

OSUG

Observatoire des
Sciences de l'Univers
de Grenoble



Activité dans les séries temporelles : vitesses radiales

Nadège Meunier, IPAG

Plan

- ▶ Introduction
 - ▶ Méthodes RV : pour détecter des exo-planètes !
- ▶ Principes / méthodes
 - ▶ Processus
 - ▶ Problématique : impact de l'activité et illustration
 - ▶ Processus, échelles de temps, ...
 - ▶ Qu'attend-on selon le type d'étoiles ?
 - ▶ Méthodes
 - ▶ Comment résoudre le problème ?
- ▶ Résultats récents
- ▶ Conclusion, pistes



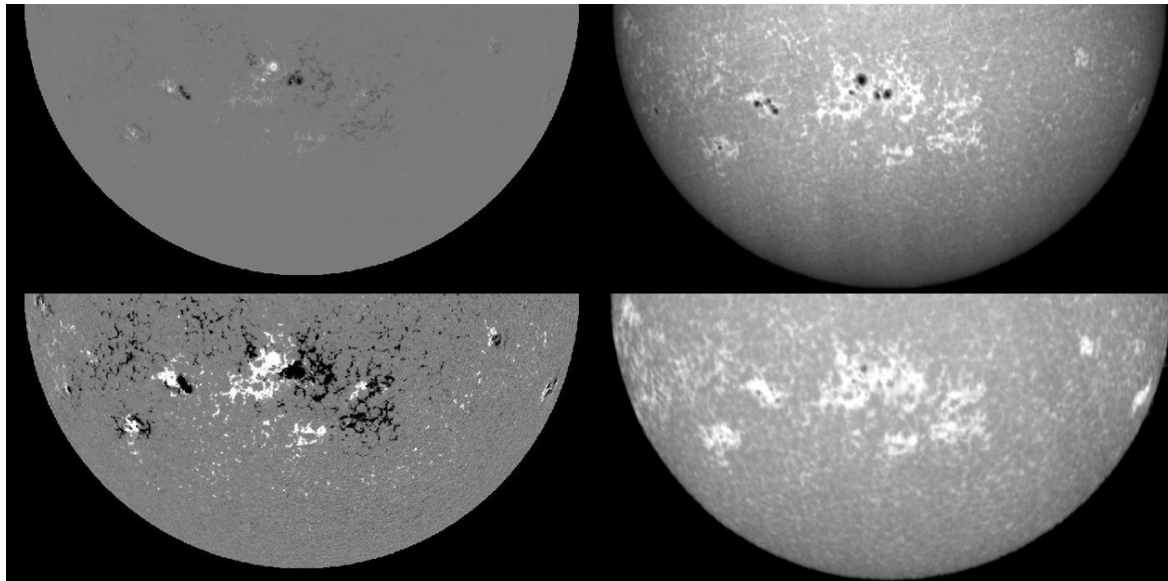
Problématique générale

- ▶ RV : habituellement pas utilisées pour étudier l'activité stellaire
 - ▶ Soleil :
 - ▶ Peu d'observations long terme **RV intégrée** similaire / stables très long terme
 - ▶ Approches possibles : MDI/SOHO par ex. + 1 exp. récente (Dumusque)
 - ▶ Stellaire
 - ▶ OBJECTIF = recherche d'exo-planètes
- ▶ L'activité est plutôt vue comme un frein à la recherche d'exo-planètes
- ▶ On peut s'en servir pour étudier l'activité sous ce point de vue
 - ▶ En complément d'autres indicateurs : Complémentarité des techniques (beaucoup de **dégénérescences**, processus parfois différents)
 - ▶ Mais :
 - ▶ Echantillonnage temporel en général pas optimal
 - ▶ Echantillons biaisés vers étoiles peu actives

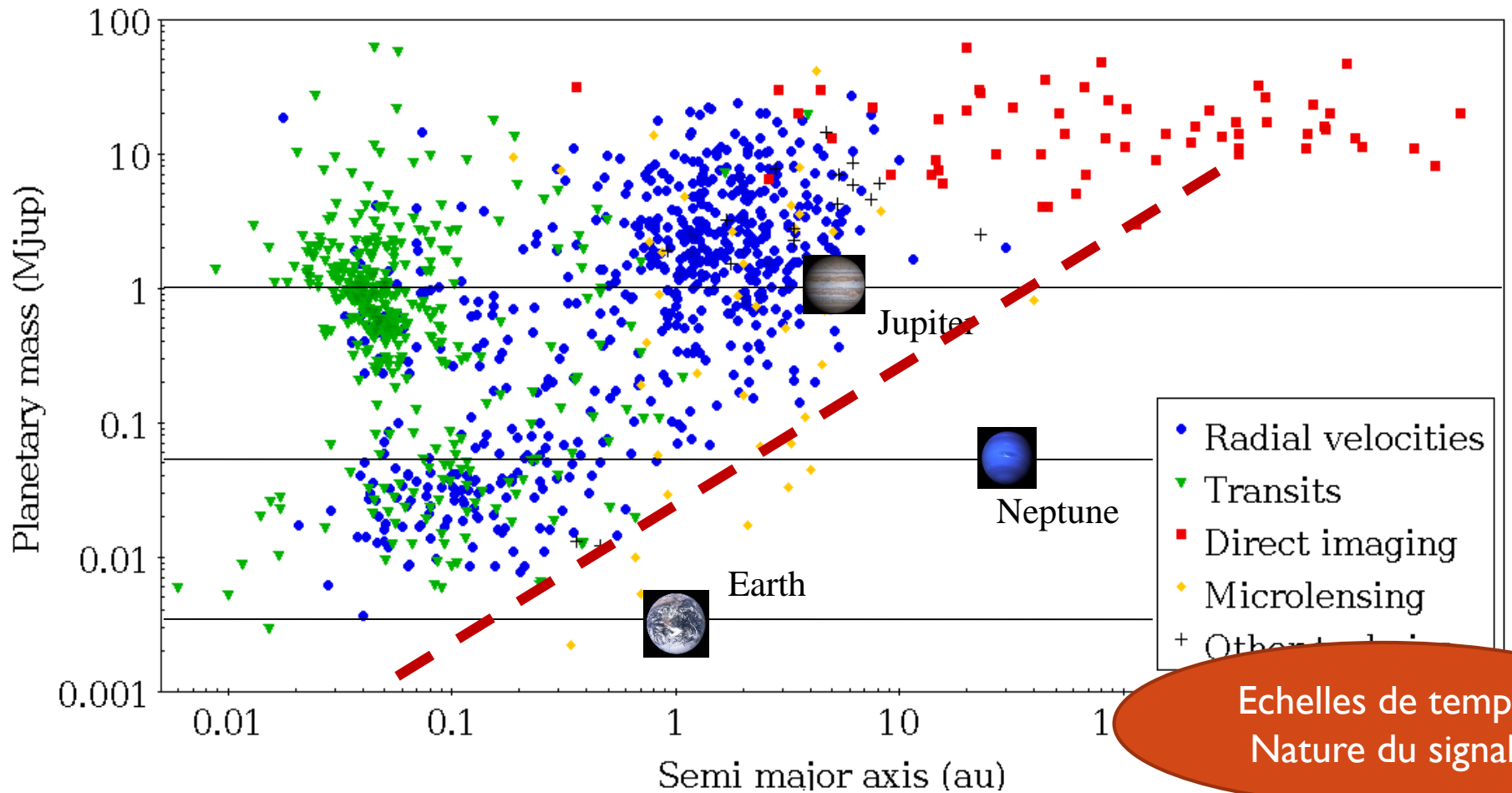
Un mot sur les dégénérescences

- ▶ Photométrie : on observe un résidu (entre taches et plages)
- ▶ Zeeman-Doppler : on observe un résidu (entre polarités)
- ▶ Emission chromosphérique : sensibles aux plages
- ▶ RV : résidu pour partie (taches/plages + position /disque)

Besoin de combiner
différentes méthodes !



>20 ans de recherches d'exoplanètes



- ▶ En général indirect → **On observe l'étoile, pas la planète**
- ▶ Instruments de plus en plus performants → recherche de planètes de moins en moins massives → **signaux de plus en plus faibles**

Approches à l'interface entre 3 thématiques

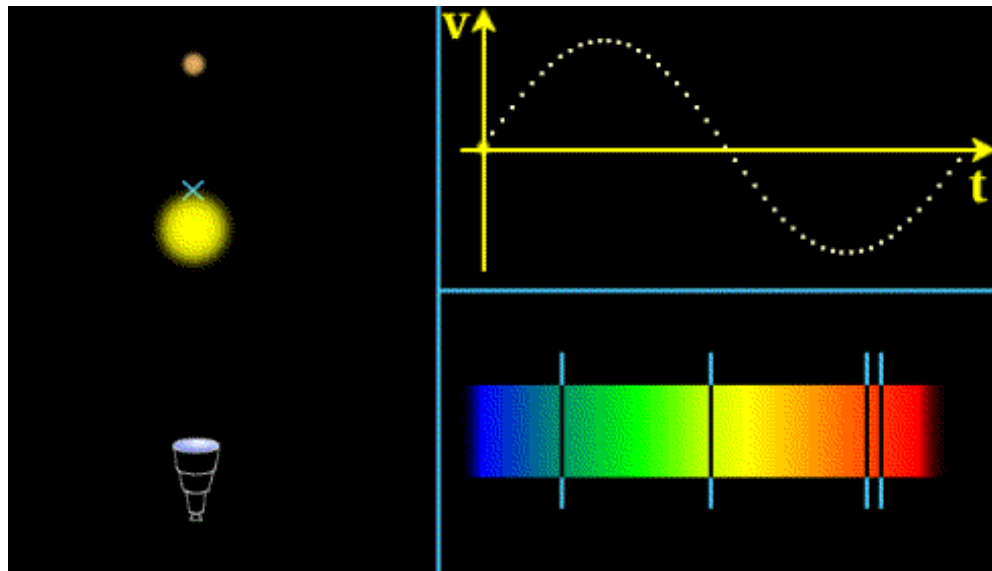
Etude du
Soleil

Etude des
autres
étoiles

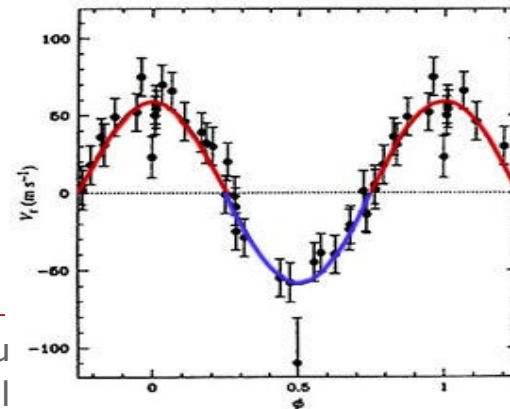
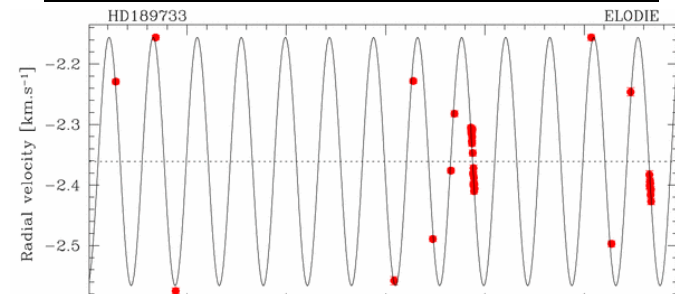
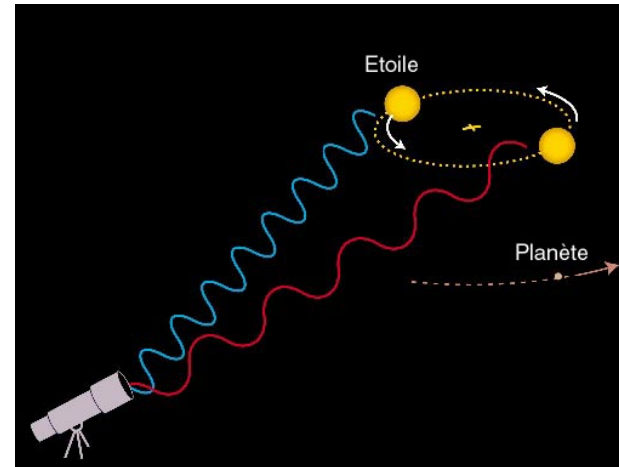
Détection
d'exoplanètes

*Méthodes de détection
indirectes : sensibles à
l'activité des étoiles*

Signal exoplanétaire / RV



© E. Pécontal



Mayor & Queloz 95
51 Peg

Quelques instruments actuels / futurs

▶ Instruments dans le visible

- ▶ HARPS (Sud, 3.6m La Silla, et Nord)
- ▶ Sophie (1.93m OHP)
- ▶ Espresso arrive bientôt au VLT (8m x 1-4UT) 1^{ère} lumière déc. 2017

▶ Instruments IR

- ▶ Spirou (CFHT) arrive sur le ciel !

▶ Principales caractéristiques des spectrographes

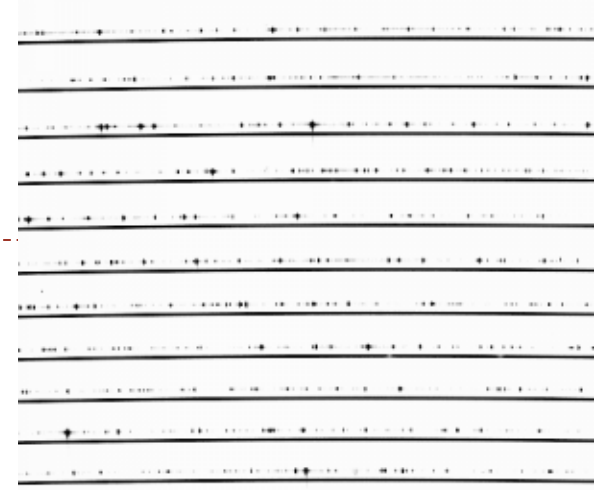
- ▶ Haute résolution spectrale (ex env. 120000)
- ▶ Grande stabilité long terme (<1 m/s visé sur F-G-K peu actives)
- ▶ Transmission, domaine λ , échantillonnage
- ▶ \rightarrow SN sur les spectres dans un domaine 10-500 (selon étoile...)



Des spectres aux RV

- ▶ Spectre échelle + calibration longueur d'onde
- ▶ Extraction d'un spectre par ordre
- ▶ [Spectre 1D]

- ▶ Différentes méthodes spectre → RV
 - ▶ Pipeline standard HARPS : cross-corrélation du spectre avec un masque (binaire)
 - ▶ Techniques plus avancées = Comparaison avec un spectre de référence (de l'étoile), ex:
 - ▶ SAFIR : dans l'espace de Fourier [Chelli+00](#), [Galland+ 05](#) optimisation pour étoiles chaudes (mais ok pour les autres aussi)
 - ▶ HARPS-TERRA [Anglada-Escude+ 2012](#) espace réel
 - ▶ NAIRA : dans l'espace réel [Astudillo+](#) (optimisation naines M + Spirou)
- ▶ Quelques ordres de grandeurs
 - ▶ Largeur typique raie solaire 2 km/s ; des étoiles à qqes 10 km/s
 - ▶ 1 pixel HARPS = 0.01 Ang \approx 600 m/s à 5000 Ang
 - ▶ Planètes : qqes m/s à qqes 100 m/s



Stratégie observationnelle habituelle

- ▶ **Échantillonnage temporel**
 - ▶ Moyen/Long terme : va conditionner le type de planète (P révol.)
 - ▶ Court terme : dépend de la variabilité (pulsation en particulier, granulation)
- ▶ **Contraintes obtention temps télescope et conditions**
- ▶ **+ Observabilité de étoiles**
 - ▶ Va structurer fortement l'échantillonnage long terme
 - ▶ → très éloigné d'un échantillonnage régulier
- ▶ **Des étoiles observées 2-3 ans**
 - ▶ Puis éliminées des échantillons car très actives !
- ▶ **Observations « ponctuelles » / grands relevés, ex:**
 - ▶ Etoiles plutôt âgées : M (Bonfils/Delfosse) ; FGK (Major/Udry) ; AF (Lagrange)
 - ▶ Étoiles jeunes M->F (Lagrange)

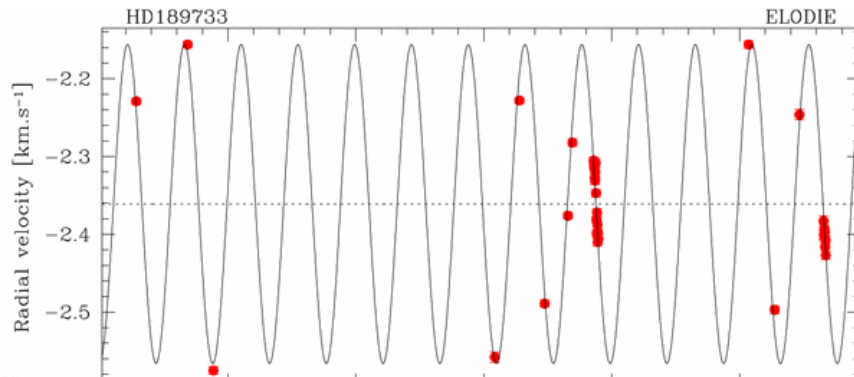
Type de signal

Vélocimétrie

Planète : Recherche d'un signal longue durée (selon Ppla)

Activité : Signal à différentes échelles

Echantillonnage *très irrégulier*

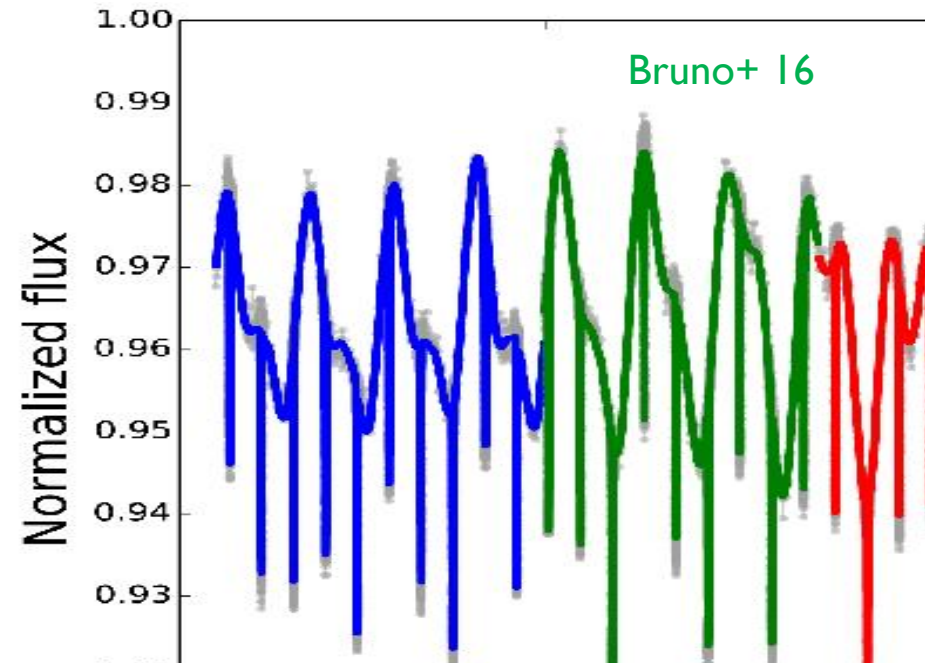


Transit photométrique

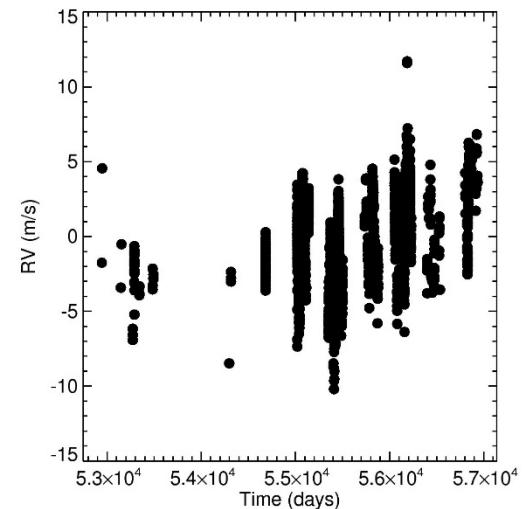
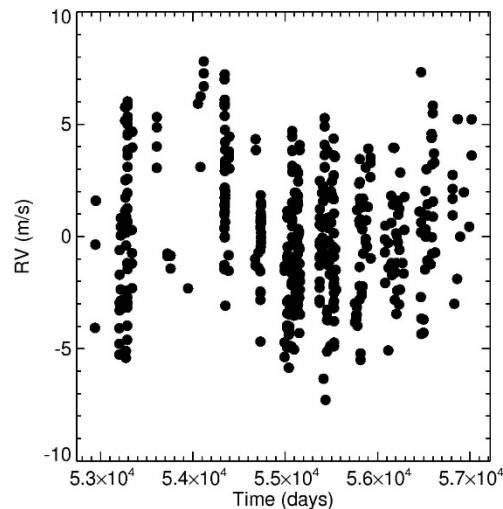
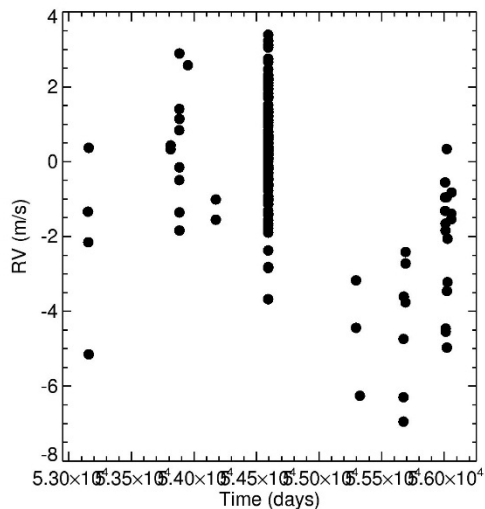
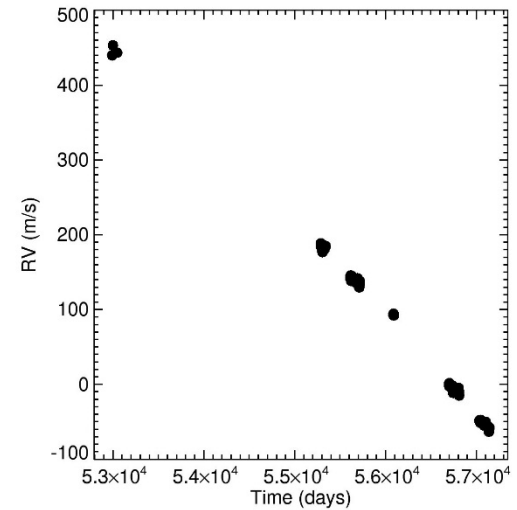
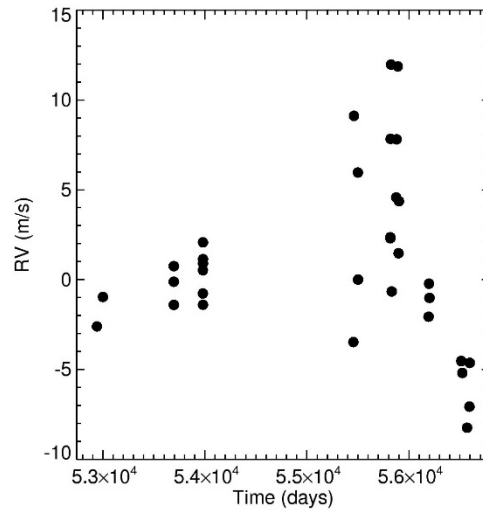
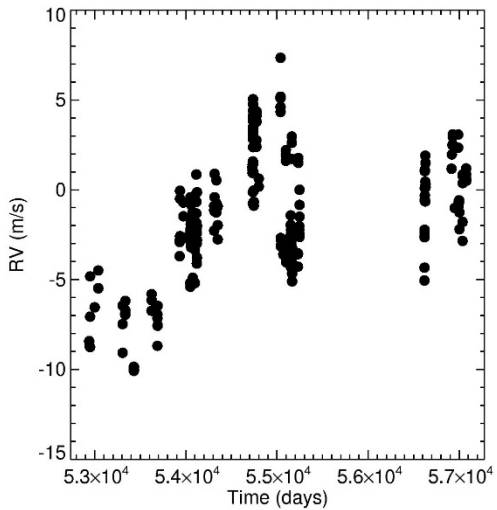
Planète : Recherche d'un signal courte durée dans une longue série

Activité : différent !

