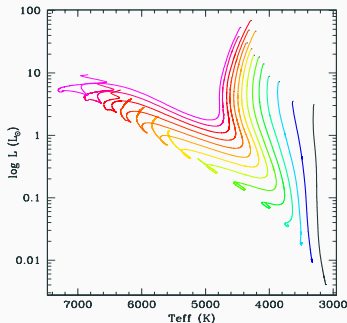
- Interaction avec le disque protoplanétaire
→ Fort couplage du disque avec l'étoile hôte - Interactions complexes
- Redistribution interne du moment cinétique de l'étoile
→ Transport au sein de la zone radiative de l'étoile du à des instabilités (magnéto-)hydrodynamiques.
- Couplage du vent stellaire avec le champ magnétique à grande échelle
→ Perte de moment cinétique de l'étoile par le couplage de son champ magnétique avec son propre vent stellaire

→ Nécessité d'un modèle d'évolution complet et cohérent

Paramètres de la Grille STAREVOL

Masse (M_{\odot})	[Fe/H]		Temps de couplage Disque-étoile (Ma)	Période de rotation initiale (jours)
0.2 - 1.5	+0.3; +0.15; 0.0	std	–	–
	-0.15; -0.5; -1.0	rot	2,5; 5	9; 4,5; 1,5

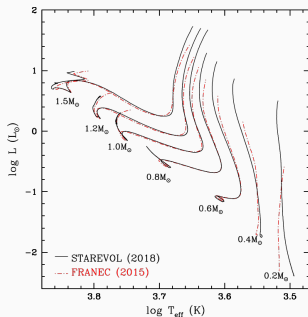
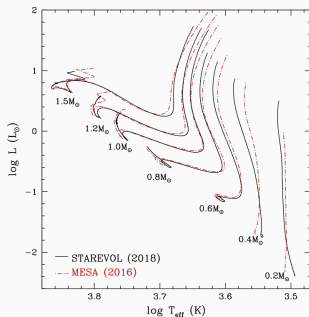
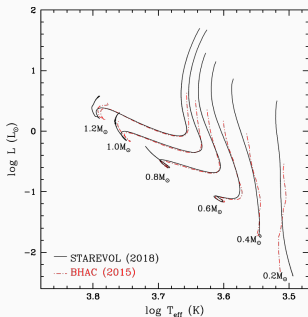
- Mélange solaire : Asplund et al. (2009)
- Atmosphère - PHOENIX (Allard et al. 2011)
- Convection : MLT, $\alpha_c = 1.973$ (Calibration solaire standard 10^{-4})
- Effets de la rotation sur la structure (Endal & Sofia 1976)
- Transport interne (Zahn (1992), Maeder & Zahn (1998), Mathis & Zahn (2004))
- v_v : Zahn (1992)
- v_h : Mathis et al. (2018?)
- τ_W : Matt et al. (2015)
- Perte de masse (Reimers 1975 ou Cranmer & Saar 2011 (Donne une estimation de \vec{B}_{eq}))



Standard - Sans rotation - Comparaison à d'autres grilles actuelles

- 19 masses : 0,2 - 1,5 M_{\odot} par pas de 0,1 et 0,05 entre 0,7 et 1,3 M_{\odot}
- 6 métallicités : $[Fe/H] = +0,3; +0,15; 0,0$ (Asplund et al. 2009); $-0,15; -0,5; -1,0$
- 114 modèles standard et 342 modèles en rotation

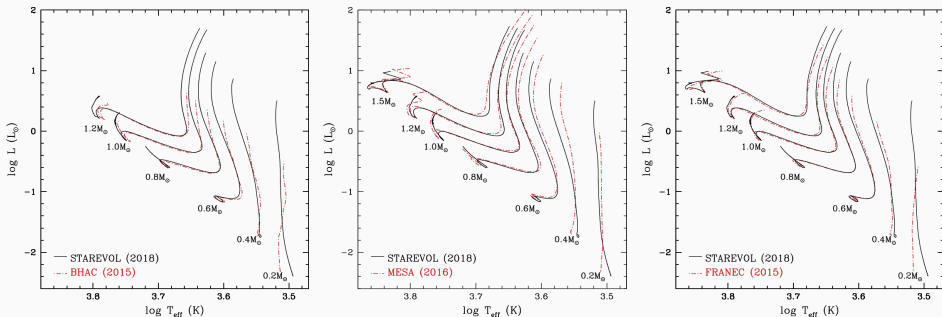
Comparaison des tracés évolutifs avec d'autres modèles d'évolution standard