Echantillonnage *très régulier*



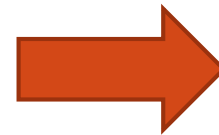
Quelques exemples RV : variabilité + échantillonnage (HARPS, F-G-K)



Analyse de données typique

(RV → informations sur planète et étoile)

- ▶ Données de base : Série temporelle RV
- ▶ Fits képlerien sur $RV(t)$
 - ▶ Modèle planète(s)
- ▶ Périodogrammes
 - ▶ Recherche pic pouvant être dû à une planète
 - ▶ Pics activité également visibles (ex Prot) quand étoile active
 - ▶ Peut être une structuration assez complexe
 - ▶ Prot pas toujours bien identifié
 - ▶ Fort impact de la fenêtre temporelle
- ▶ Si présence d'un pic : estimation signification
 - ▶ Calculs de limites de détections
- ▶ **Réciproquement : si objectif activité / présence potentielle (visible ou non) planète ou binaire !**



***Gestion
présence
d'activité***



Autres utilisations des séries temporelles spectres & vitesse radiale

▶ Astérosismologie

- ▶ Des campagnes avec suivi plusieurs nuits complètes sur une étoile (durée courte)
- ▶ Pulsations type δ Scuti de grande amplitude, ex β Pictoris

▶ Convection stellaire

- ▶ Analyse des spectres directement (mais comparaison de prédiction amplitudes RV avec RV observées), en lien avec l'activité

▶ Activité stellaire

- ▶ Au sens large ... (inclut convection, pulsations)

▶ ...

Plan : Processus et méthodes

- ▶ Principes / méthodes
 - ▶ Processus
 - ▶ Problématique : impact de l'activité sur les RV
 - ▶ Processus & échelles de temps,
 - ▶ Description détaillée des processus
 - ▶ Qu'attend-on selon le type d'étoiles ?
 - ▶ Méthodes
 - ▶ Comment résoudre le problème ?



Impact activité stellaire sur les RVs

- ▶ Variabilité à différentes échelles de temps

- ▶ Signal toujours présent

- ▶ L'activité stellaire peut :

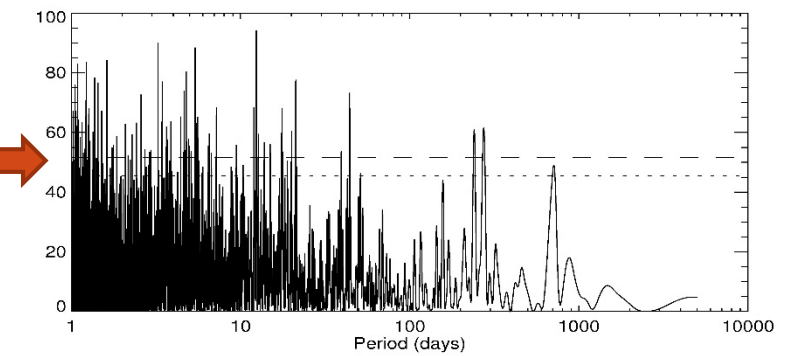
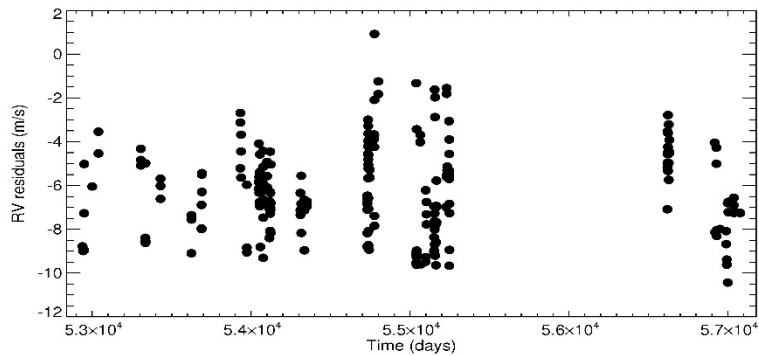
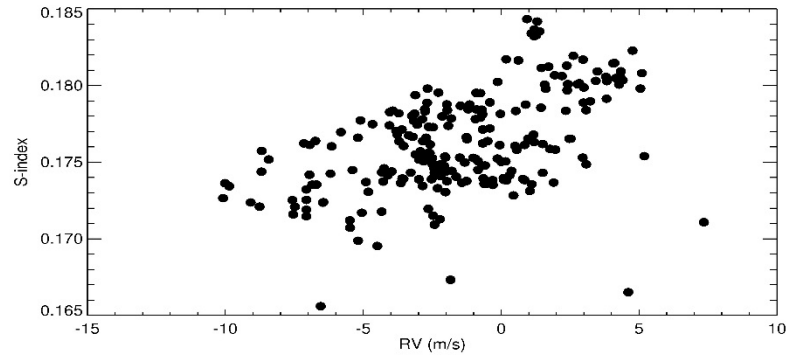
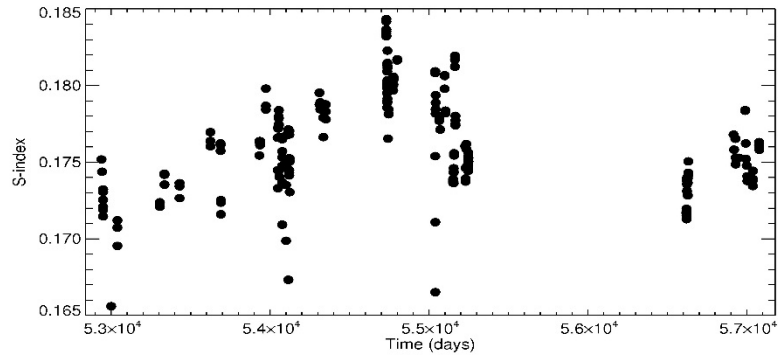
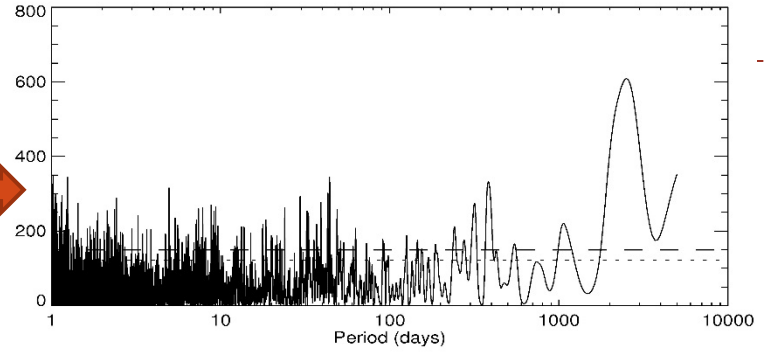
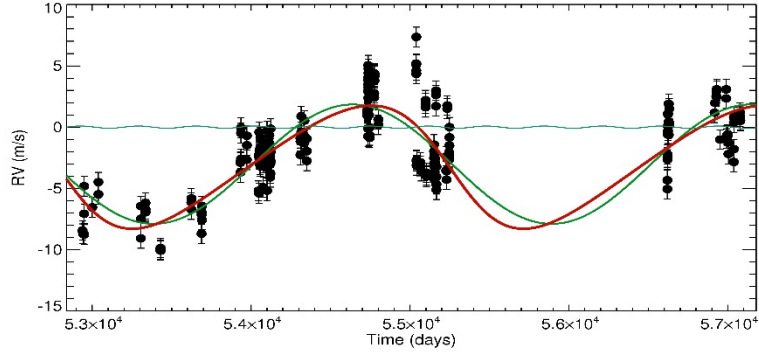
- ▶ *ressembler* à un signal exoplanétaire (RVs)

- ▶ *masquer* un signal exoplanétaire

- ▶ *perturber* la détermination des paramètres d'une planète

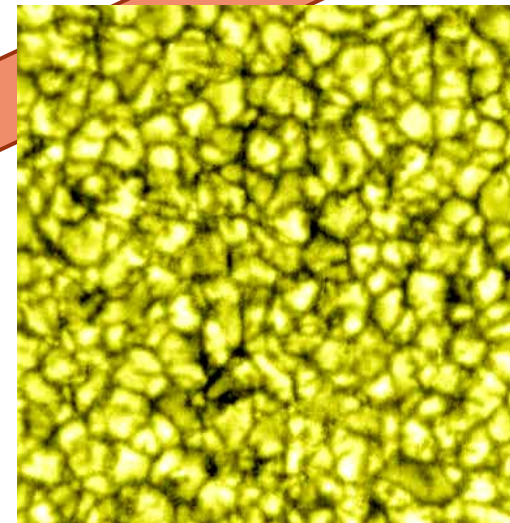


HD20807, G0

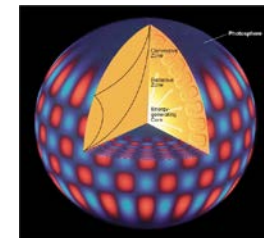


Les échelles de temps

Minutes
(-heures)



Convection
Oscillations

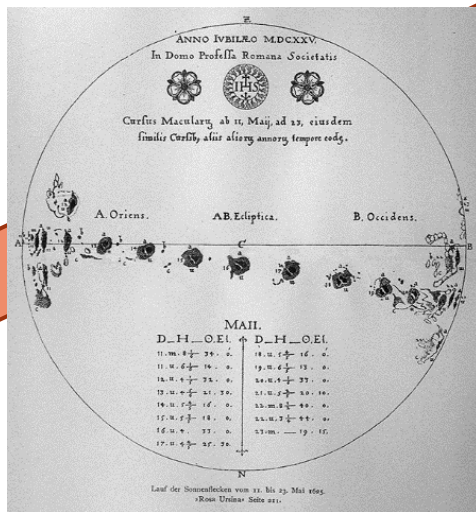


Heures-jour
(fréquences variables)

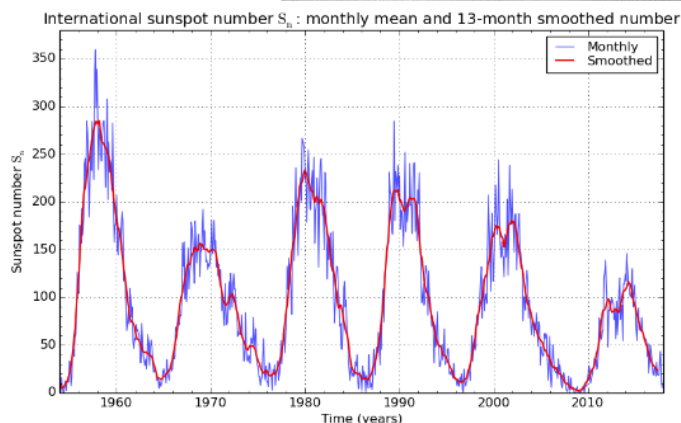


Eruptions

Mois
(jours-plusieurs mois)



Années
Décades+

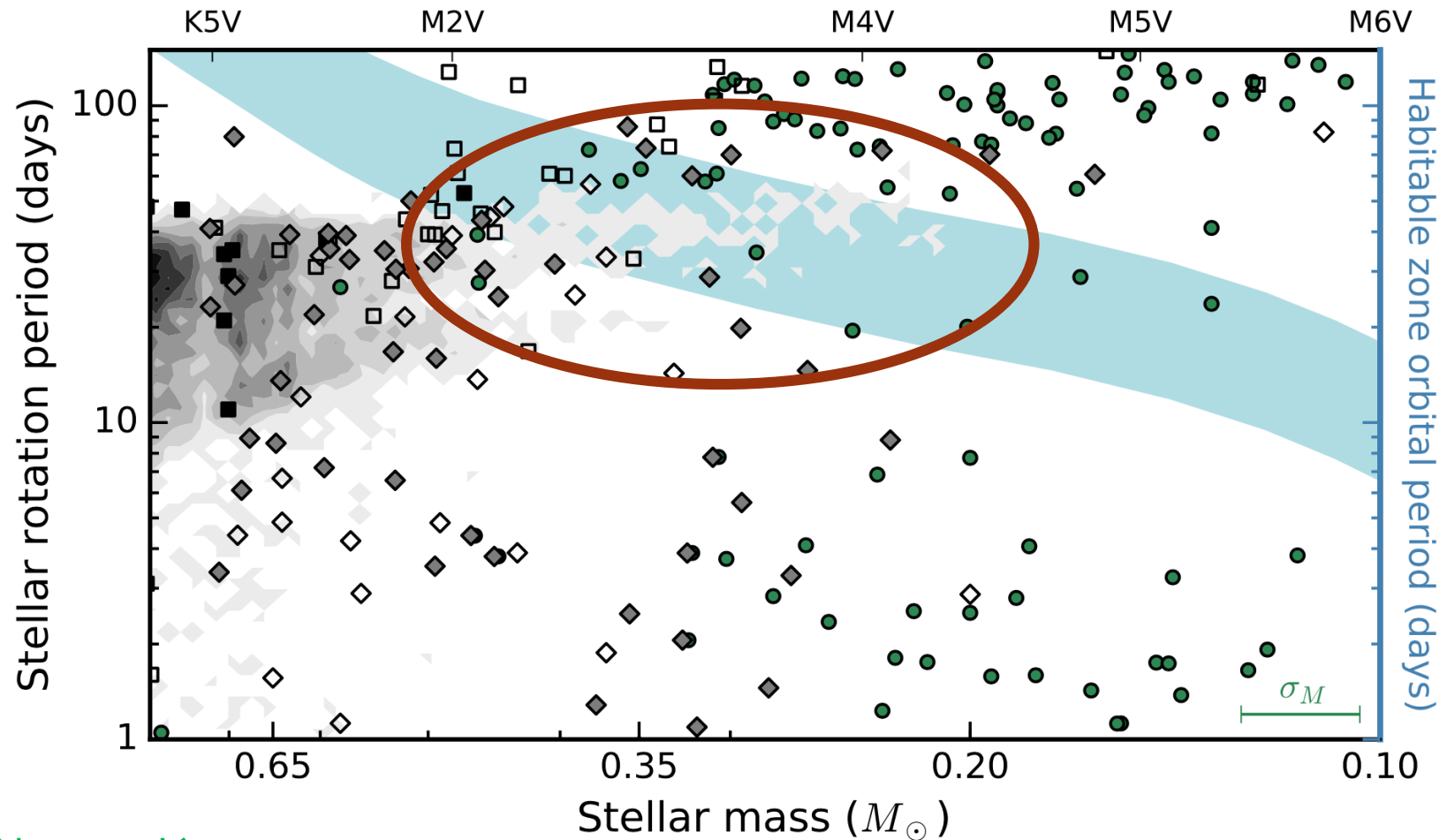


Tâches, plages

Période rotation, cycle / long terme
Evolution des structures / durées de vie

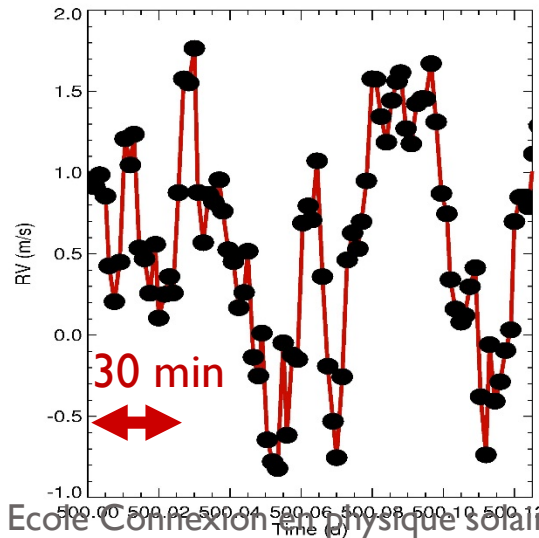
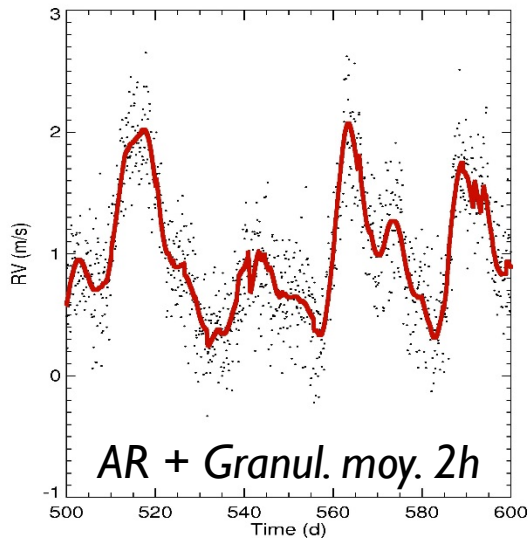
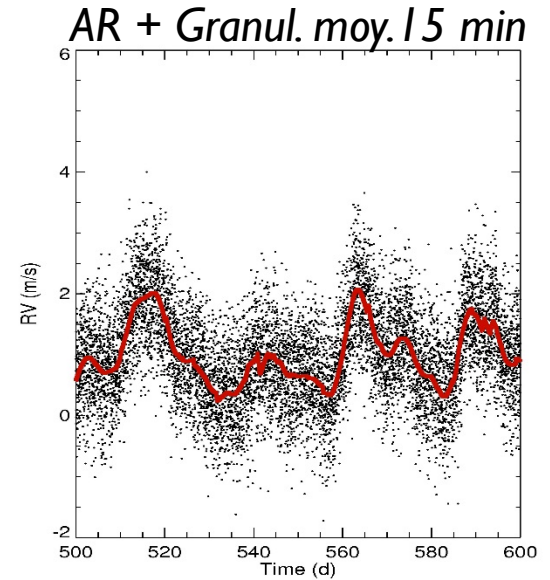
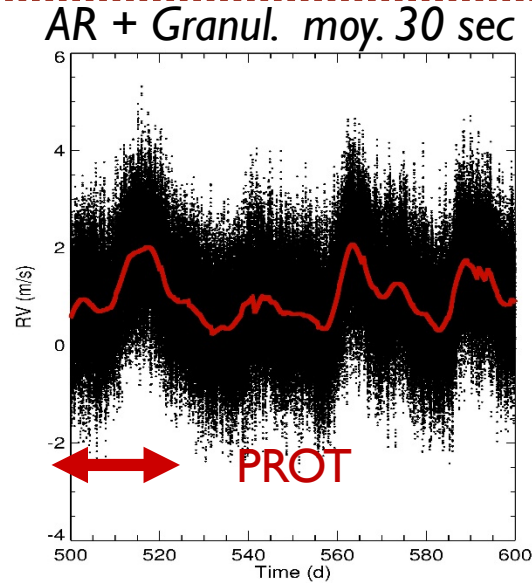
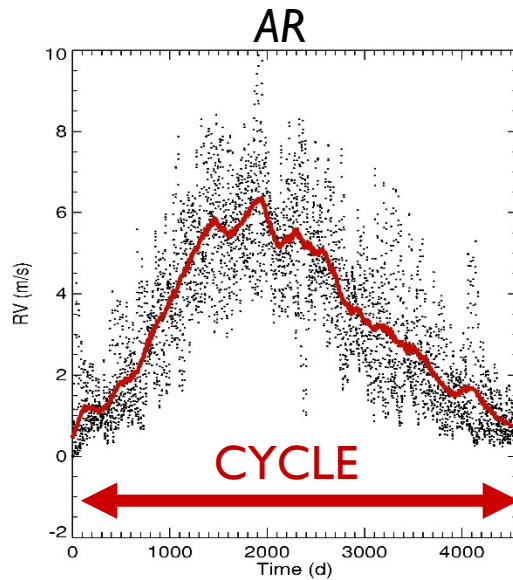
e Connexion en physique solaire et
stellaire, Banyuls, Mai 2018

Exemple d'interaction entre échelles étoile-planète



Newton+ 16

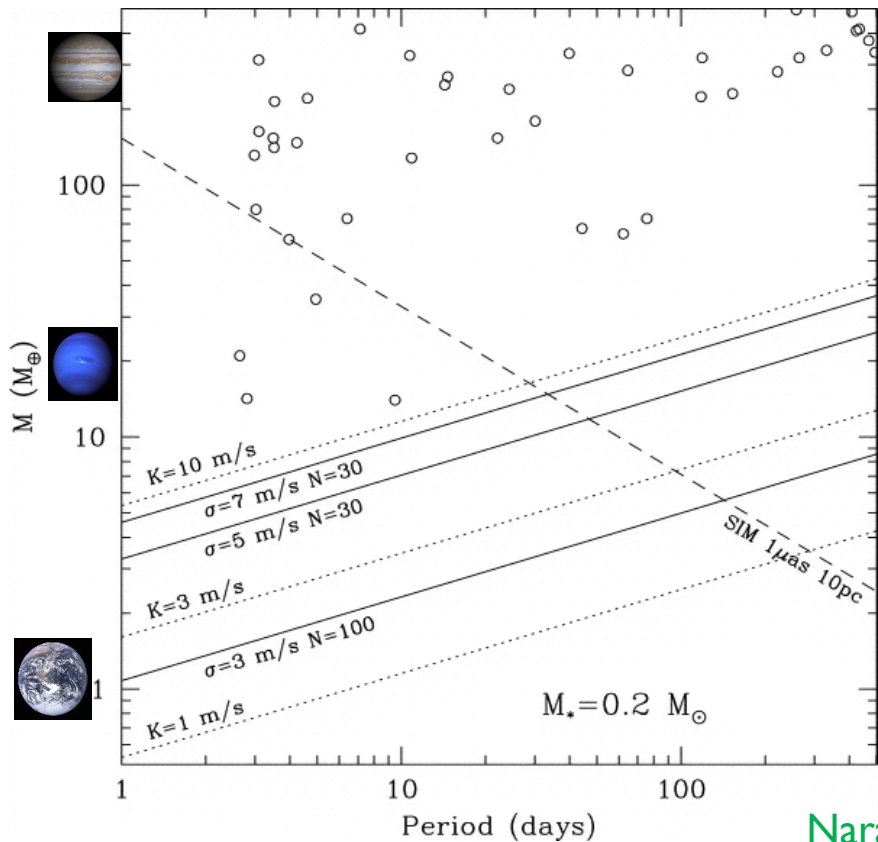
Simus solaires à différentes échelles temps



Domaine
1-8 m/s

Granulation
moy. 2min

Quelques ordres de grandeurs (M, RV)



Narayan+ 05

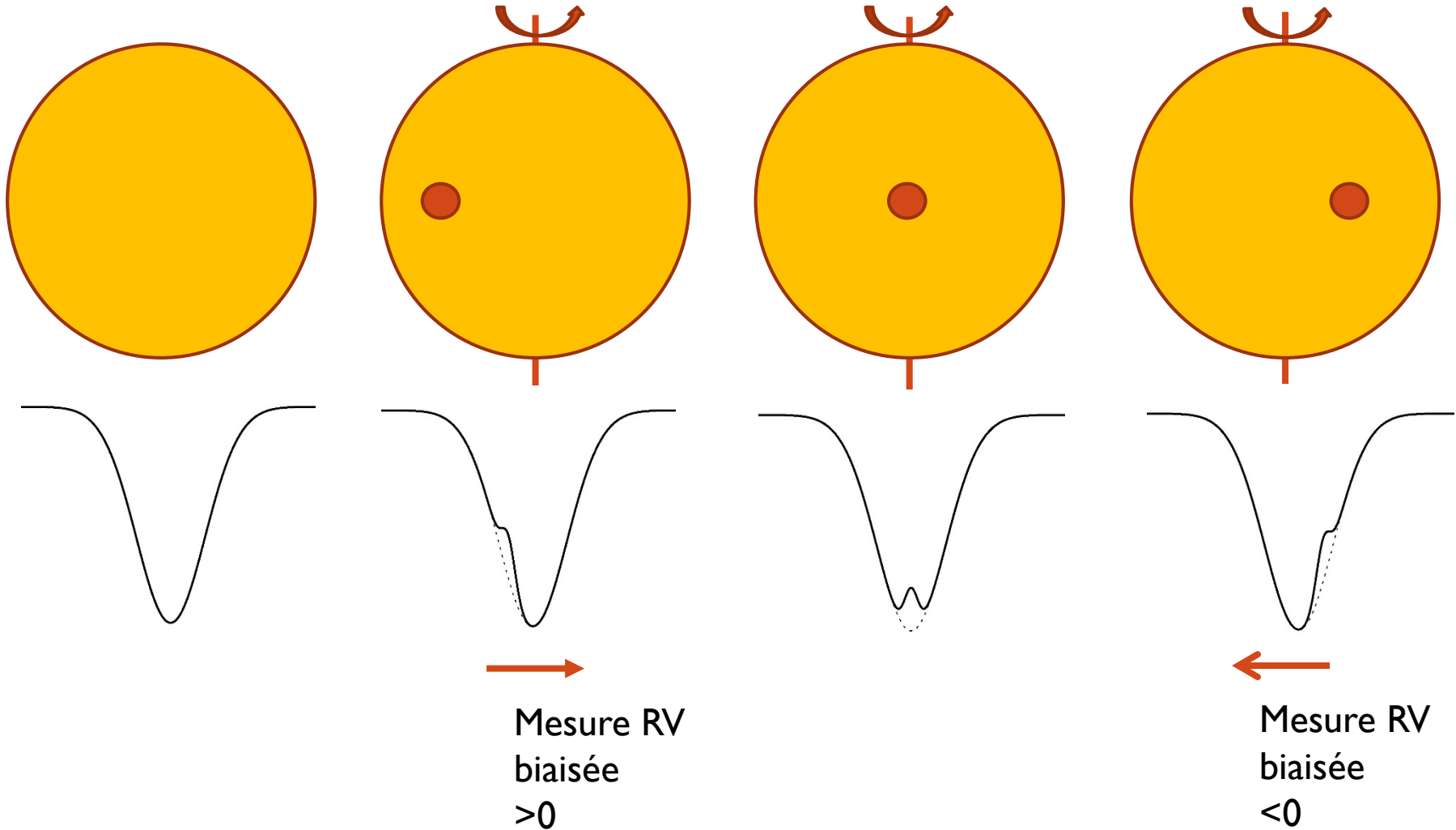
Soleil
Cycle : $A \sim 8 \text{ m/s}$
Court terme : qqes 0.1 m/s

Terre : 8 cm/s

(Meunier+ 10)

Contraste d'une structure
+ rotation et/ou évolution

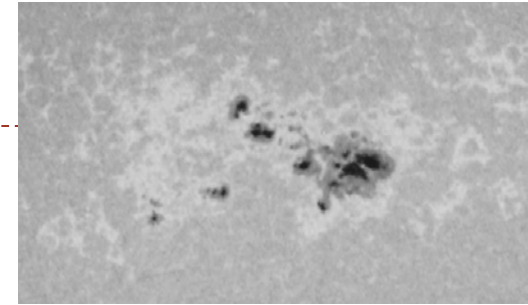
→ signal RV



Mesure RV
biaisée
 >0

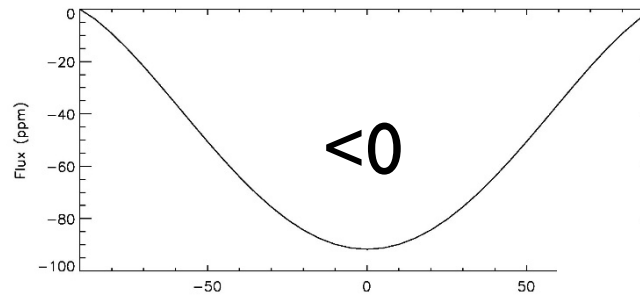
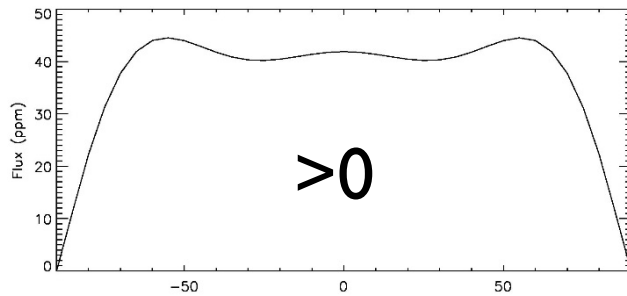
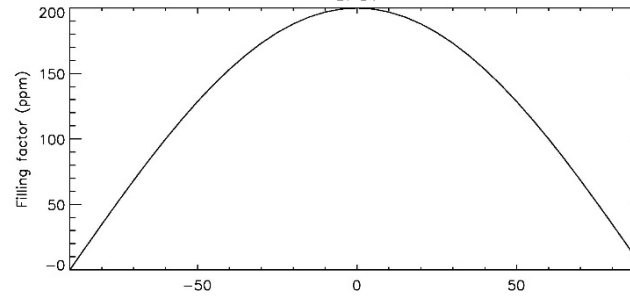
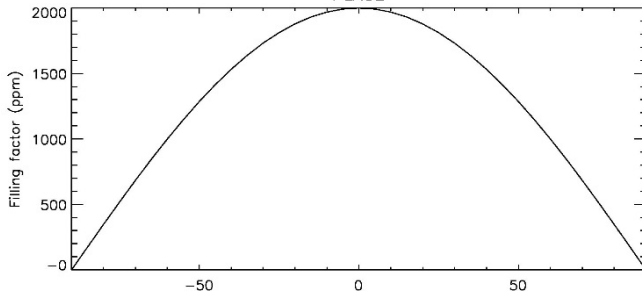
Mesure RV
biaisée
 <0

Contrastes des structures \rightarrow Variabilité photométrique et RV

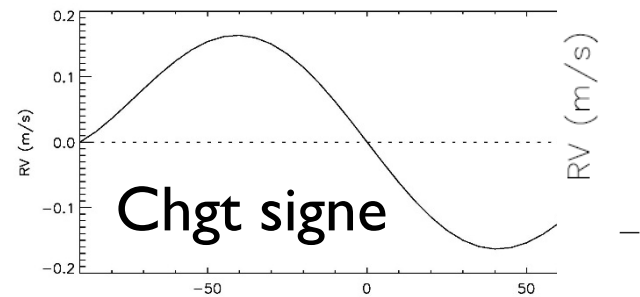
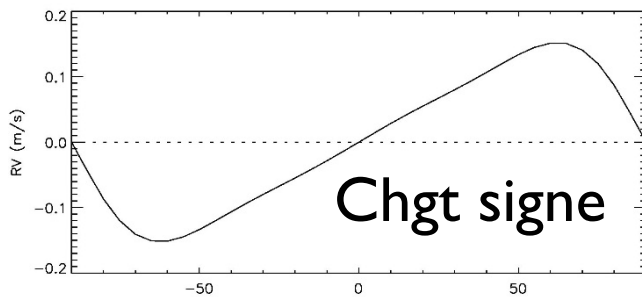


PLAGES

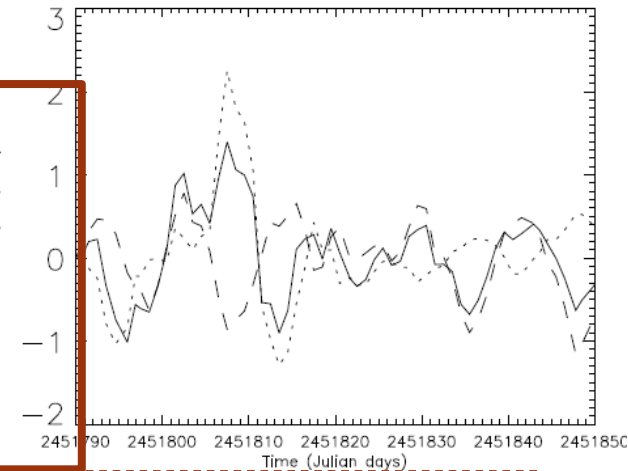
TACHES



Photométrie totale = résidu



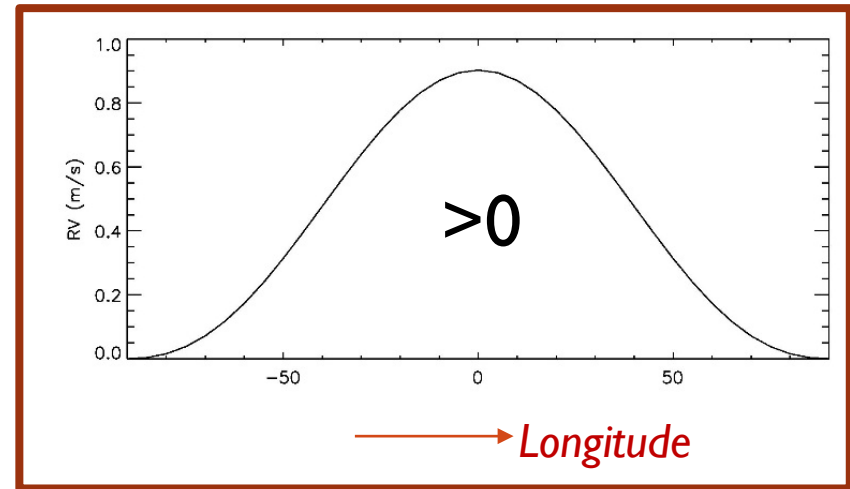
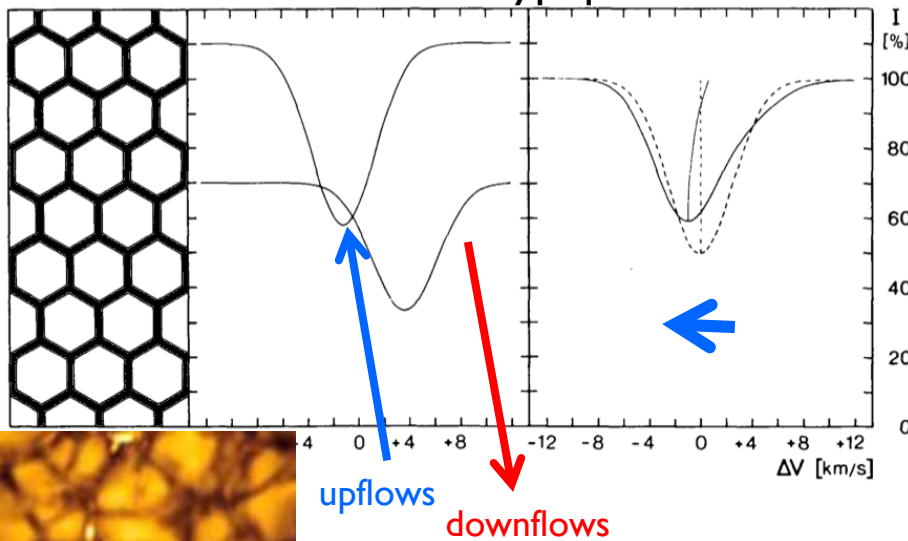
Longitude



Atténuation du blueshift convectif dans les plages 1/2

- ▶ Redshift net, variable selon le niveau d'activité (Prot, Pcycle)
- ▶ cas solaire = signal DOMINANT

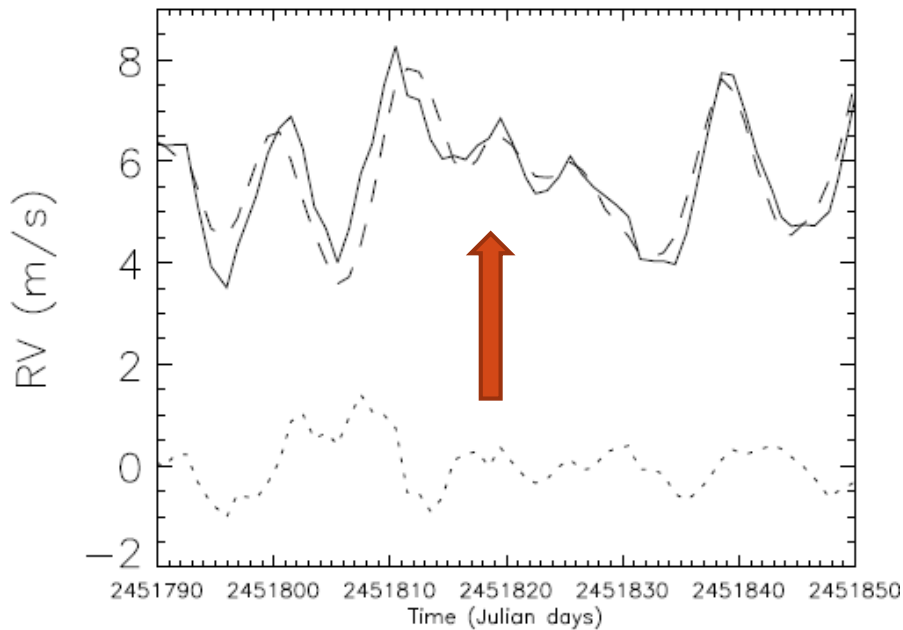
Convection typique



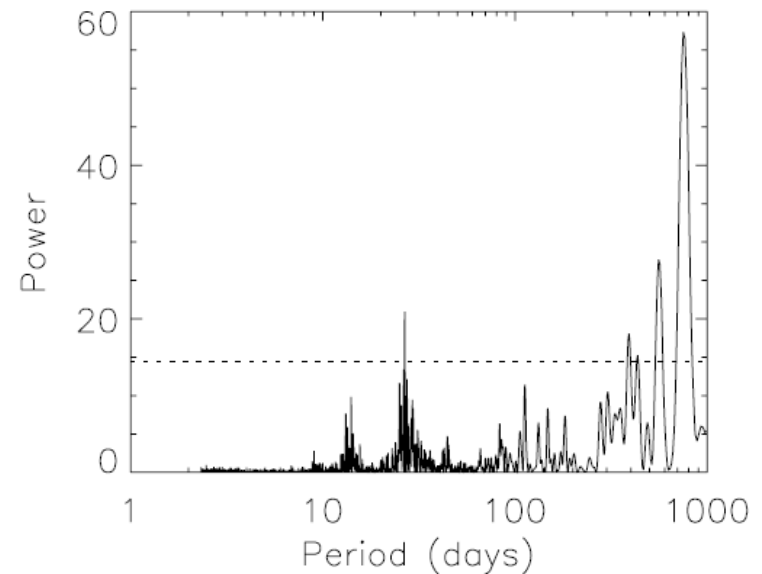
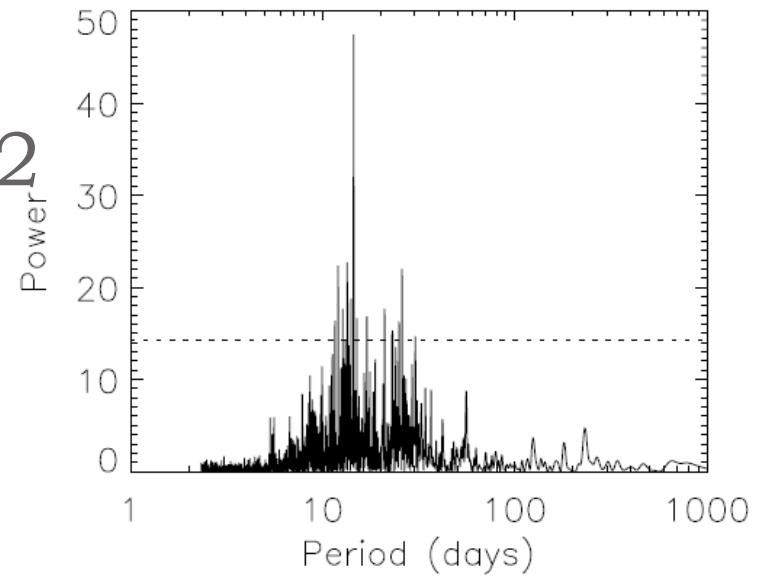
Dravins 81, ...

Atténuation du blueshift convectif dans les plages 2/2

Inhibition de la convection dans les plages → SPECIFIQUE RV



Meunier+ 10



Convection

- ▶ Différentes réalisation des cellules de granulation à la surface
 - ▶ → bruit RV petite échelle temporelle ; idem photométrie

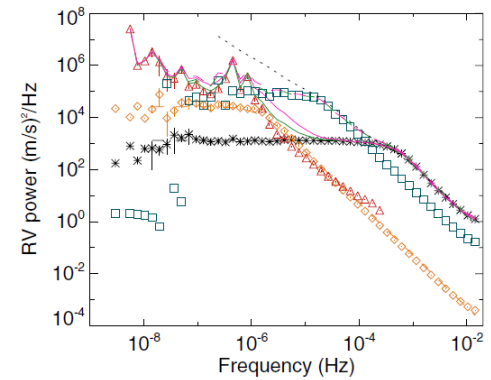
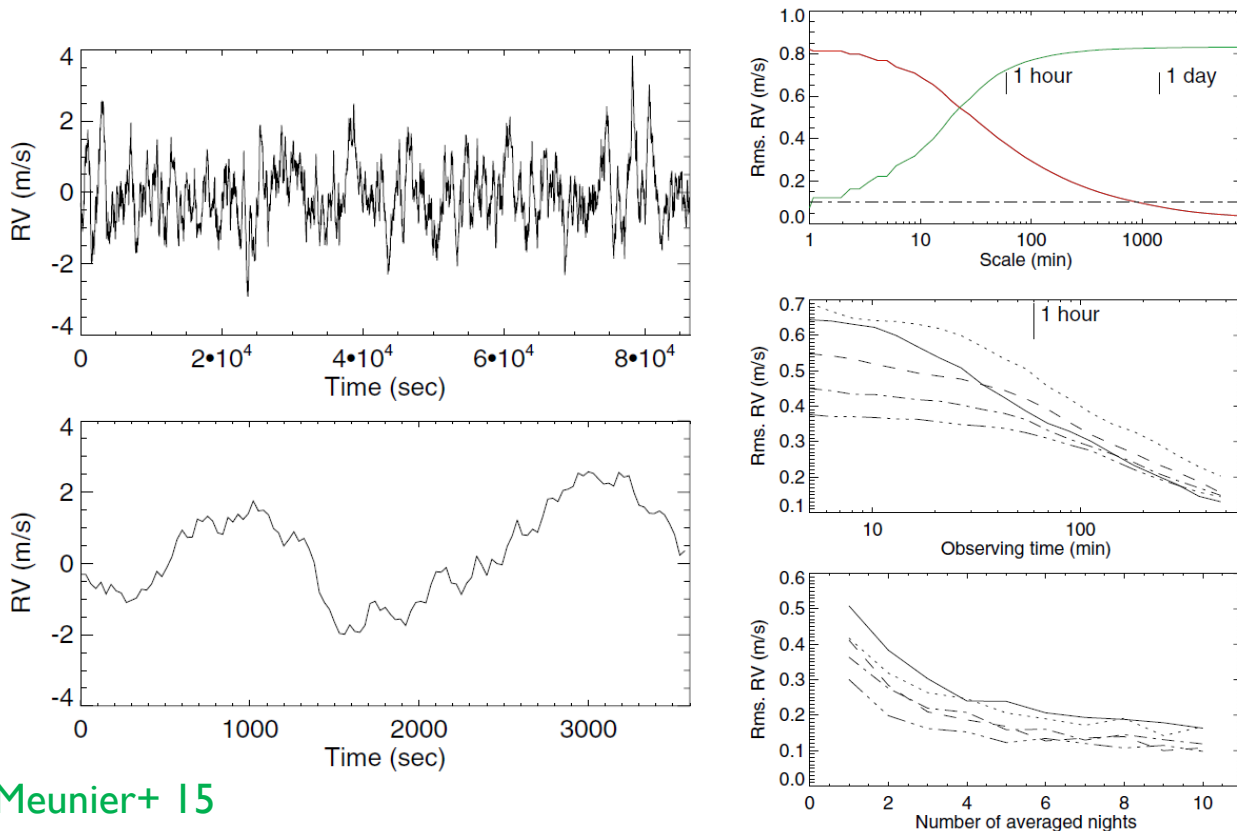
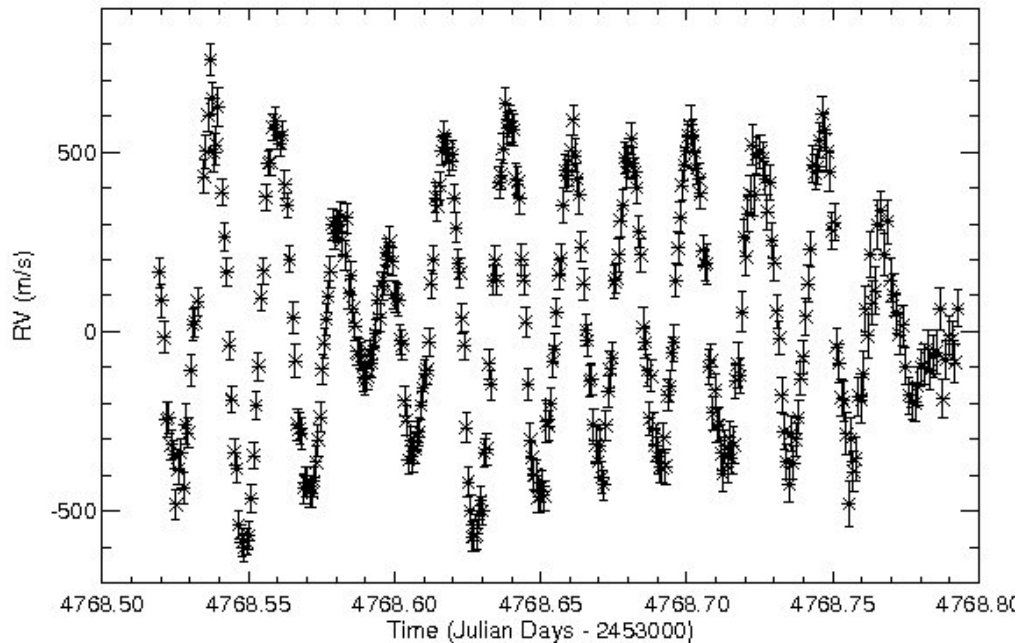


Fig. 15. Smoothed power spectrum of the RV granulation time series, for the full hemisphere and 30-s time steps (black stars), fitted by the Harvey function (black solid line). The power spectrum for supergranulation (minimum values) is shown with orange diamonds, the activity signal with red triangles, and mesogranulation derived from supergranulation scaled to the Palle et al. (1995) parameters with blue squares. The green solid line corresponds to the sum of the three contributions (granulation, minimum supergranulation, activity) and the pink solid line is the same, but includes the maximum supergranulation. The green and pink dashed lines include mesogranulation. The black dotted line indicates the level fitted by Palle et al. (1995). The activity signal is cut above 30 min due to our time step.