Standard - Sans rotation - Comparaison à d'autres grilles actuelles

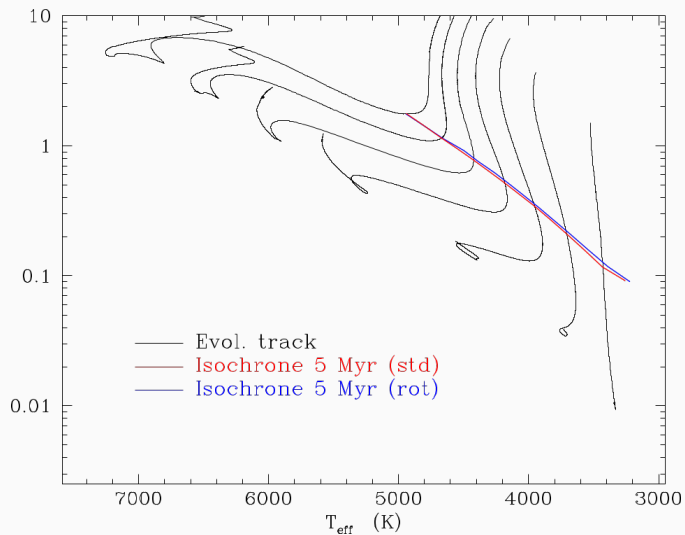
- 19 masses : 0,2 - 1,5 M_{\odot} par pas de 0,1 et 0,05 entre 0,7 et 1,3 M_{\odot}
- 6 métallicités : $[\text{Fe}/\text{H}] = +0,3; +0,15; 0,0$ (Asplund et al. 2009); $-0,15; -0,5; -1,0$
- 114 modèles standard et 342 modèles en rotation

Comparaison des tracés évolutifs avec d'autres modèles d'évolution standard

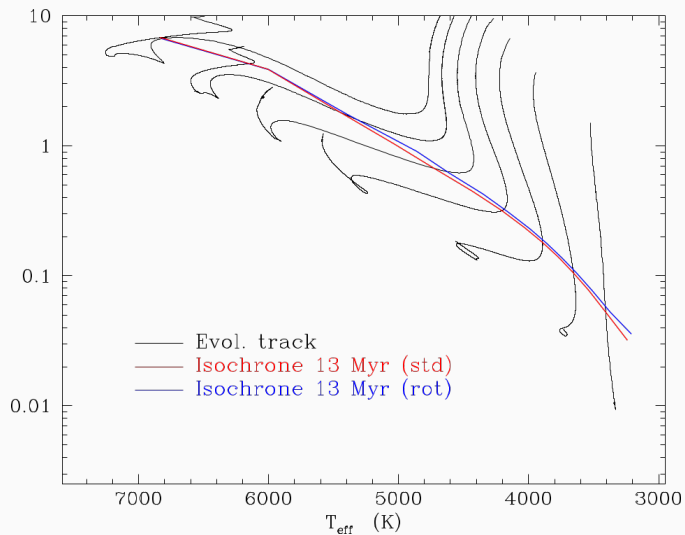


→ On se compare bien aux modèles actuels !