Pulsations

▶ Pulsations

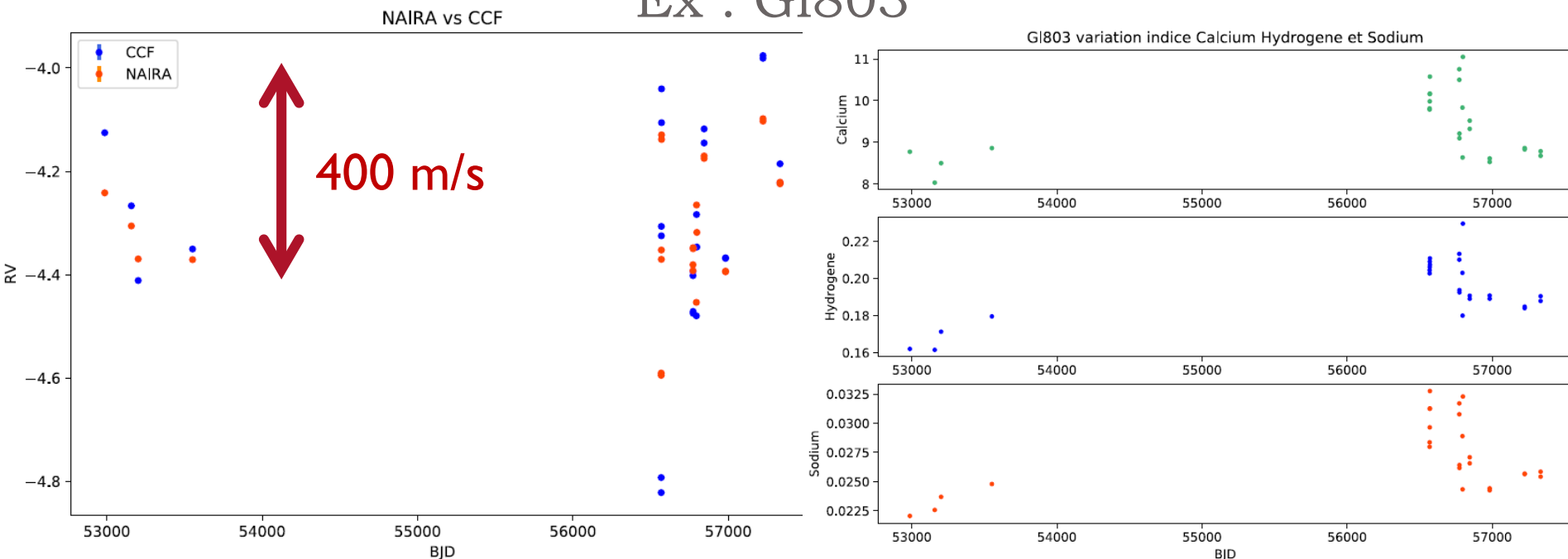
- ▶ Idem ; différentes échelles de temps selon les étoiles (qqes minutes / qqes heures)
- ▶ Peuvent être de très grande amplitude : Exemple β Pictoris, étoile A, pulsante type δ Scuti (Lagrange et al)



Eruptions

- ▶ Processus très stochastique
- ▶ Besoin d'être majeure pour impacter les RV
- ▶ Négligeable pour des G
- ▶ Mais impacte une grande fraction des observations pour les M

Ex : G1803



Effet Zeeman

- ▶ Elargissement des raies dans les taches et plages
- ▶ Complexifie l'impact contraste → RV
Peu de travaux, probablement impact faible dans le visible
(Reiners+ 14)
- ▶ Mais sera + critique dans l'IR

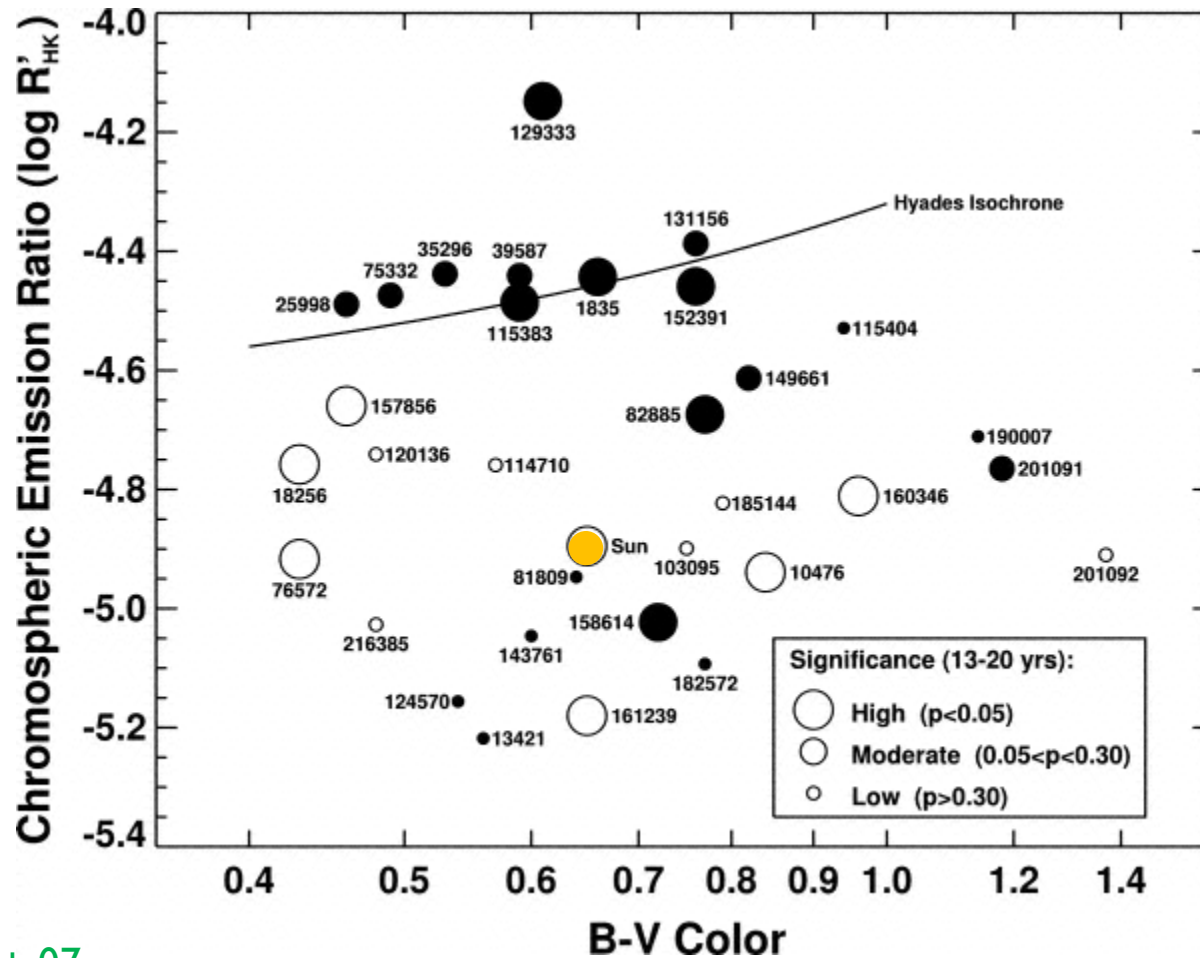
En résumé : un signal intrinsèquement complexe

- ▶ Nombreuses sources présentes, à des échelles variées
- ▶ Pas modélisable par quelques sinusoides
- ▶ Signal en général \neq une sinusoïde + partie « cachée »
 - ▶ Complexe / rotation (ex soleil / harmonique $\sim 14j$)
 - ▶ Complexité / durée de vie des structures limitée
 - ▶ Somme de différents signaux individuels (ex: plusieurs taches)
 - ▶ QUI PEUVENT SE COMPENSER en partie OU PAS
- ▶ Interaction forte avec l'échantillonnage temporel
 - ▶ Parfois possible de séparer les composantes dans le périodogramme : **mais nécessite de comprendre complètement le signal**
 - ▶ Correction encore difficiles à faire avec précaution ; peut introduire du bruit aussi

Qu'attend-on selon le type d'étoile ?

- ▶ Moins de convection des F vers les K-M
- ▶ Mais tendance à être plus actif
- ▶ Naines M : différentes configurations, y compris des structures très **stables** (1-2 ans) et en **petit nombre** (1-2) ≠ Complexité type solaire
- ▶ Globalement impact fort de **Prot** (amplitude cycle / P_{cyc}, niveau d'activité) [*dynamo*]
- ▶ Oscillations/Pulsations
 - ▶ Amplitudes et échelles de temps augmentent avec masse
 - ▶ Etoiles A : souvent des **pulsations** de très grandes amplitudes

Etoiles jeunes / vieilles : rapport taches/plages différents



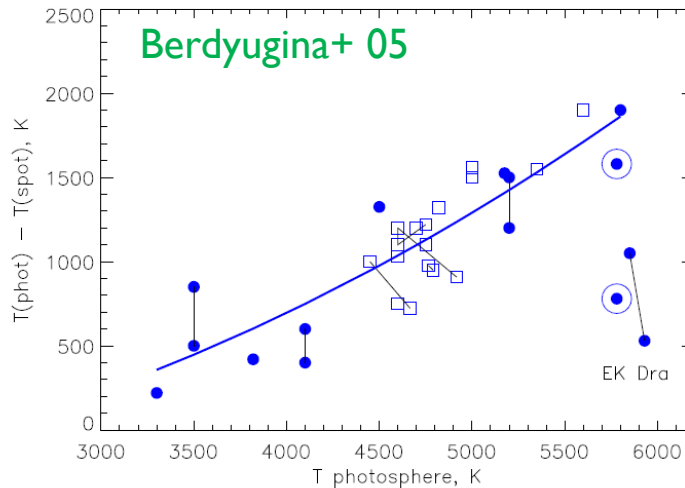
Jeunes

Vieilles

Lockwood+ 07

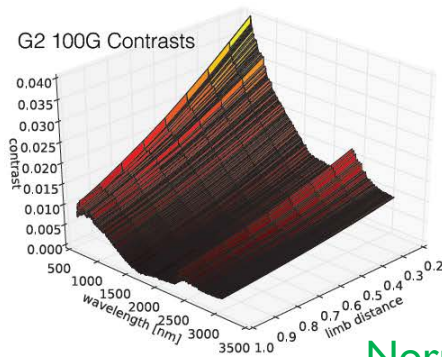
Nombreux paramètres très mal contraints

► Exemple : contrastes des taches et plages

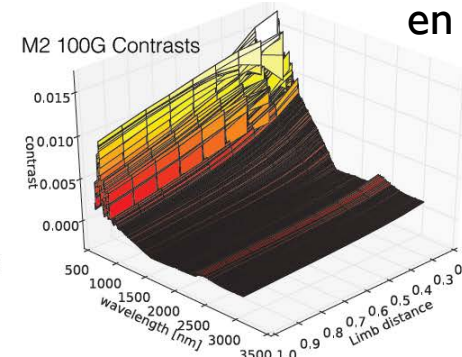
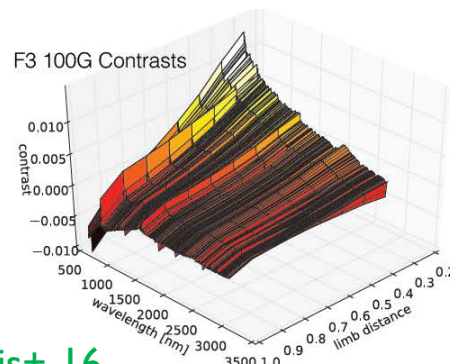


Taches : domaine probablement très large

Plages : quelques travaux théoriques récents / en cours seulement



Norris+ 16



Et des paramètres pas du tout contraints !!

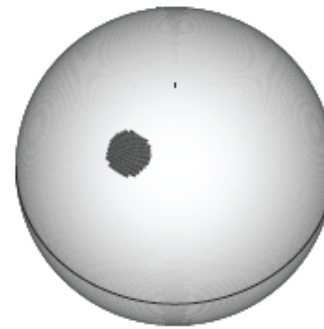
- ▶ Distributions en taille des structures stellaires
- ▶ Rapport taches / plages
- ▶ Fraction des plages → réseau



Comment s'y prend-on ?

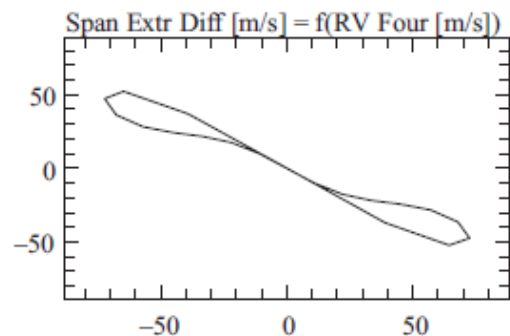
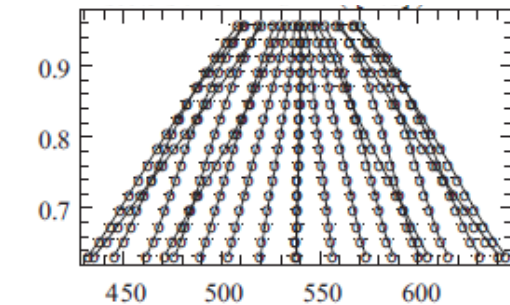
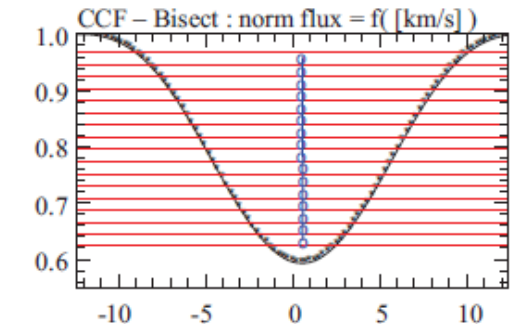
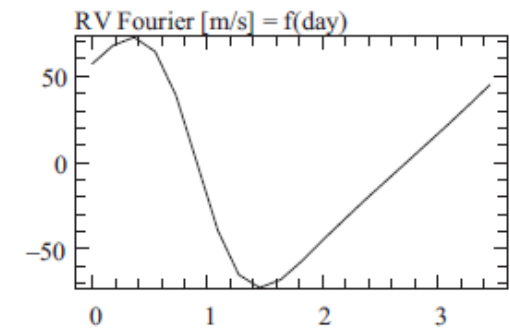
- ▶ **1/ Faire un **diagnostic** : échelle(s), amplitude, variabilité** [*activité*]
 - ▶ Spectres → profil des raies (FWHM, span bissecteur) ; indices d'activité (émission chromosphérique Ca)
 - ▶ Connaissance de l'étoile par ailleurs (photométrie, astrométrie)
- ▶ **2/ Corriger pour travailler sur les résidus** [*exo-planètes*]
 - ▶ Directement sur les RV : nombreuses approches testées
 - ▶ A partir d'autres indications (Ca, photométrie si simultané)
 - ▶ Attention: quand on soustrait un signal (mal déterminé) on introduit facilement du signal pouvant être confondu avec une planète / échantillonnages complexes
- ▶ **Approches alternatives**
 - ▶ Simulations de différentes configurations (Soleil/stellaire)
 - ▶ Observation du Soleil

Diagnostic activité



- ▶ **Impact de l'activité sur d'autres variables**
 - ▶ Qui ne seraient pas impactées par la présence d'une planète
 - ▶ Profils de raies (Bissecteur, FWHM)
 - ▶ Emission chromosphérique (LogR'HK ou S-index)
 - ▶ Connaissance de l'étoile par ailleurs : Photométrie, astrométrie
- ▶ **Limitations :**
 - ▶ **Chaque indicateur ne renseigne que sur une partie du signal !**
 - ▶ Parfois un résidu !
 - ▶ Pas une recherche de corrélation simple / signaux de formes différentes
 - ▶ **Attention : diagnostic nul ne veut pas dire zéro activité !!!**

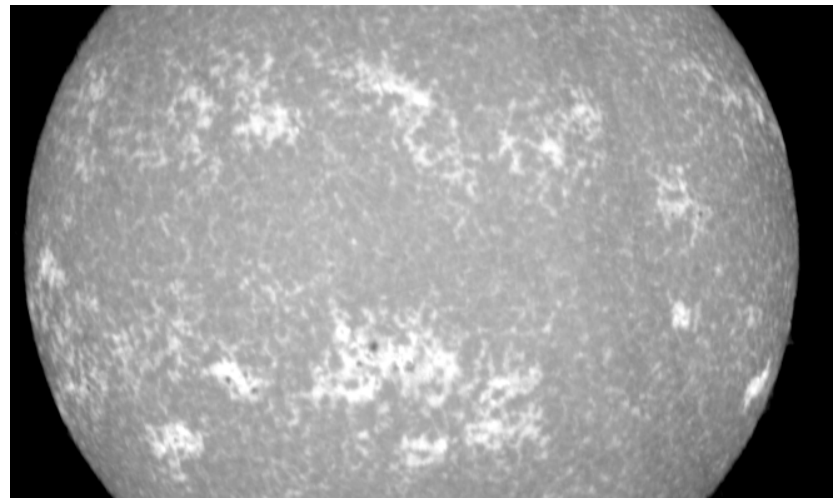
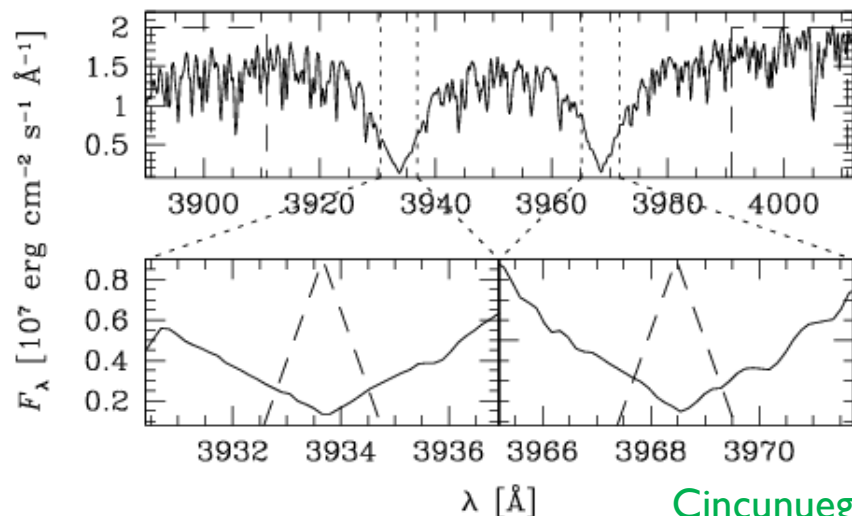
Desort+ 07



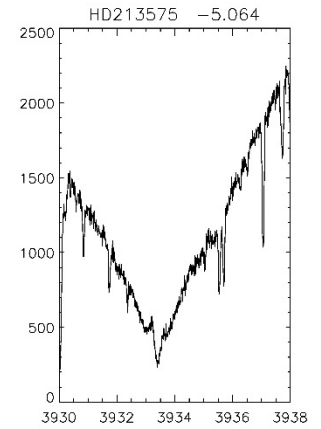
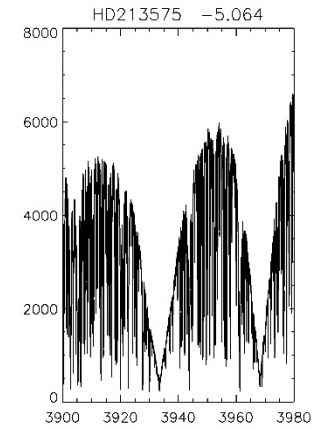
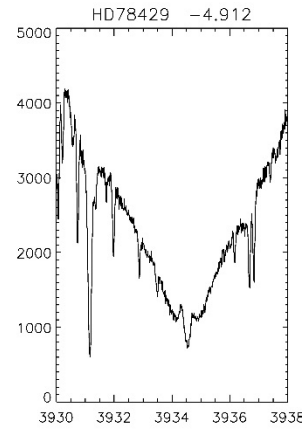
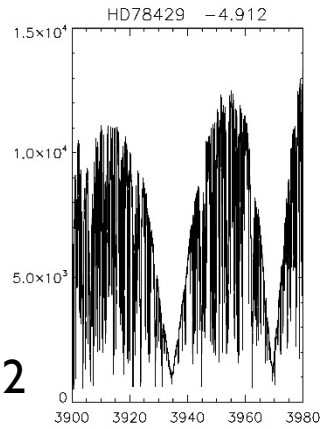
Emission chromosphérique

- ▶ **S-index** = émission dans bande centrée Ca II H et K / continu
- ▶ Soustraction contribution photosphérique (calibration fonction de B-V, ex **Noyes 1984** pour B-V 0.6-1.2) → flux R_{HK}
- ▶ Correction / flux bolométrique (calibration fonction de B-V, idem) → R'_{HK} → **LogR'_{HK}**

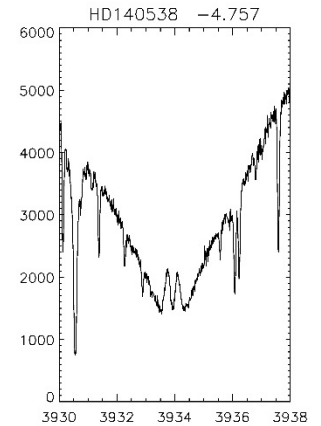
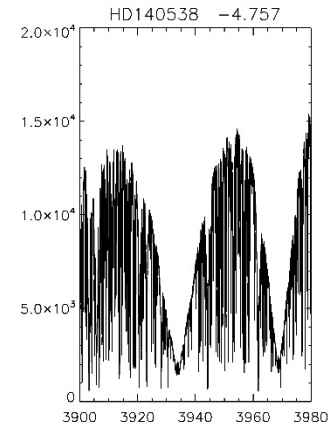
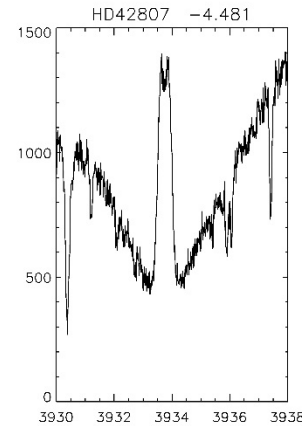
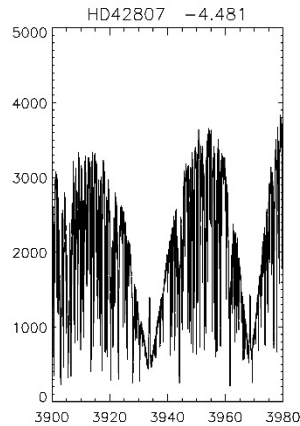
HD38393 (F7V, $B-V=0.481$, $\langle S \rangle=0.16$)



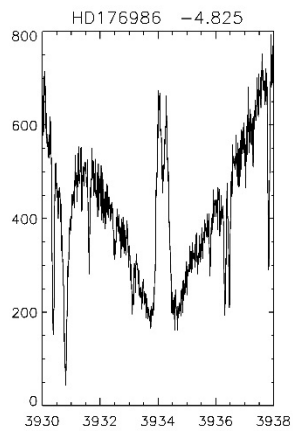
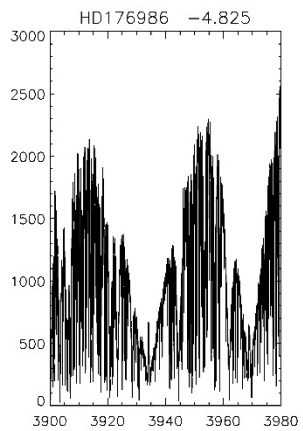
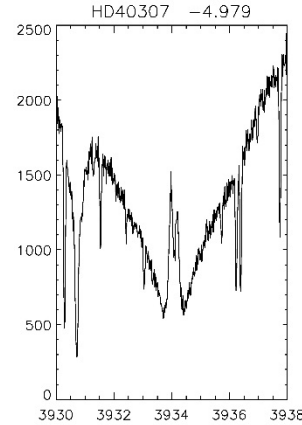
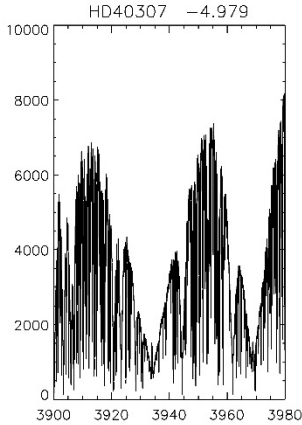
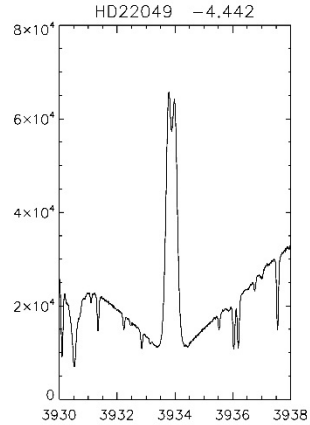
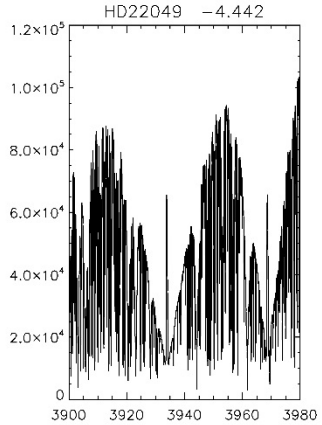
Quelques exemples 1/2



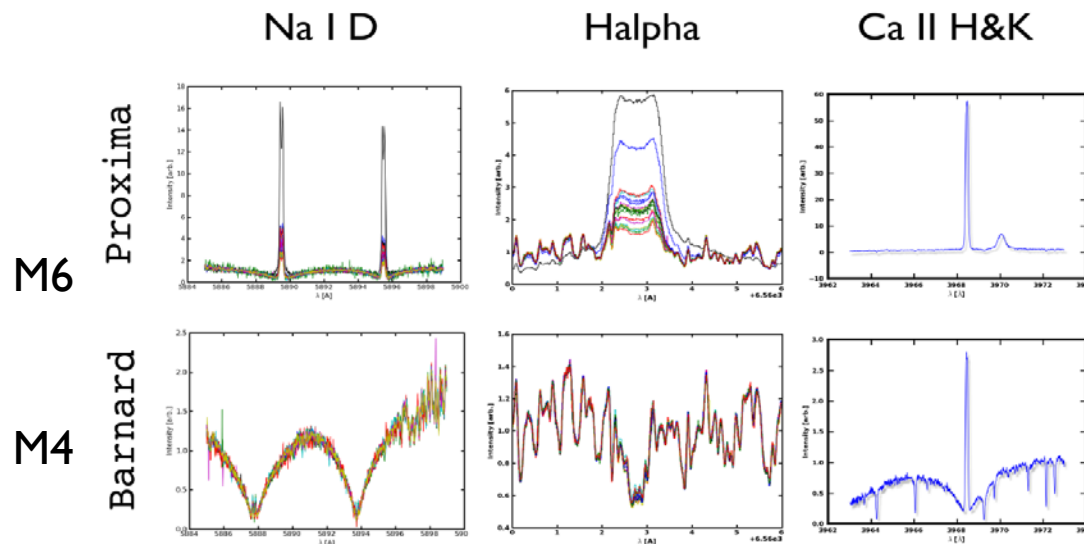
Quelques exemples G2
Actif/calme
Ca II H & K



Exemples 2/2



Quelques exemples K2, actif
Ca II H & K



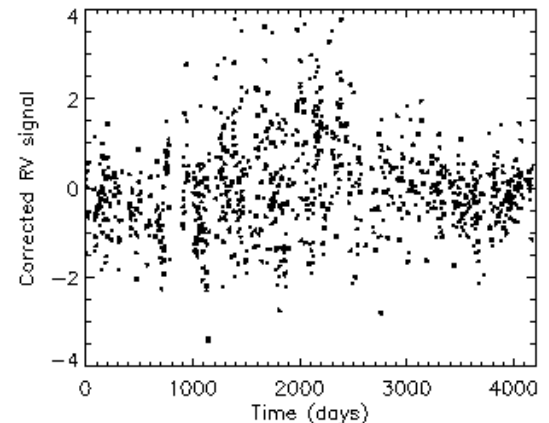
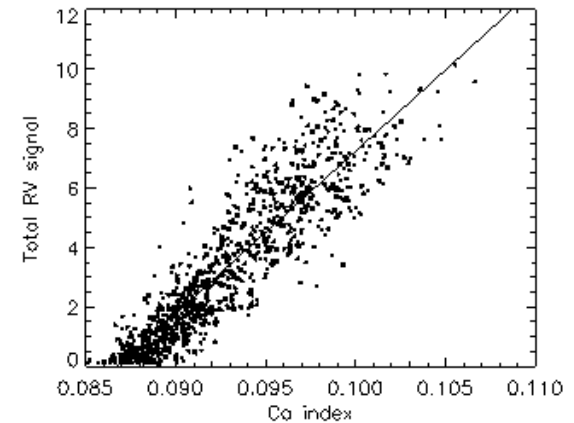
Correction (pour travail sur les résidus en général)

- ▶ Fits de sinusoides/harmoniques Boisse+ 11
- ▶ Prewhitening à Prot Queloz 09, Hatzes+ 10
- ▶ Modèles de taches Moulds+ 13 Dumusque+ 14 Herrero+ 16
- ▶ Jeux de raies Meunier+ 17,
- ▶ Analyses Bayésiennes Rajpaul+ 15, Tuomi, Damasso (Dumusque+17)
- ▶ Moyennes / convection Dumusque+ 11 Meunier+ 15,
- ▶ Bissecteurs raies Desort+ 07, Boisse+ 09
- ▶ Em. chromosphérique Meunier+ 13
- ▶ Prot mal connu, modèle non physique, pb nbpts/nbparam
- ▶ Id. Introduction bruit non contrôlé / soustraction
- ▶ Limitations sampling, nbpts / param
- ▶ Uniquement atten. CB, besoins très haut SN
- ▶ Modèles non physiques
- ▶ Temps de calcul
- ▶ Pas suffisant pour descendre < 10 cm/s (Sol)
- ▶ Possibilité signal activité pas vu avec le bissecteur, relation entre les 2 complexe
- ▶ Uniquement atten. CB



Exemple 1: correction via l'émission chromosphérique

- ▶ **Principe : Emission Ca et partie convection RV fortement corrélées avec la surface occupée par les plages**
 - ▶ Utilisation de données Sac Peak et reconstruction RV solaire pour tester cette méthode
- ▶ **Tests de deux méthodes et limitations**
 - ▶ 1/ Fit sinusoidal variations Ca puis fit RV(t)
 - ▶ 2/ Fit linéaire RV-Ca, utilisée pour corriger
- ▶ **Quelles performances cas solaire ?**
 - ▶ *S/N Ca faible* : performances similaires, 2-15 M_{Earth}
 - ▶ *S/N Ca élevé* : méthode 2 meilleure
 - ▶ Cas idéal + excellent Ca S/N + excellent échantillonnage : $< 1 M_{\text{Earth}}, \text{ sinon } > 1 M_{\text{earth}}$



Meunier & Lagrange 12

Exemple 2: analyses bayésiennes

- ▶ Plusieurs groupes / approches un peu différentes cf RV fitting challenge **Dumusque 16,17**
- ▶ En général
 - ▶ Utilisation de processus gaussien : activité non paramétrée (pas un modèle physique)
 - ▶ Modélisation de RV avec d'autres séries selon dispo (FWHM, bissecteur, LogR'HK)
 - ▶ Exemples d'hypothèses :
 - ▶ RV(activité) et LogR'HK par ex. ont certaines propriétés statistiques en commun (tout / à petite échelle de temps seulement)
 - ▶ Toutes les séries = combinaisons linéaires d'un processus gaussien inconnu + dérivée
- ▶ **Peu de résultats activité !!! Parfois Prot (ou harm)...**

Simulations de l'activité

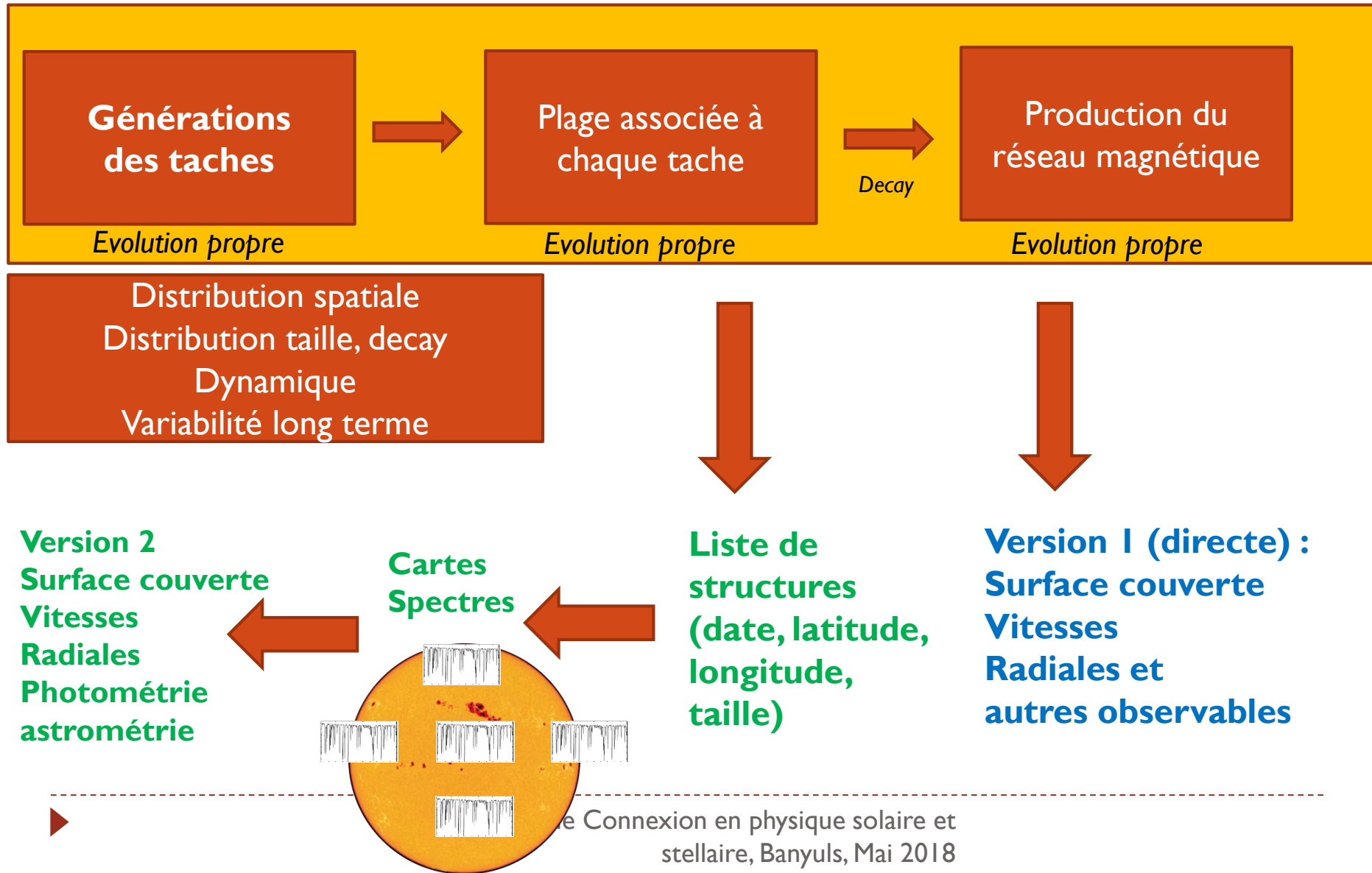
- ▶ Simulations à 1 tâche (-> 2-3 tâches)
 - ▶ SAFIR Desort+ 07
 - ▶ SOAP/SOAP2 (Boisse+ 12 Dumusque+ 14)
 - ▶ Starsim Herrero+ 16
 - ▶ ...
 - ▶ **Objectifs :**
 - ▶ Dériver des **amplitudes** RV typiques vs paramètres (Teff, v sini...)
 - ▶ Possibilité d'utiliser pour ajuster sur les observations ? → exploitable que pour des étoiles avec activité « simple »
- ▶ Lien solaire-stellaire / simulations réalistes d'activité « complexe » : notre approche
 - ▶ Lagrange+ 10
 - ▶ Meunier+ 10,12,13
 - ▶ Borgniet+ 15
 - ▶ **Objectifs :**
 - ▶ Signal réaliste pour activité complexe : amplitude mais aussi variabilité à différentes échelles etc.
 - ▶ Performances des corrections ...
- ▶ + Approche Dumusque 16 pour fitting challenge

Utiliser notre connaissance du Soleil pour mieux comprendre les limitations

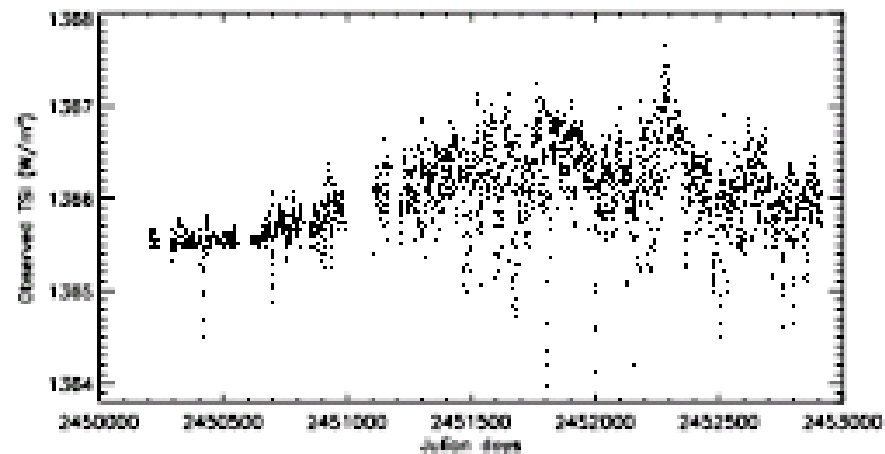
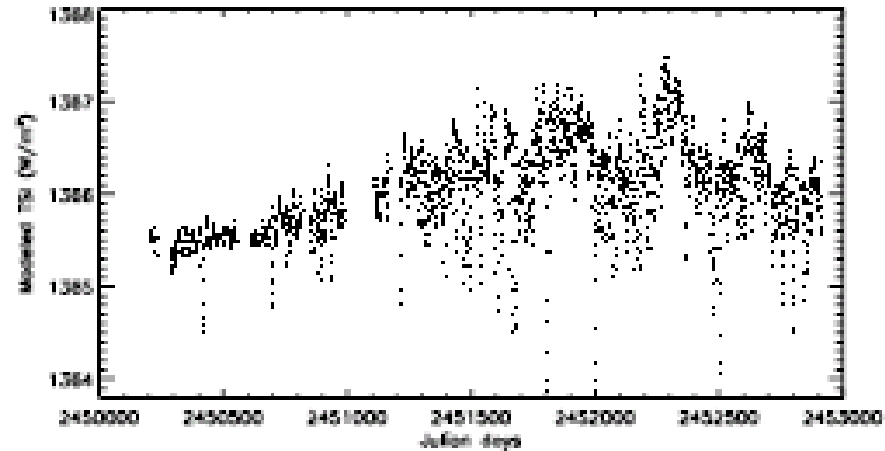
Question : Si nous observions le système solaire depuis l'extérieur, serions-nous capable de détecter la Terre avec les instruments actuels ou futurs ?

- ▶ On **simule** des vitesses radiales typiques = ce qu'on observerait dû à la présence de structures actives à la surface du **Soleil**
 - ▶ Avec les structures observées ou des **structures modélisées**
 - ▶ On **ajoute une planète**
 - ▶ On regarde si elle est détectable
 - ▶ Permet de :
 - ▶ Simuler le Soleil vu sous d'autres angles
 - ▶ Tester la stratégie d'observation
 - ▶ Tester les possibilités de correction du signal stellaire
 - ▶ Modélisation RV, photométrie, astrométrie
 - ▶ **Changer les paramètres et étudier le comportement d'autres types d'étoiles : grille F-G-K en cours**
- Lagrange+ 10
Meunier+ 10,12,13
Borgniet+ 15

Simulations structures \rightarrow RV

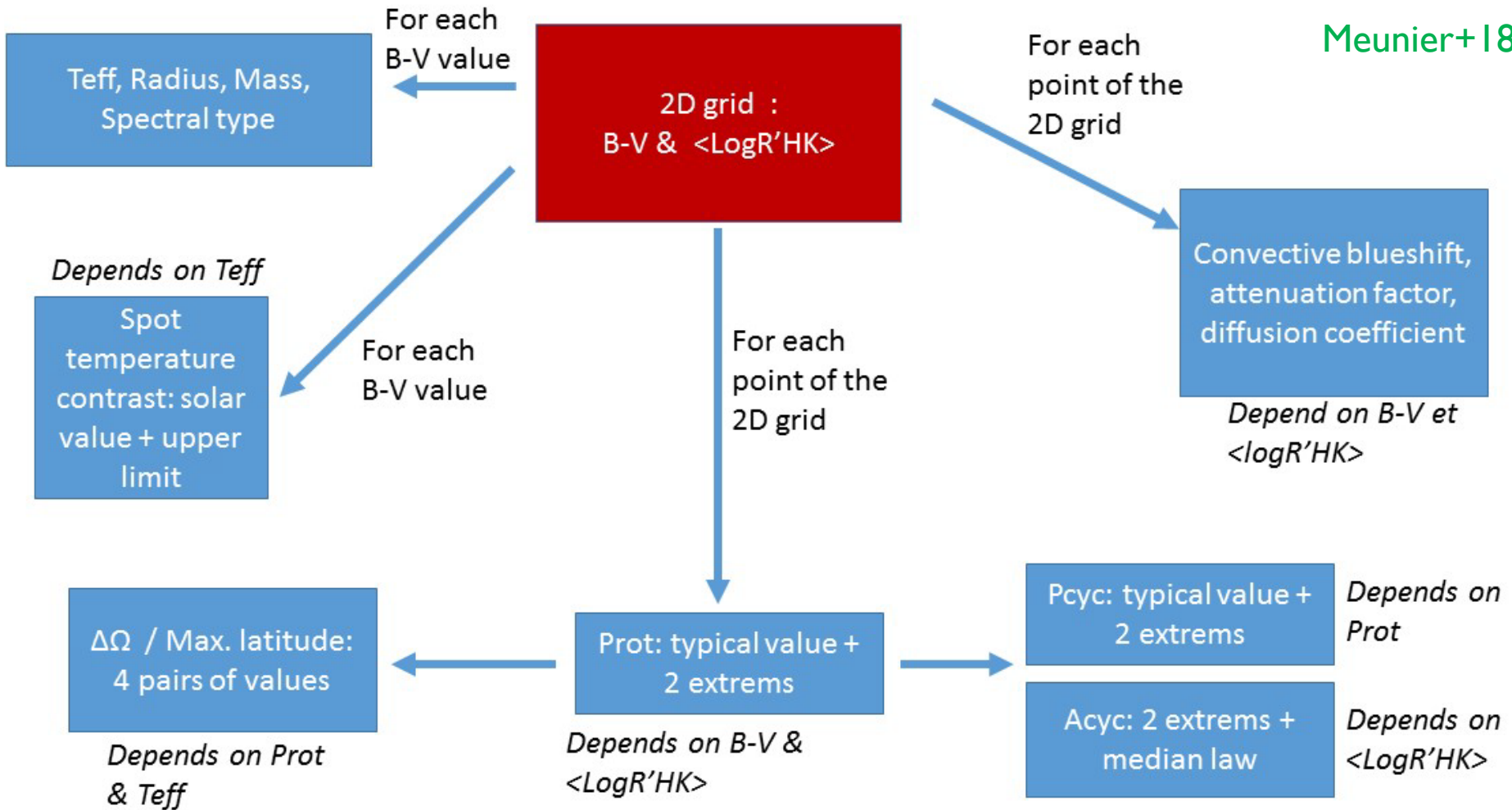


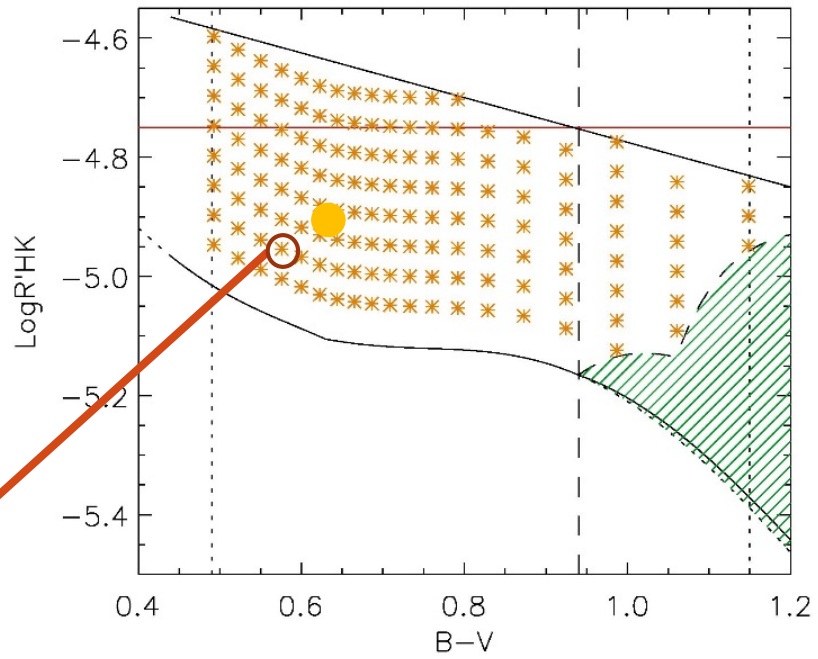
Photométrie cohérente avec les observations



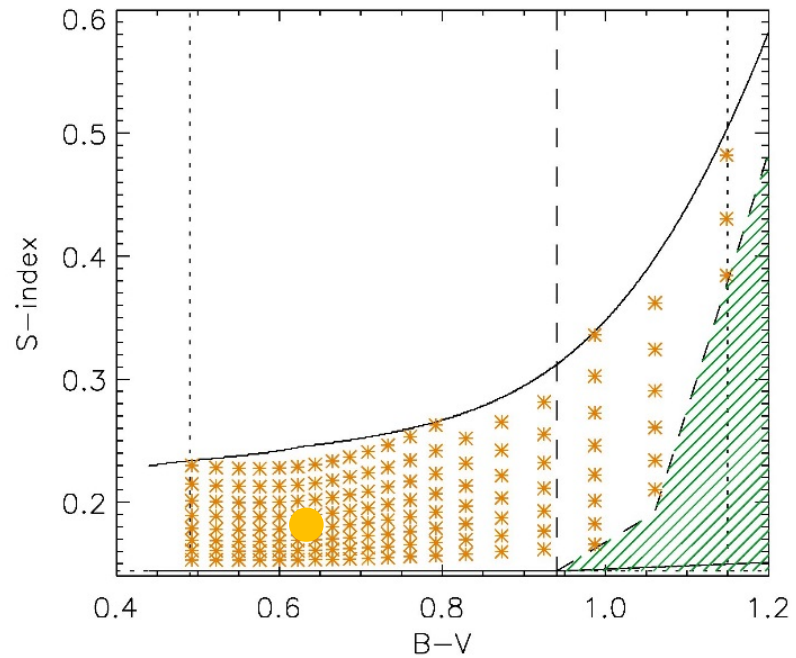
Grille de paramètres stellaires

Meunier+18





Prot
 P_{cyc}
 A_{cyc}
 Latitude max
 Inclinaison



E_i

Quelques problématiques → Nouvelles études

Objectif : former une grille
de paramètres les plus
cohérents possibles

- ▶ Manque de connaissance de l'émission chromosphérique
 - ▶ **Cf section résultats**
- ▶ Besoin de quantifier le blueshift convectif et sa variabilité pour d'autres étoiles que le Soleil
 - ▶ **Cf section résultats**
- ▶ Prot / rotation différentielle :
 - ▶ Pas mal d'informations dans la littérature
 - ▶ Des résultats récents sur la rotation différentielle (à partir des structures / courbes de lumières, ex Corot, Kepler) ex **Reinhold & Gizon 15** + travaux théoriques (ex: **Brun+ 17**)
 - ▶ Mais **$\Delta\Omega$ dégénéré avec le domaine de latitude couvert** → impact important
 - ▶ Réanalyse des résultats de Reinhold & Gizon : des étoiles doivent avoir domaine latitude > Soleil

Résultats (plus ou moins récents!)