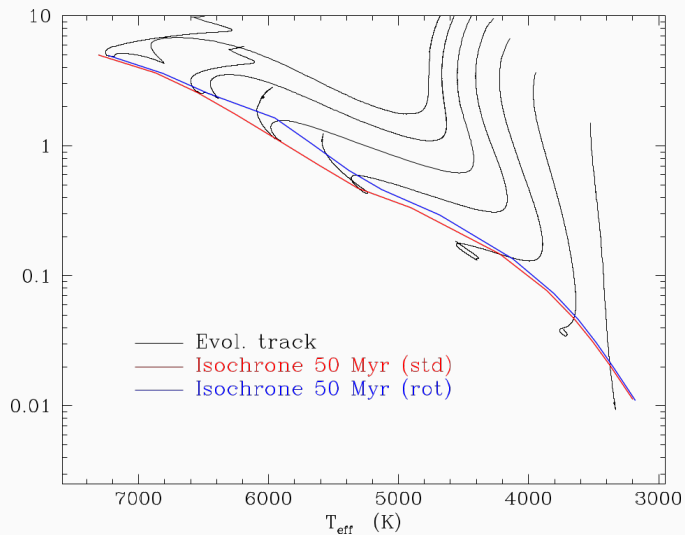
Modèles avec rotation - Quelles différences ?



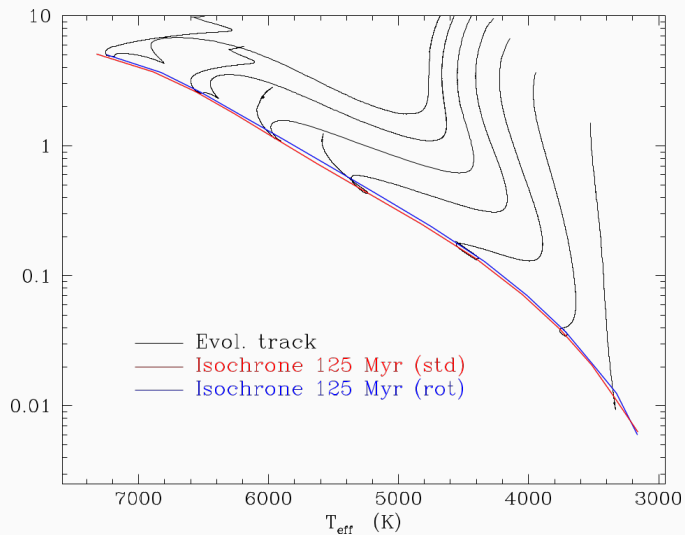
Modèles avec rotation - Quelles différences ?



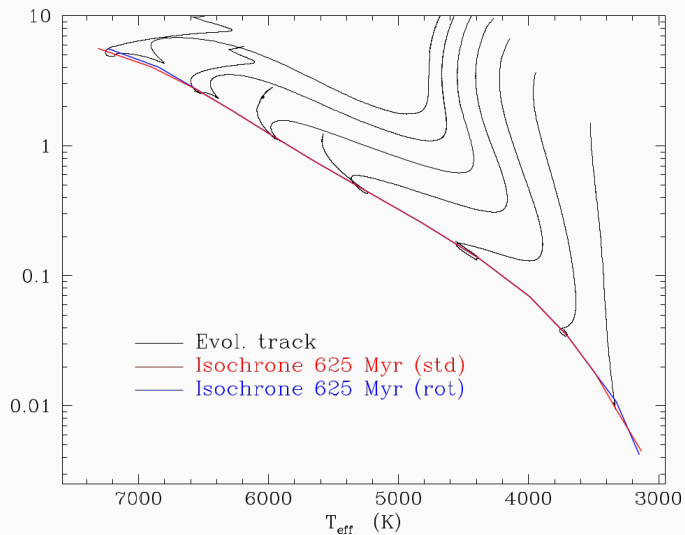
Modèles avec rotation - Quelles différences ?



Modèles avec rotation - Quelles différences ?



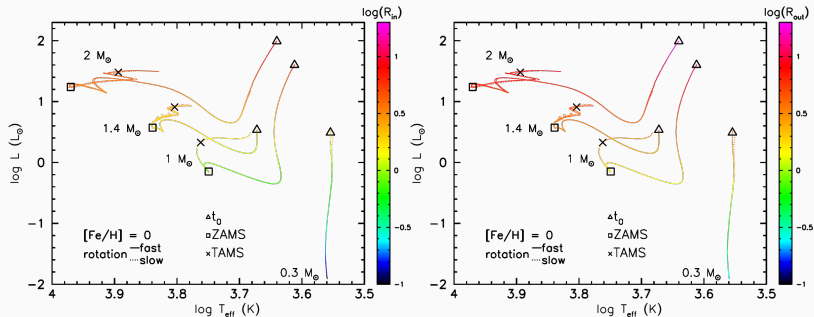
Modèles avec rotation - Quelles différences ?