- ▶ Exemples de RV dues à l'activité ressemblant à du signal exo-planétaire
- ▶ Résultats solaires
 - ▶ Simulation
 - ▶ Observations
- ▶ Quelques résultats associés :
 - ▶ Emission chromosphérique
 - ▶ Convection & Delta_RV...
- ▶ Jitter RV stellaire
 - ▶ Observations
 - ▶ Simulations

Signal ressemblant à un signal exo-planétaire

▶ Période rotation

- ▶ En particulier si activité simple et stable
- ▶ → Quelques exemples

▶ Période cycle

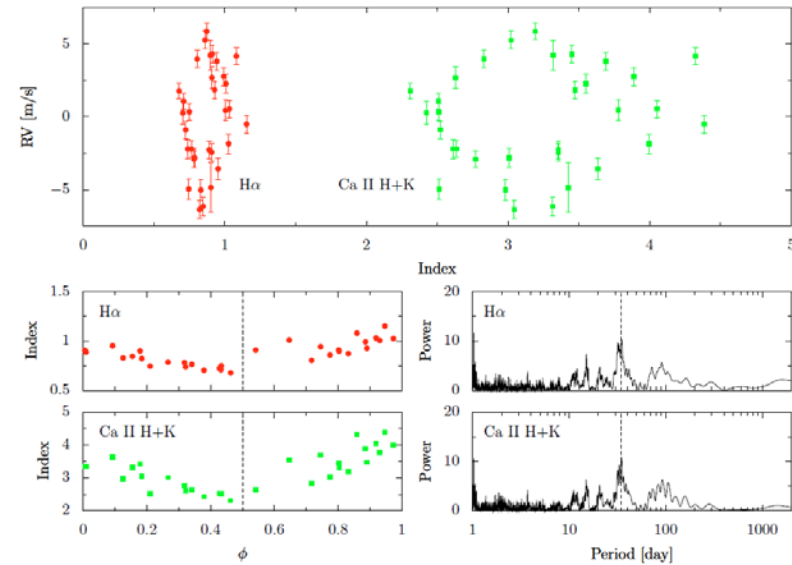
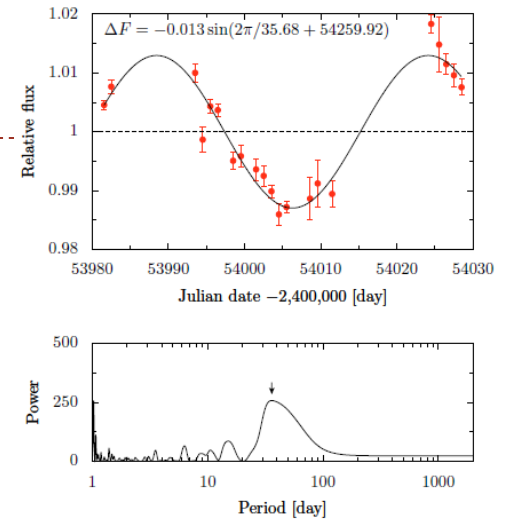
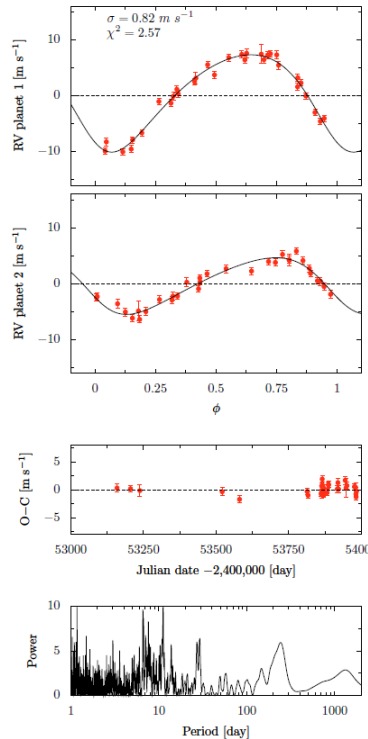
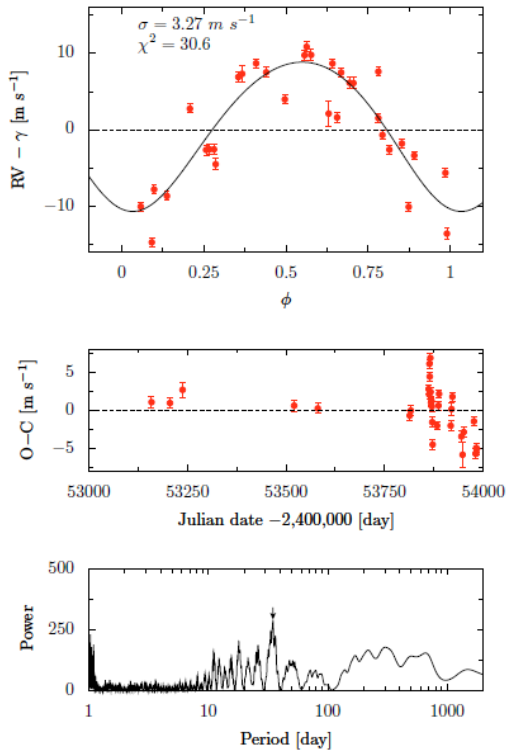
- ▶ Rq sur exemple Soleil avec du bruit -> assez facile d'ajuster une képlérienne !



GJ 674 (M2.5 ; signal à Prot)

1-planet fit 4.7 j
pas suffisant

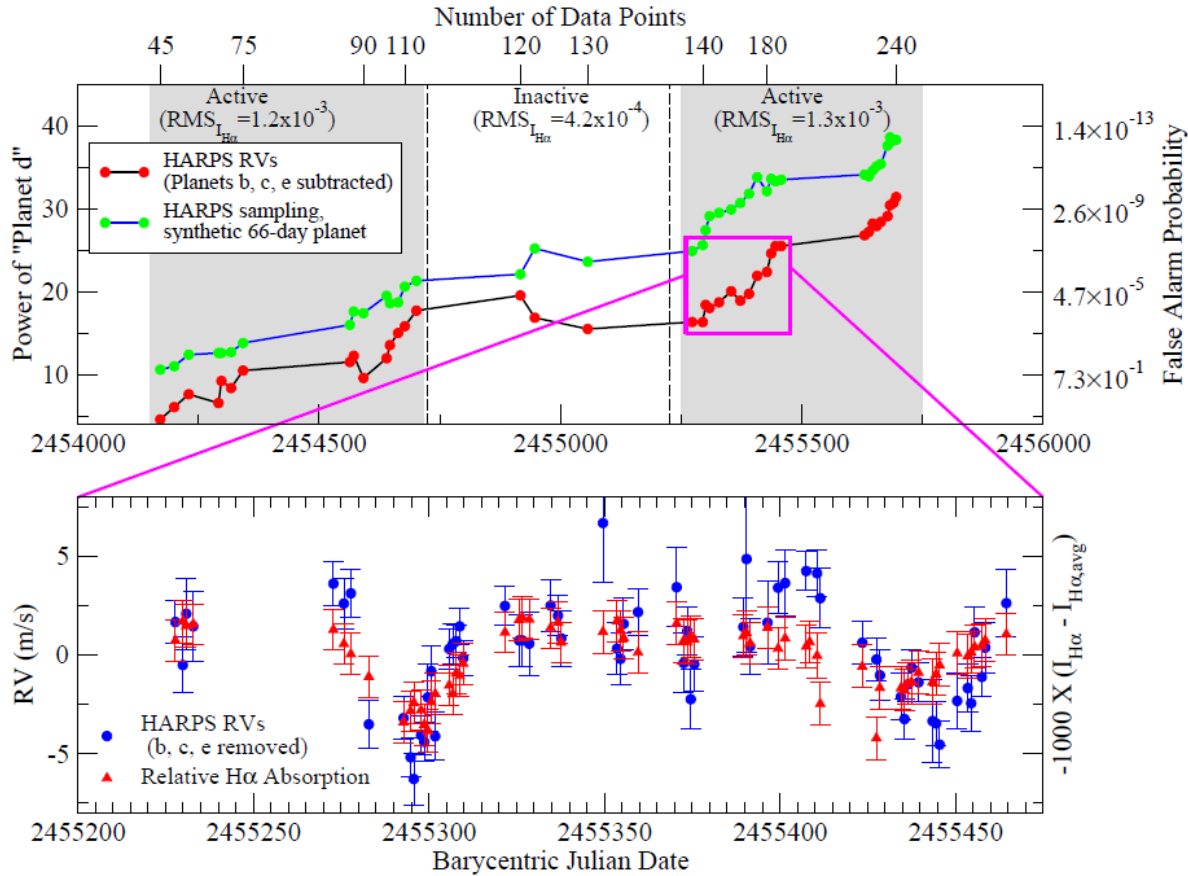
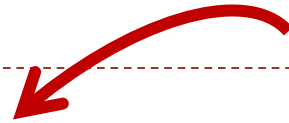
2-planet fit 4.7 j+35j
Meilleur mais ...



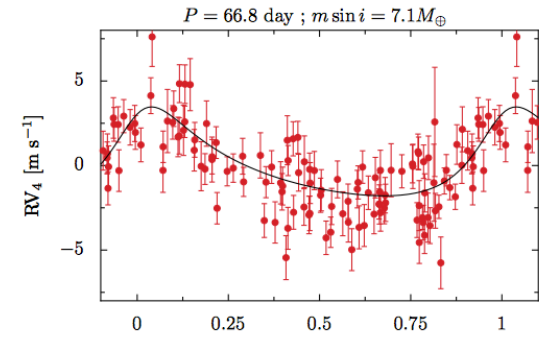
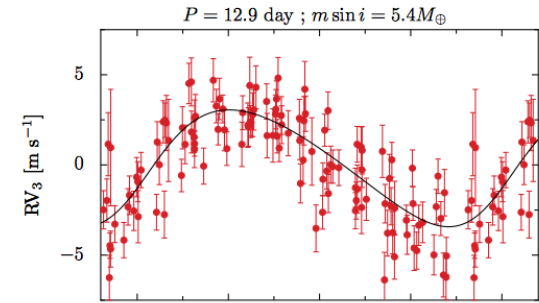
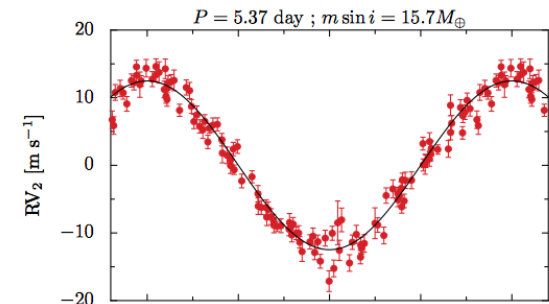
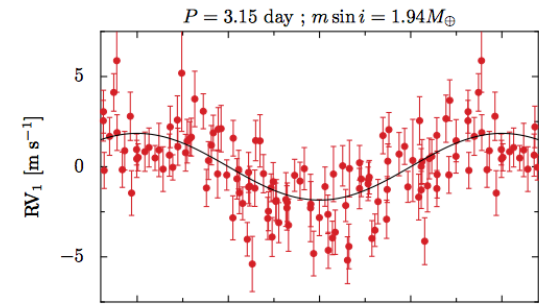
Bonfils+ 07

G1581(M3)

Mayor+ 09
4 planètes !!!



Robertson+ 14
Réanalyse



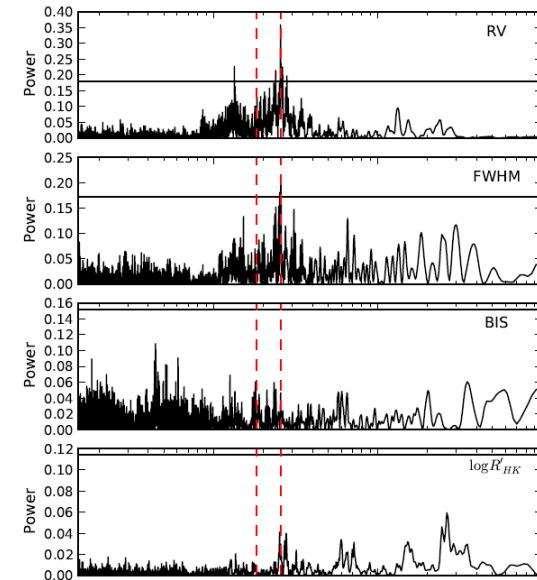
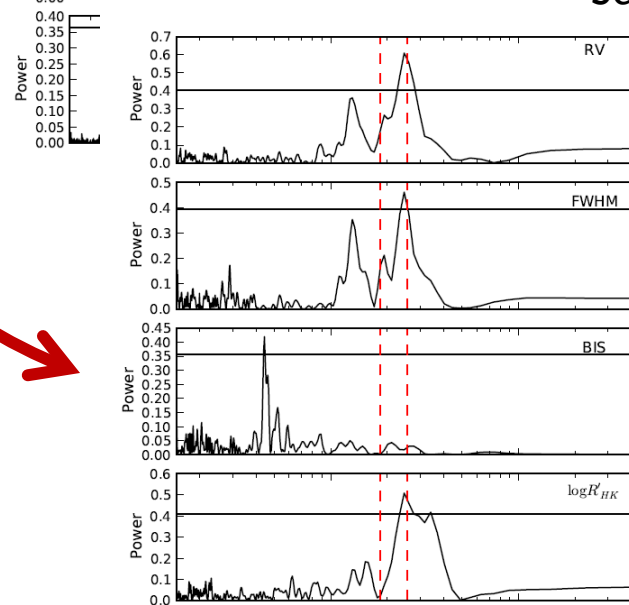
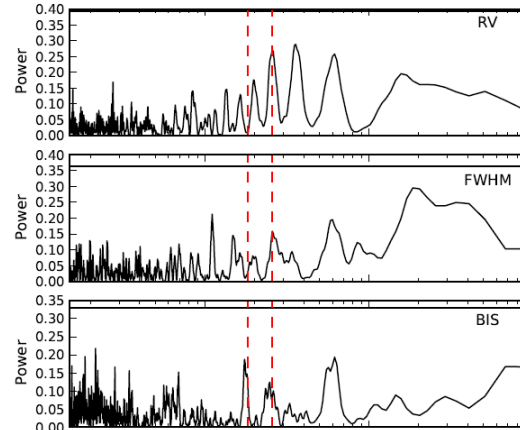
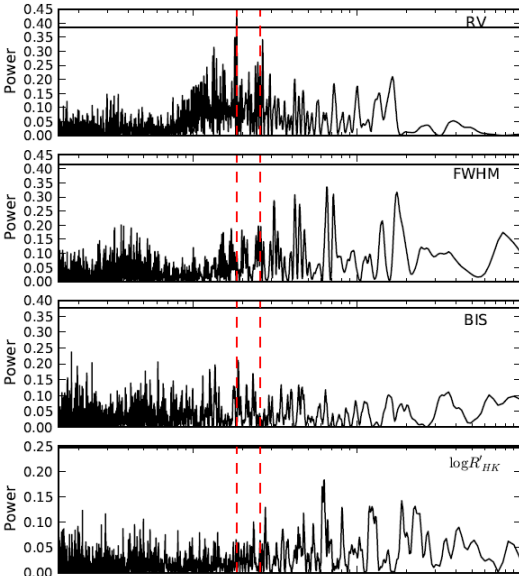
HD41248B-C (G2) : Ré-analyse Santos14

Set 1

Set 2

Set 3

All sets



Jenkins+ 13

Set 1 = 62 points publics
2 super-Terre en résonance

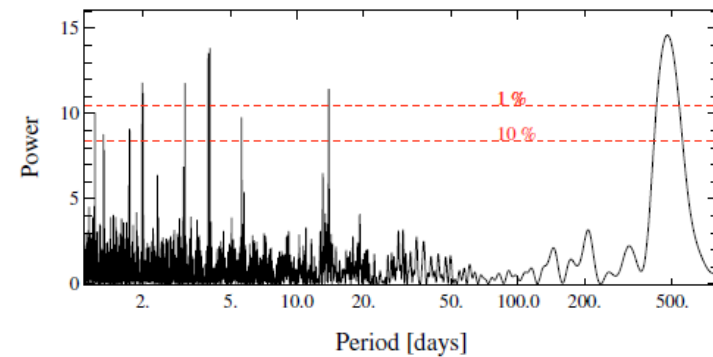
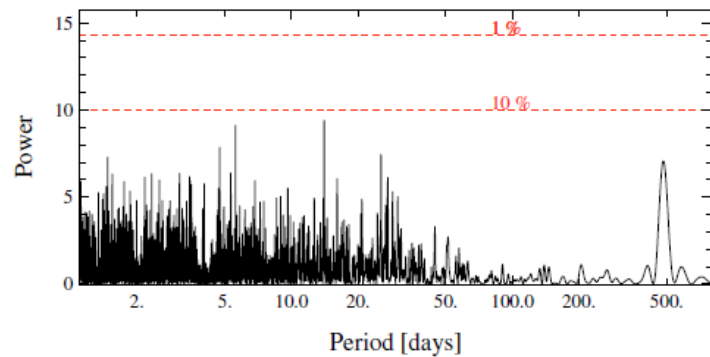
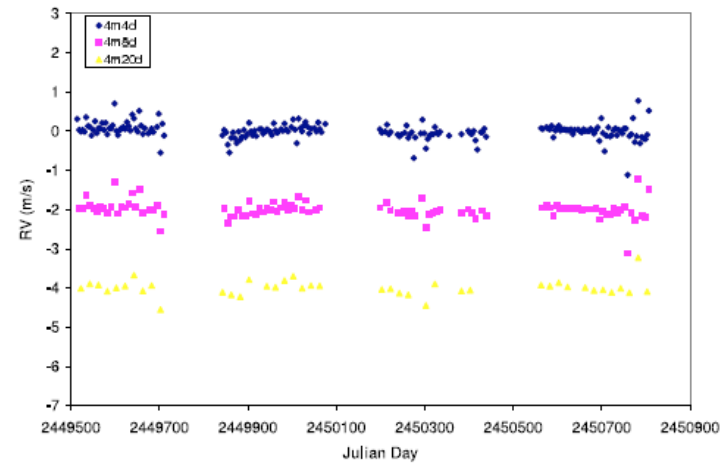
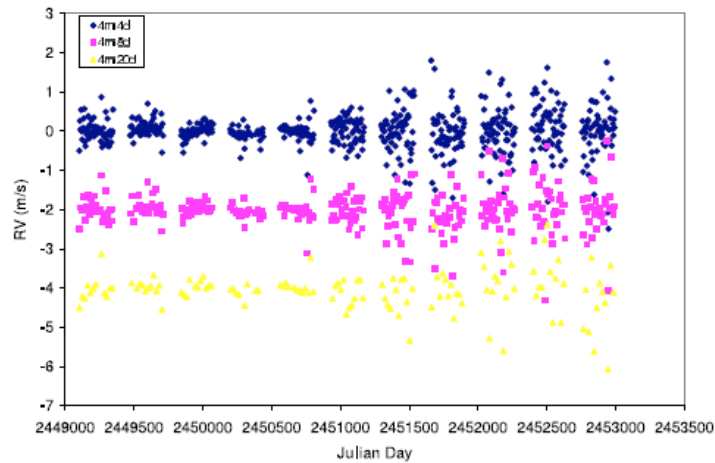
Santos+ 14

162 pts en +
signal a 25j = activité
signal a 18j a disparu

RV solaires (court-terme / long-terme)

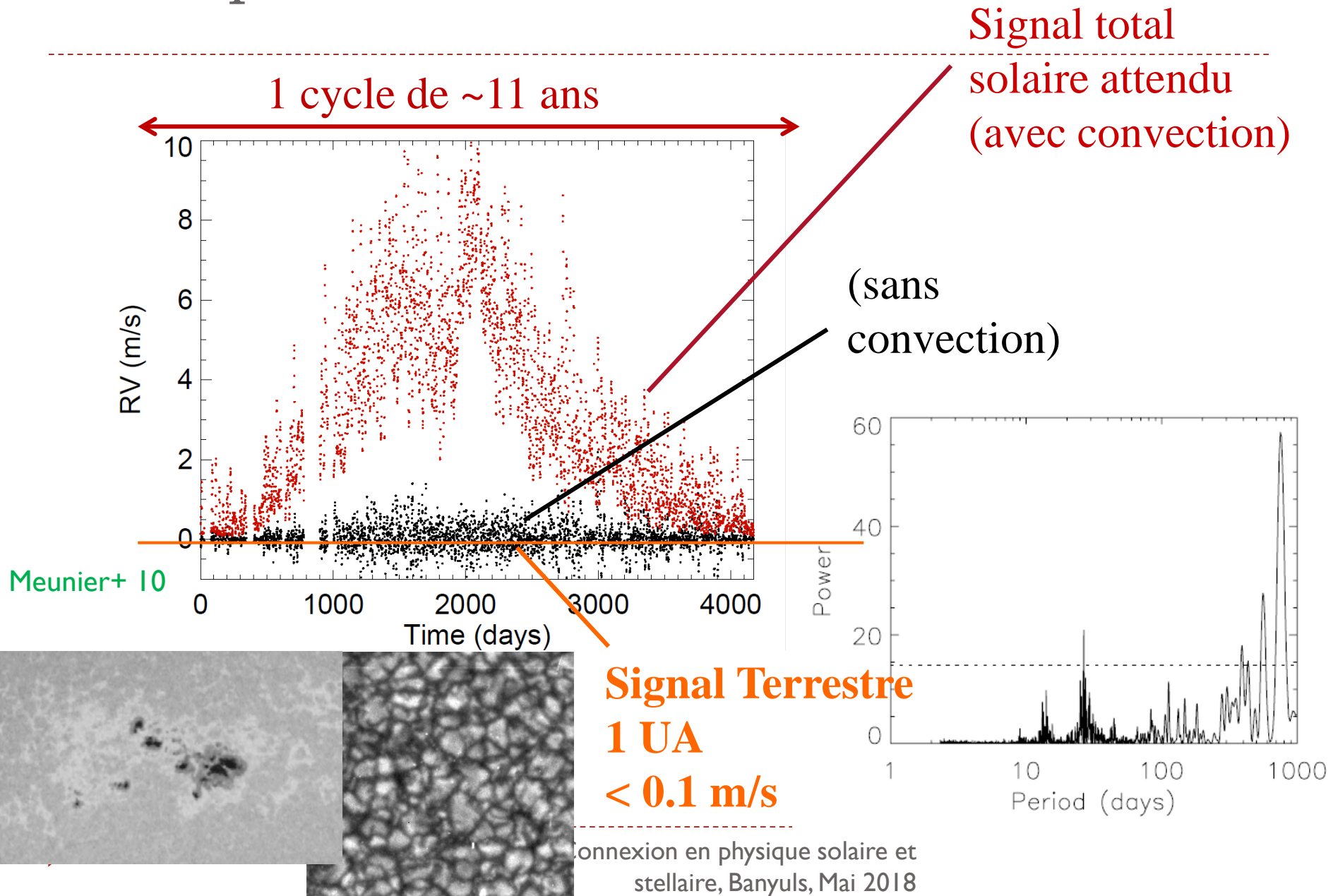
- ▶ Simulations
- ▶ Observations

Exemple signal taches/plages sans convection (Soleil, structures observées) + 1 planète

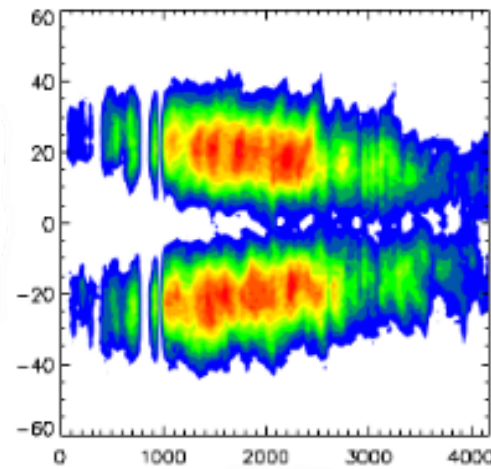
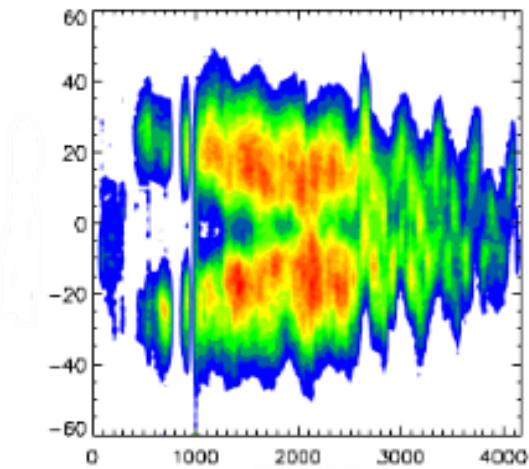
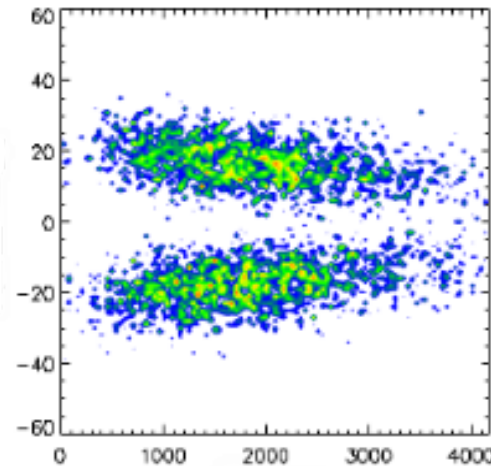
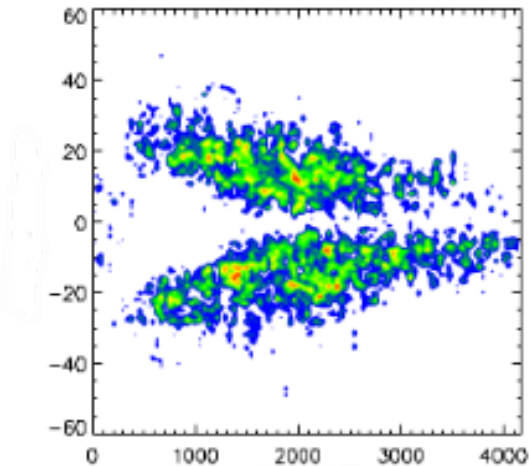


Lagrange+ 10

Exemple de reconstruction RV solaire



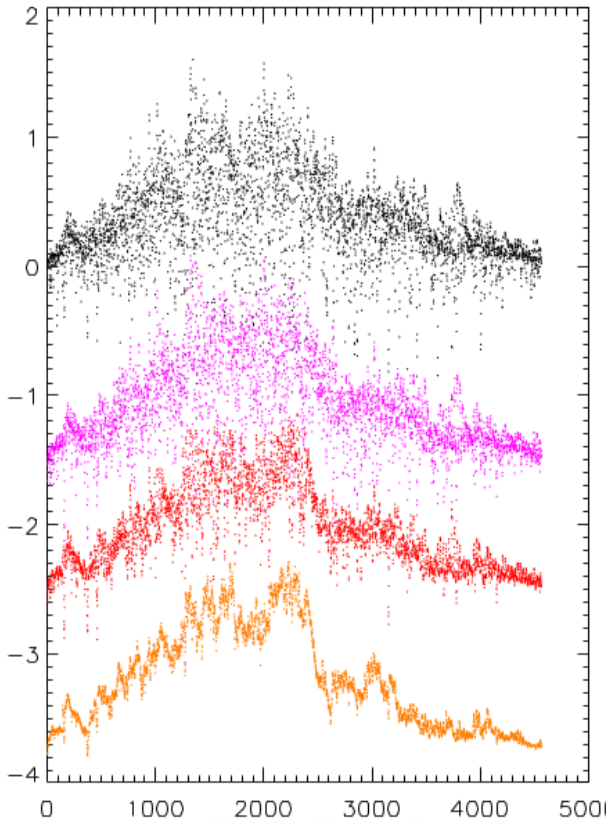
Reconstruction solaire via un modèle générant des structures



Borgniet+ 15

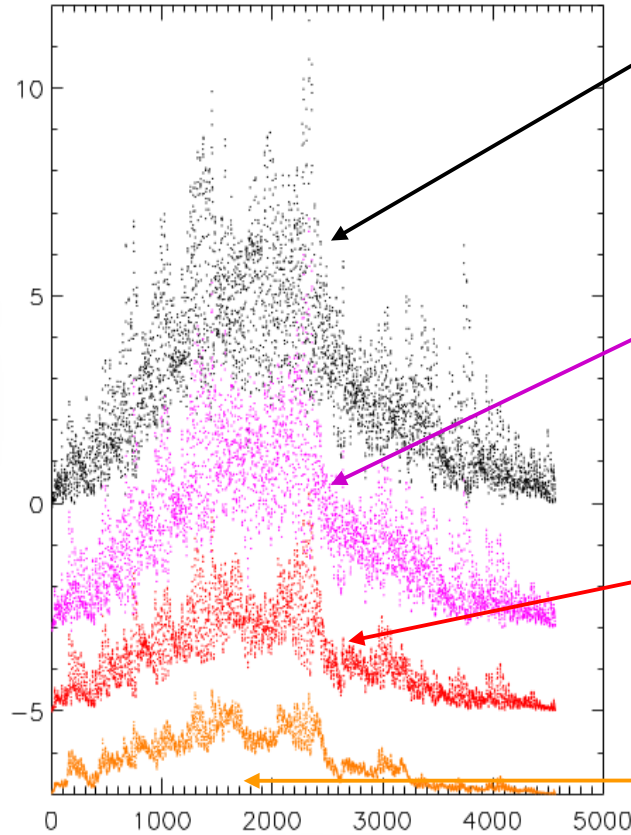
Impact de l'inclinaison

Photometrie (W/m^2)



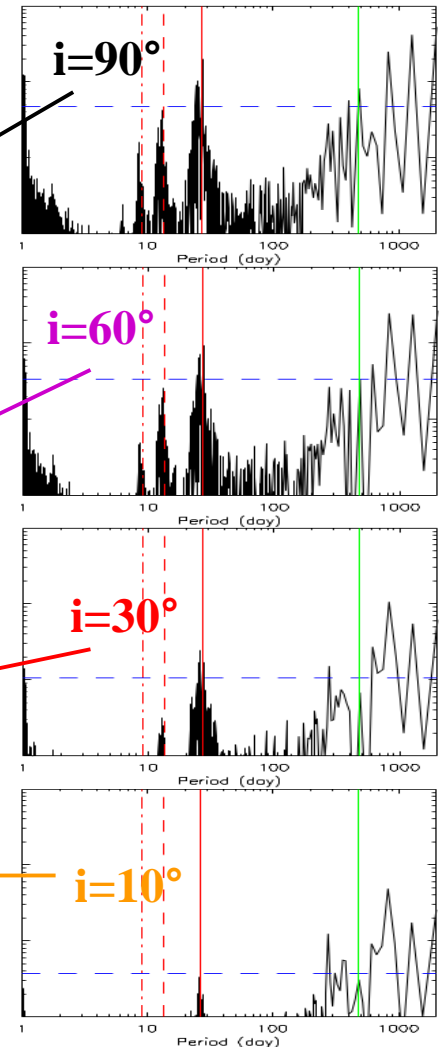
~12.5 years

RV (m/s)



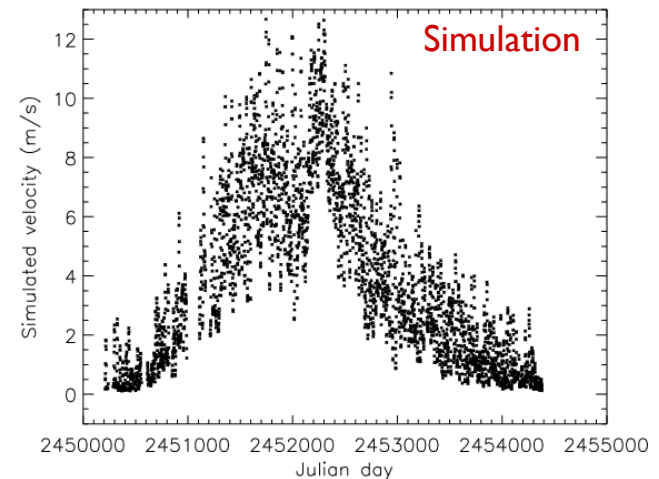
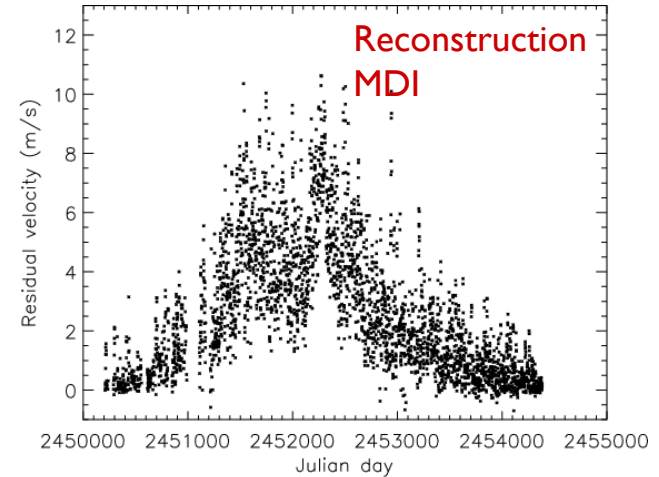
Borgniet+ 15

Périodogramme RV



Observations solaires 1/2

- ▶ **Manque d'observations RV long-terme fiables jusque récemment**
 - ▶ **Jimenez+ 96** : K 7699 Å, 30m/s (long terme), 20 m/s (court terme)
 - ▶ **Deming & Plymate 94** 2.3 μm, peak-to-peak 30 m/s (long terme)
 - ▶ **Mc Millan+ 93** : raies profondes à petit λ, amplitude < 4 m/s
- ▶ **Reconstruction RV d'après les cartes Doppler MDI/SOHO**
 - ▶ I seule raie (Ni 6768 Å), ΔV attendu + grand que la moyenne
 - ▶ Objectif = vérifier l'amplitude la contribution convection (atténuation du blueshift convectif dans les plages prévus dans **Meunier+ 10**)
 - ▶ **→ Observation ≈ 70% simulation, très bonne corrélation**

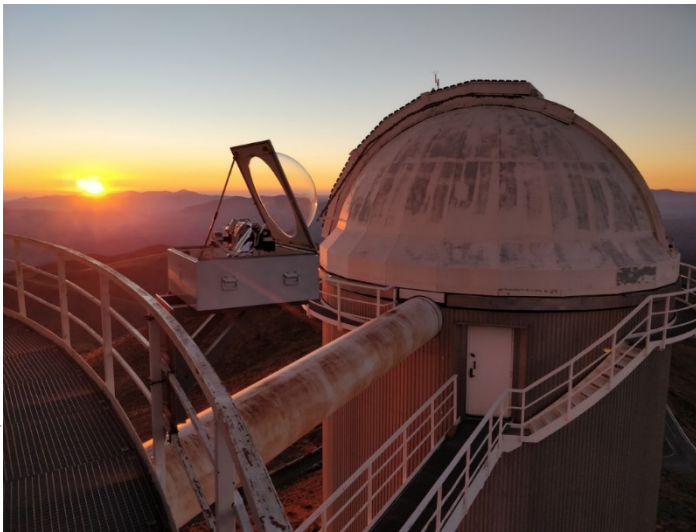


Meunier+ 10b

Observations solaires 2/2

Dumusque+ I8 (en prépa.)

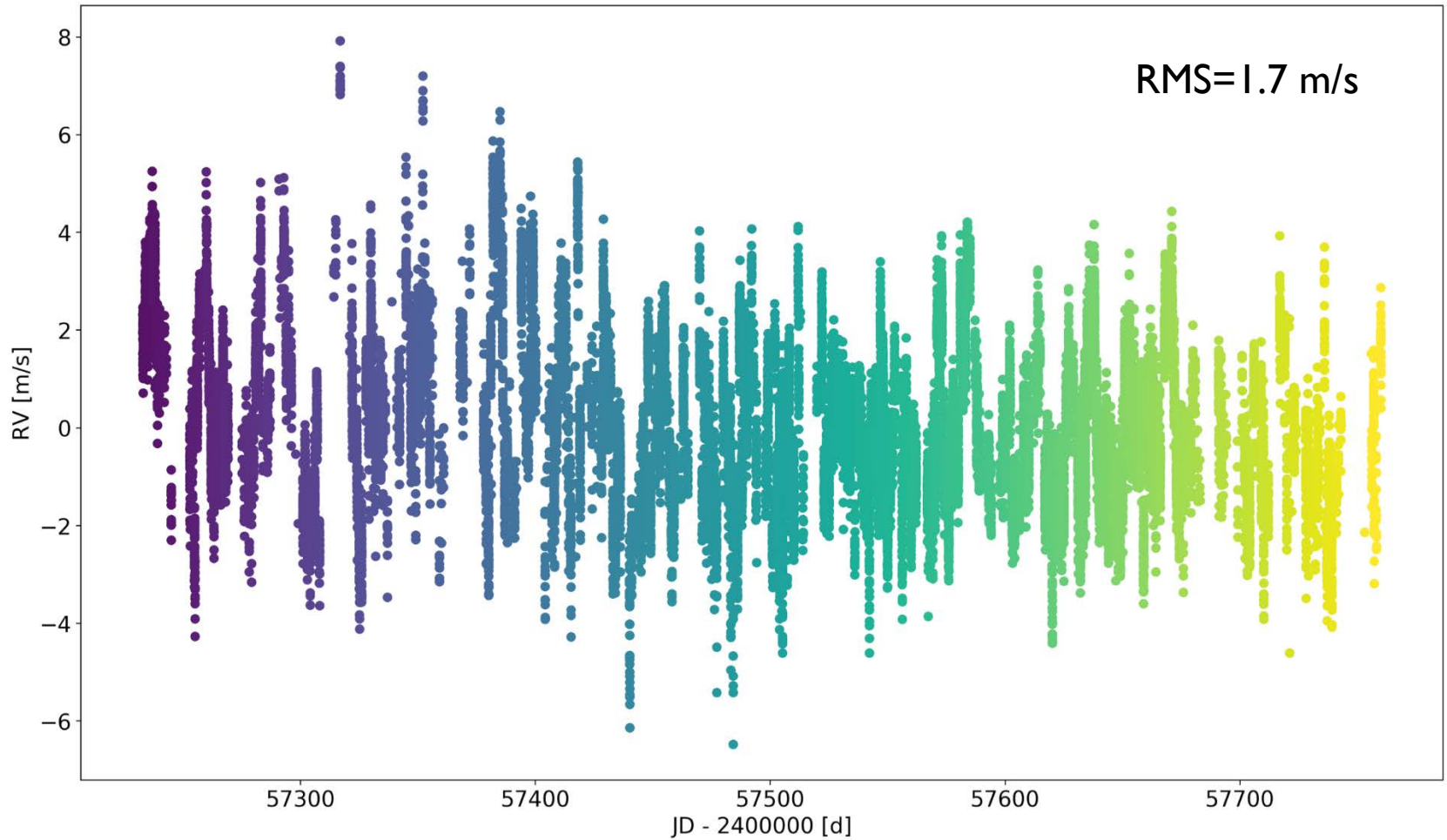
- ▶ Instruments solaires : en général n'intègre pas RV, et stabilité RV long terme pas assurée
- ▶ Instruments stellaires : pas prévus pour observer le Soleil
- ▶ Observation Soleil sur Harps-N / La Palma
 - ▶ Coelostat / sphère intégrante → alimentation spectro
 - ▶ ~6h/j, cadence 5 minutes
 - ▶ 2 ans 1/2, 40000 spectres



Credit: X. Dumusque

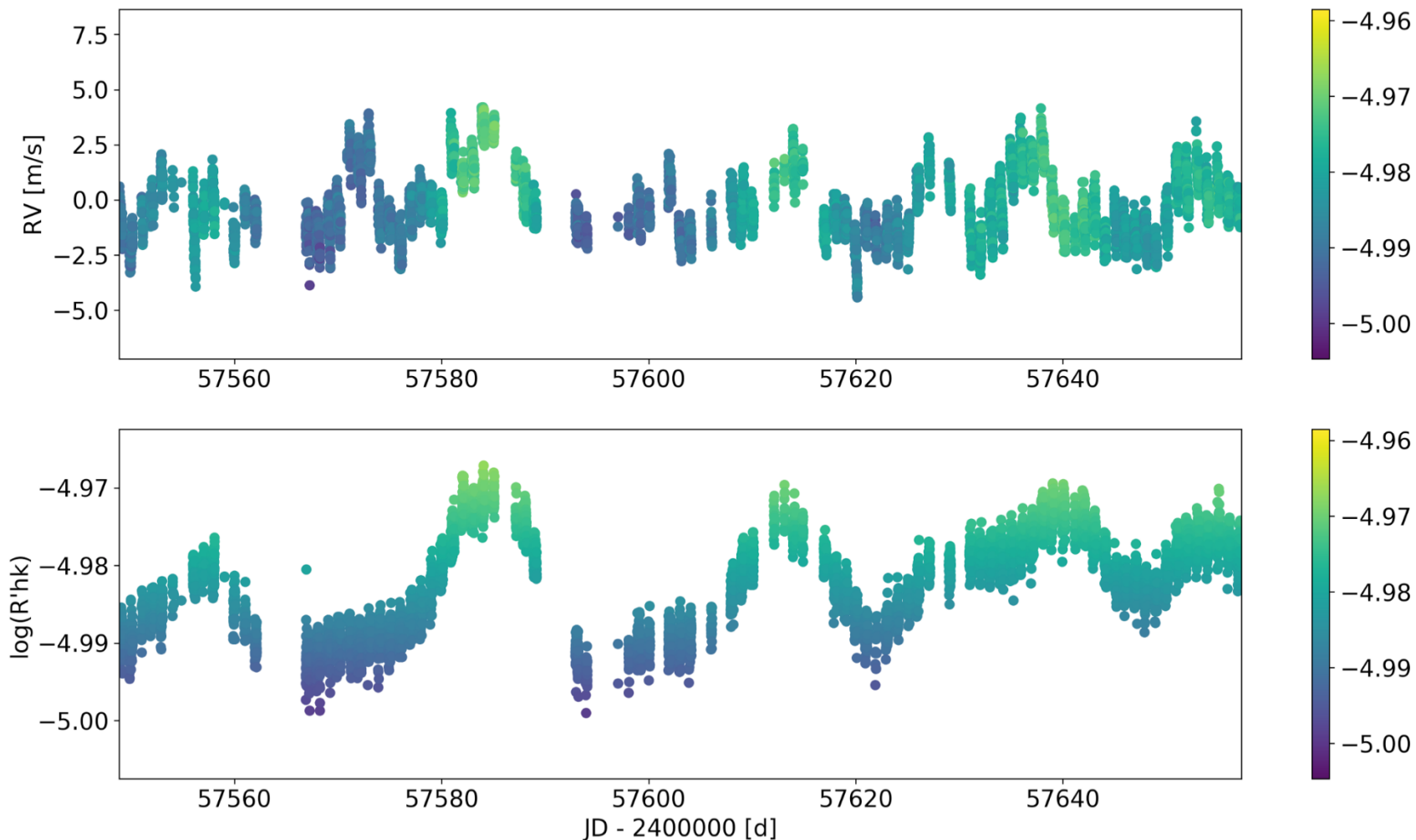
RV sur 2.5 ans

Dumusque+ 18 (en prépa.)



Zoom sur ~100 jours

Dumusque+ I8 (en prépa.)



Quelques résultats associés

- ▶ Emission chromosphérique
- ▶ Caractérisation du blueshift convectif



Problématique de l'émission chromosphérique

► Besoin pour exploiter des simulations

► Input simulations = nb de taches

► Output simulation = filling factor, RV....