Applications

- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires

- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires

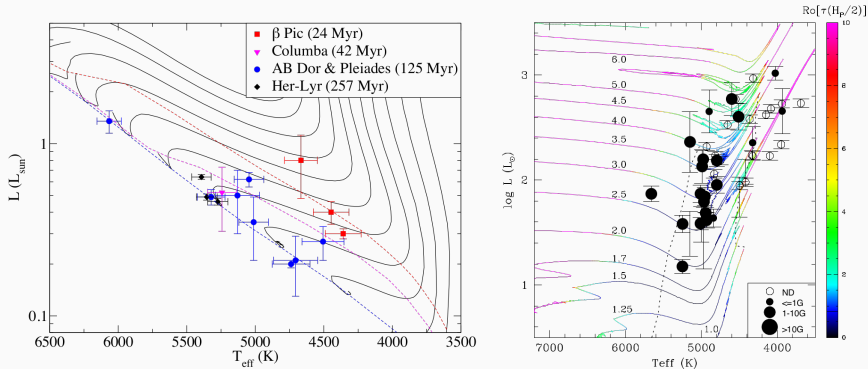


Gallet et al. (2016)

- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires
- Détermination de grandeurs associées à la génération du champ magnétique

Exemples passés

- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires
- Détermination de grandeurs associées à la génération du champ magnétique



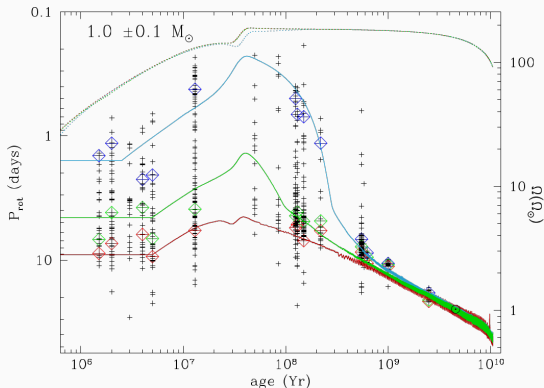
Folsom et al. (2016)
Charbonnel et al. (2017)

- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires
- Détermination de grandeurs associées à la génération du champ magnétique
- Détermination des grandeurs astérosismiques au cours de l'évolution à l'aide des lois d'échelle
→ Lagarde et al. (2016)

- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires
- Détermination de grandeurs associées à la génération du champ magnétique
- Détermination des grandeurs astérosismiques au cours de l'évolution à l'aide des lois d'échelle
- Détermination du taux de rotation de surface de l'étoile

Exemples passés

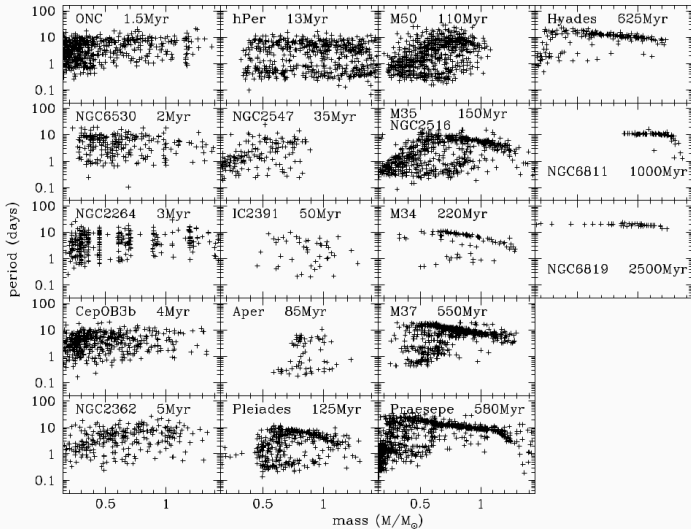
- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires
- Détermination de grandeurs associées à la génération du champ magnétique
- Détermination des grandeurs astérosismiques au cours de l'évolution à l'aide des lois d'échelle
- Détermination du taux de rotation de surface de l'étoile



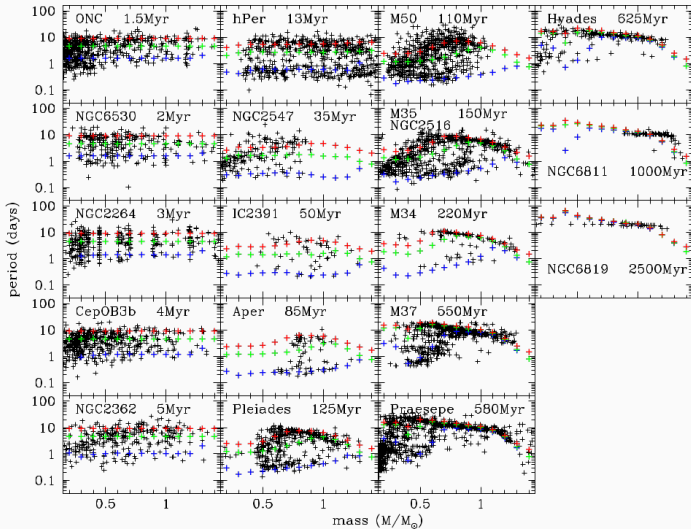
Amard et al. (2016)

- Évolution de la "zone habitable" en fonction des paramètres stellaires
- Détermination de grandeurs associées à la génération du champ magnétique
- Détermination des grandeurs astérosismiques au cours de l'évolution à l'aide des lois d'échelle
- Détermination du taux de rotation de surface de l'étoile
- Évolution du profil de rotation au cours de l'évolution - Test du transport à différentes masses et différentes compositions chimiques
→ Mathis et al. (soumis)

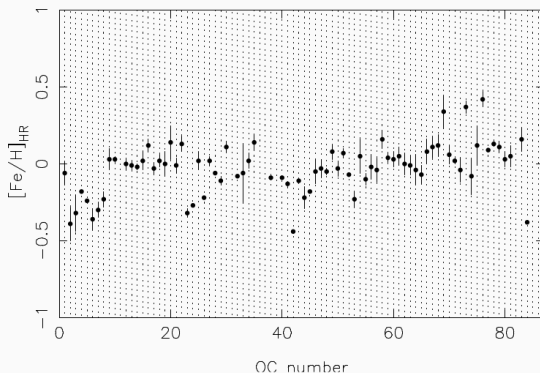
Évolution de la rotation



Évolution de la rotation

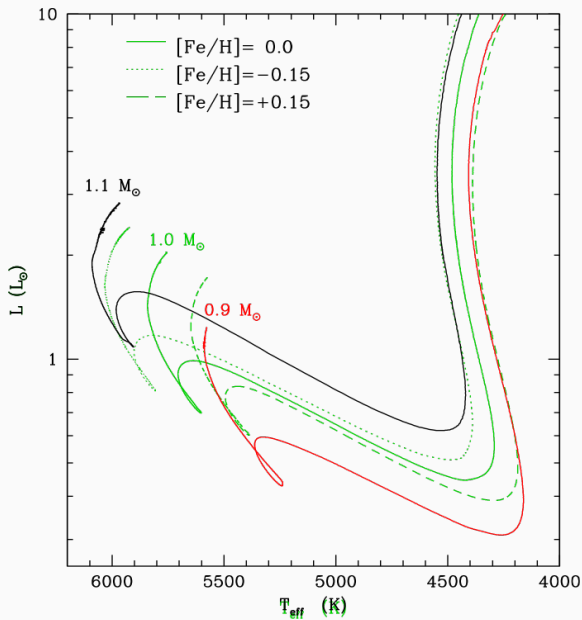


- Les amas ouverts ont une gamme de métallicité très restreinte en leur sein (< 0.02 dex, Jovy et al. 2016) → Très pratique
- Cependant, d'un amas à l'autre la métallicité ($[Fe/H]$) peut varier jusqu'à ± 0.3 dex (Netopil et al. 2016). Y compris parmi les amas les plus courants (Hyades, Praesepe, etc...) :

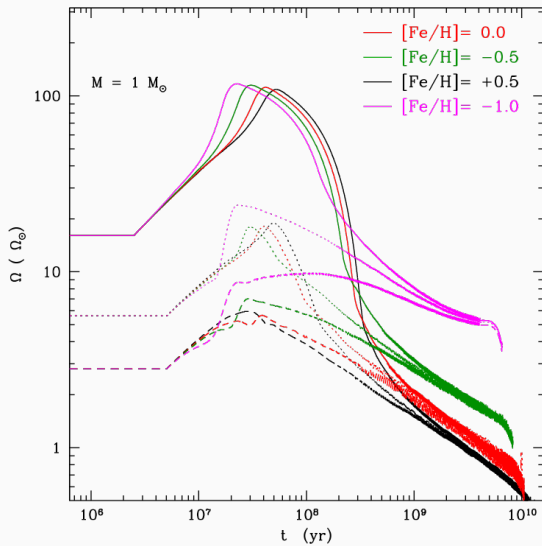


Netopil et al. (2016)

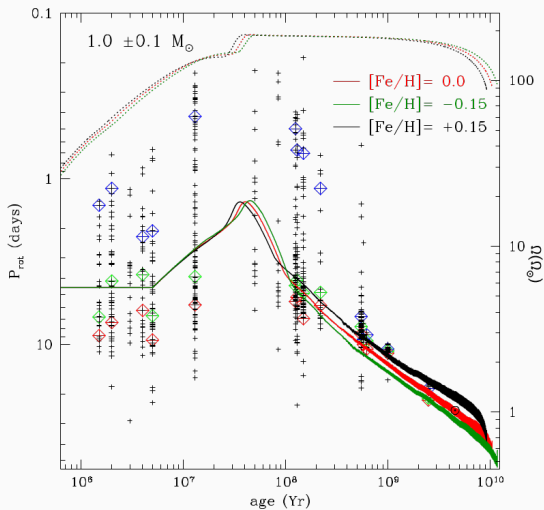
Rotation à différentes métallicité - Quels effets?



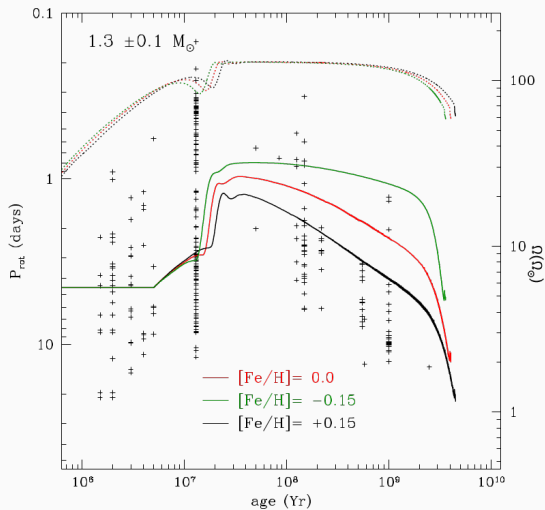
Rotation à différentes métallicité - Quels effets?



Rotation à différentes métallicité - Quels effets?



Rotation à différentes métallicité - Quels effets?



Conclusion

Conclusion

- Une grille complète et cohérente d'étoiles de faibles masses en rotation avec de nombreuses grandeurs à dispositions (Paramètres astérosismiques, temps de retournement, paramètres stellaire, structure stellaire, etc...)
- De multiples applications possibles et (pour certaines) déjà commencées
- La rotation de surface est aujourd'hui à relativement bien modélisée contrairement à la rotation interne
- La métallicité autant que la masse est un élément à prendre en compte soigneusement lorsque l'on étudie la rotation des étoiles de faible masse
- À faire : redéterminer les masses/âges des étoiles d'amas ouverts pour en étudier les propriétés de manière cohérente
- Transport interne à développer
- Amusez-vous avec !