► MAIS

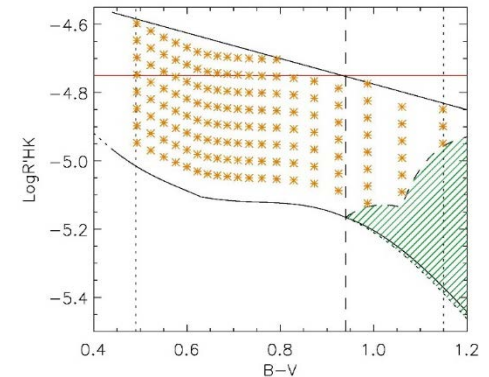
► Lien avec les lois empiriques / paramètres d'entrée = $f(\text{LogR}'\text{HK})$

► Lien avec les observations (RV jitters) = $f(\text{LogR}'\text{HK})$

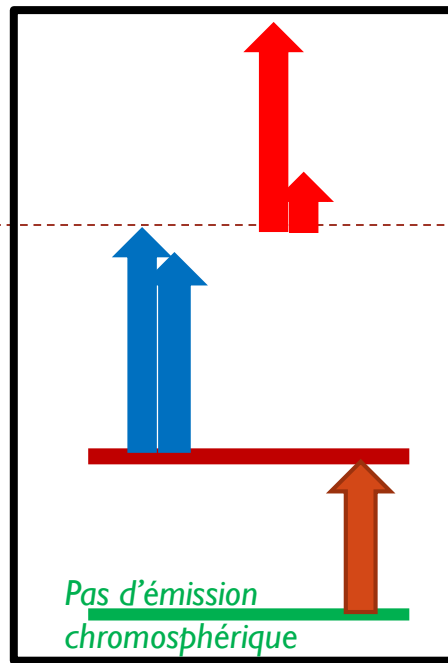
► → Ré-analyse données MDI/SOHO, S-index Sac Peak et Kitt Peak

► Petite corrélation du B Soleil calme avec le cycle

► Importance de la composante Soleil calme pour expliquer le niveau d'émission solaire & les étoiles plus calmes



Proposition



Emission due aux champs magnétiques forts dans les zones « actives » (structures)
Forte variabilité / cycle

Emission due au champ magnétique faible dans les zones « calmes » hors structures (faible, mais couvrant une grande surface)

Emission indépendante du champ magnétique (ondes acoustiques ?) = S_{basal}

$$S(t) = S_{\text{basal}} + [S_{\text{act}}(t) + f' \times S_{\text{qs}}(t)] \times f / N_{\text{pix}}(t)$$

Meunier 18

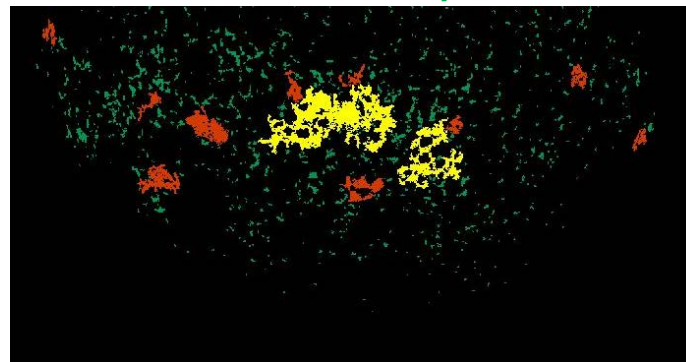
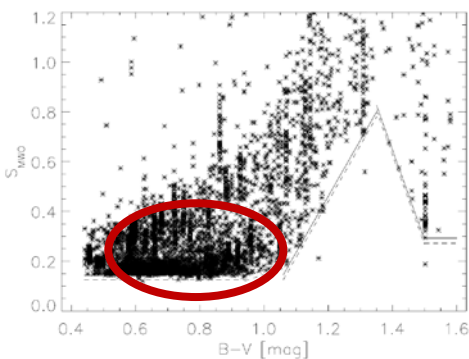
$\Sigma \alpha_i B^{\beta_i}$ Harvey & White 99

$\Sigma f' B^{\beta}$
 $B = B_{\text{qs}} \propto$ flux global moyen disponible

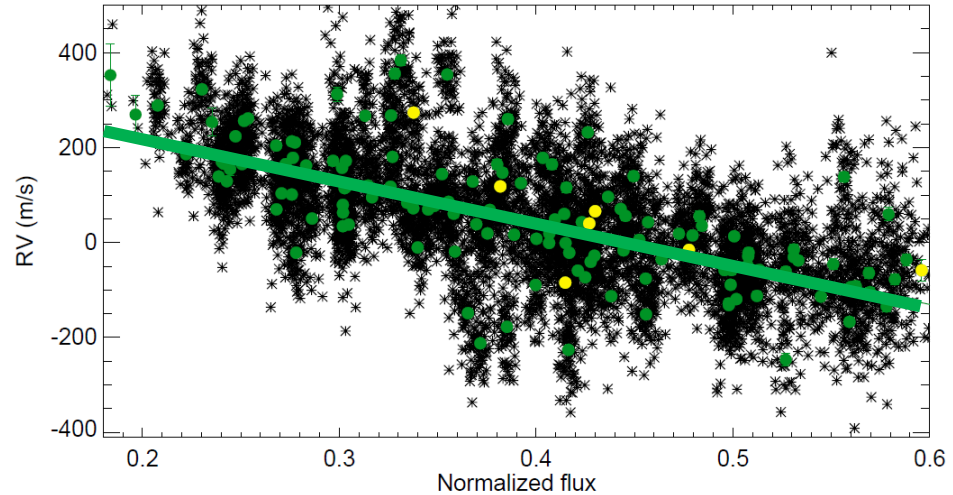
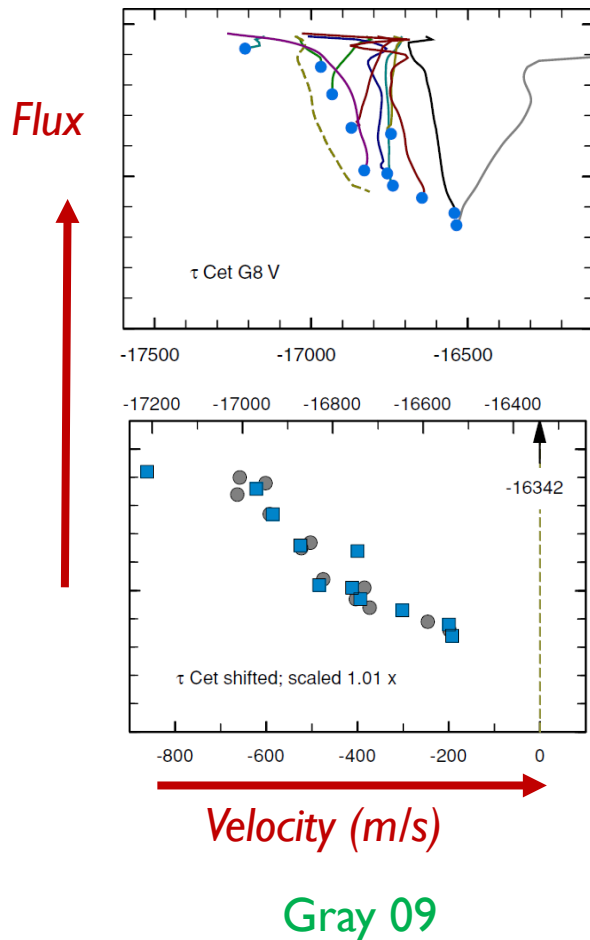
HYP:

$B_{\text{qs}} > 5\text{G}$: prop. niv. activité moyen
Puis chute vers 0

Ex Mittag+ 13



Caractérisation du blueshift convectif

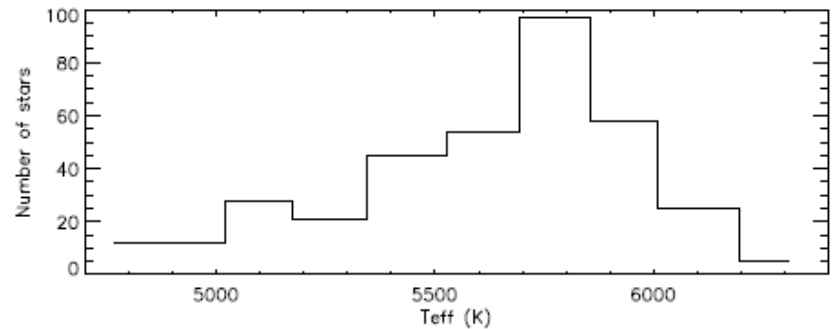
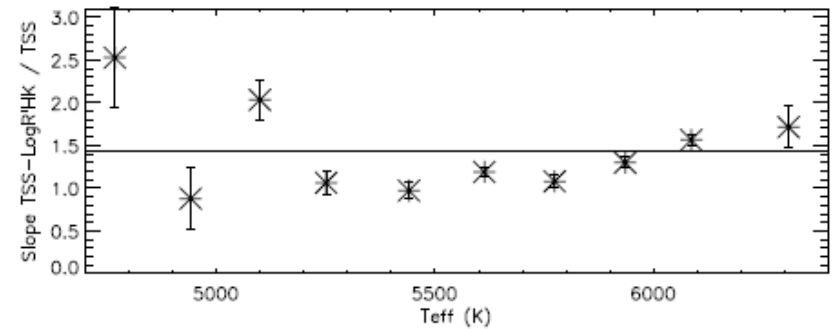
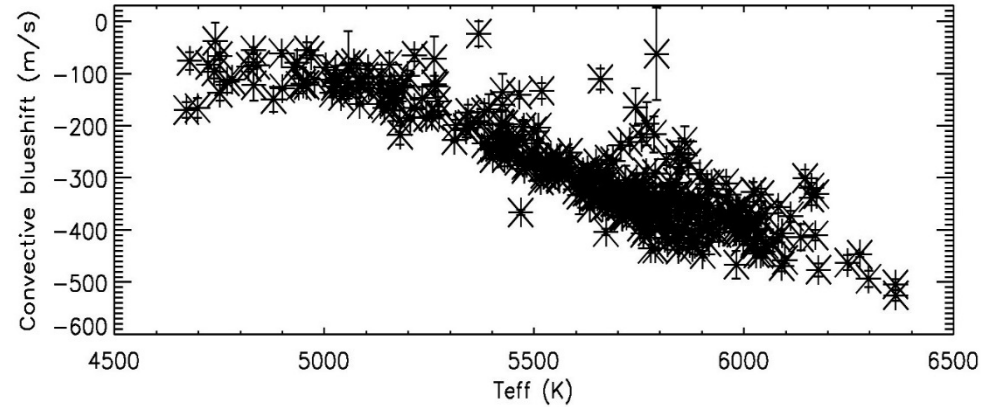
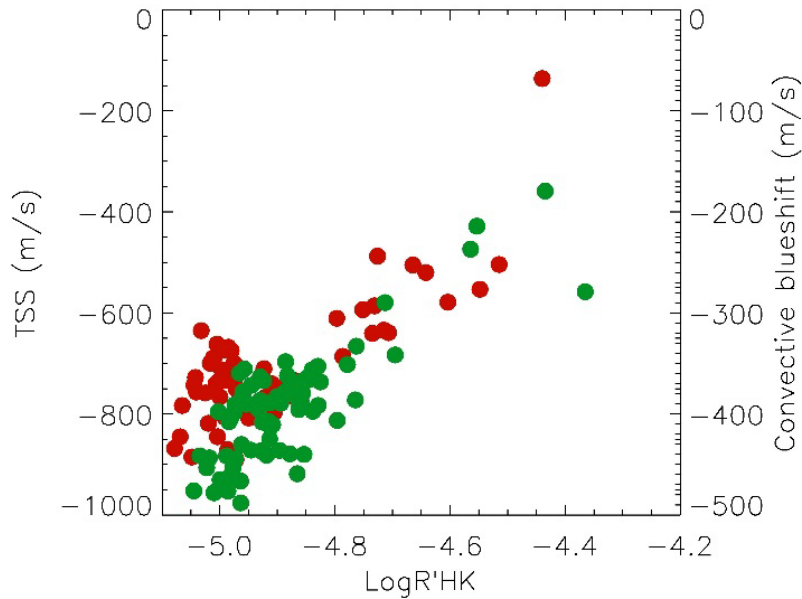


Meunier+17a,b

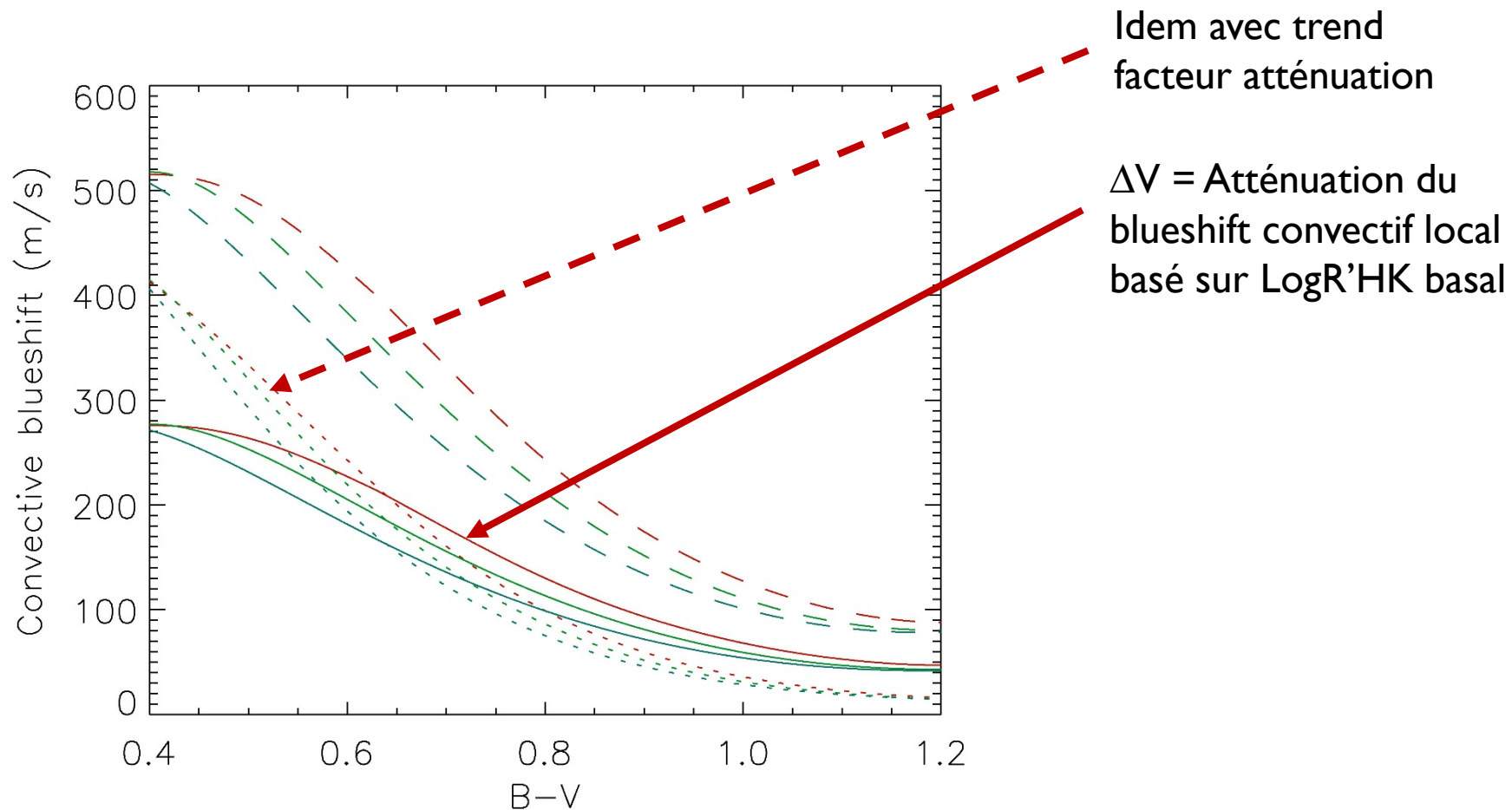
- ▶ Solar case: Dravins et al 1981 (obs & model)
- ▶ Several applications to other stars: eg. Dravins 1987, 1989, Allende Prieto et al 1999, Landstreet 2007
- ▶ Hypothèse de Gray 09
- ▶ → Signature universelle
- ▶ → Relation directe entre cette pente et le blueshift convectif (**calibrée sur le Soleil**)

Caractérisation du blueshift convectif

Meunier+17a,b



Utilisation : atténuation = facteur d'atténuation x blueshift convectif sans activité



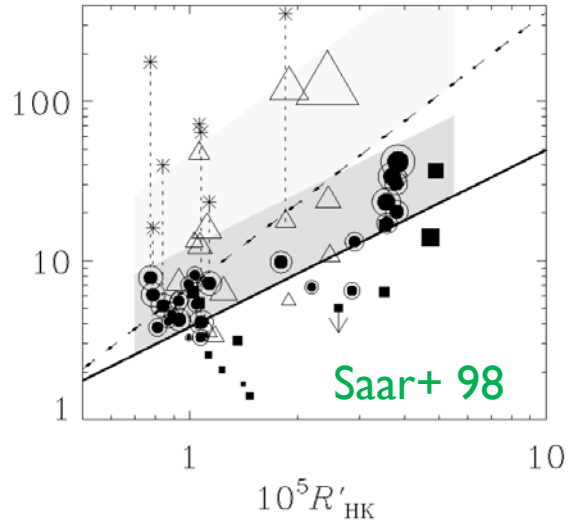
Jitter RV stellaires

- ▶ Observations
- ▶ Quelques résultats de la grille de modèle : très préliminaires !!!

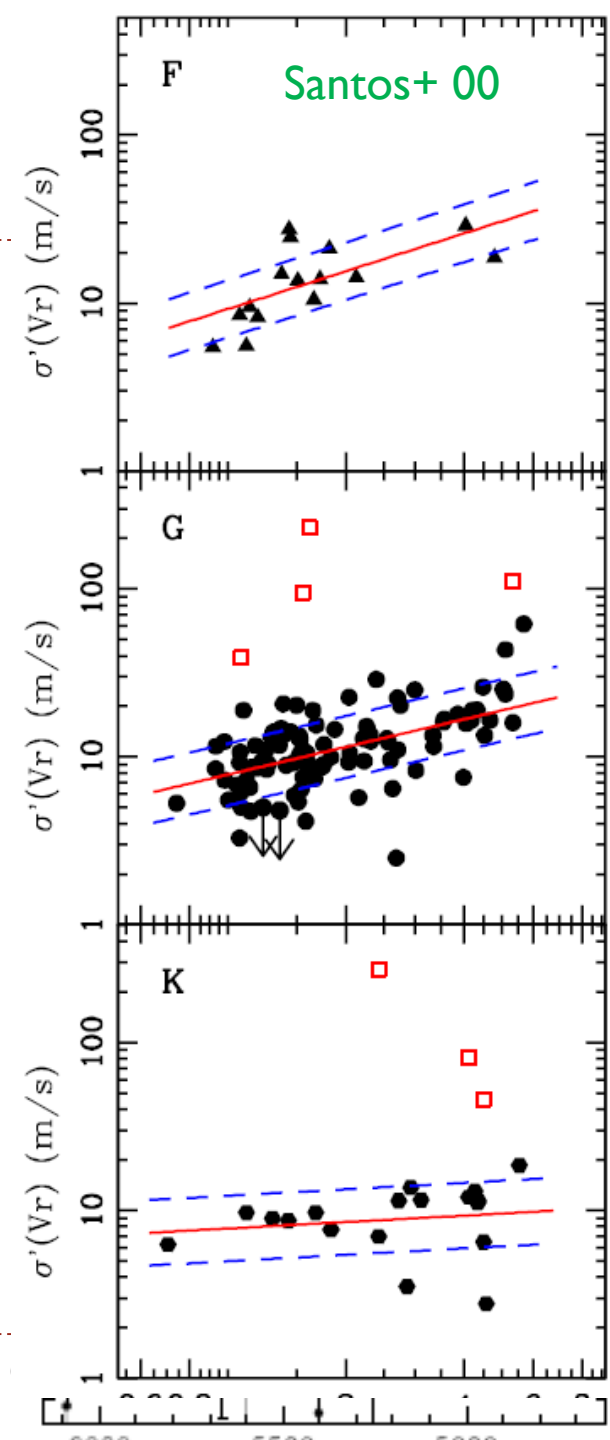
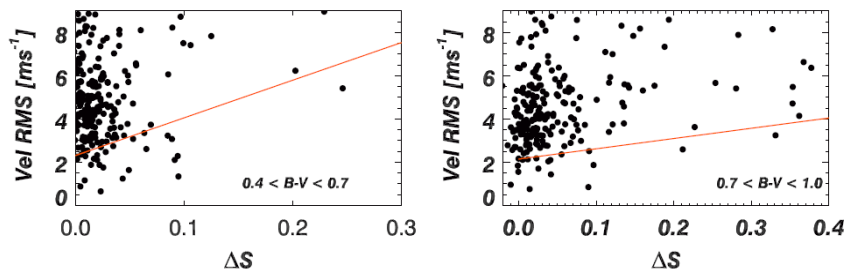


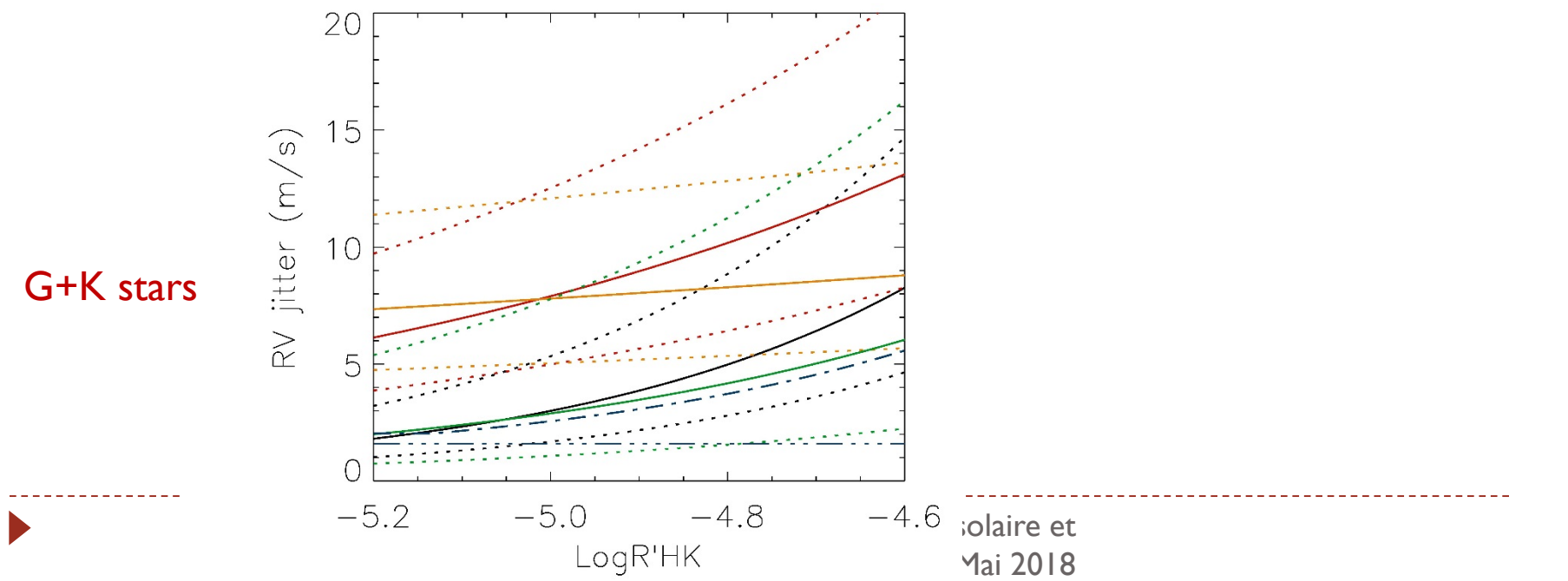
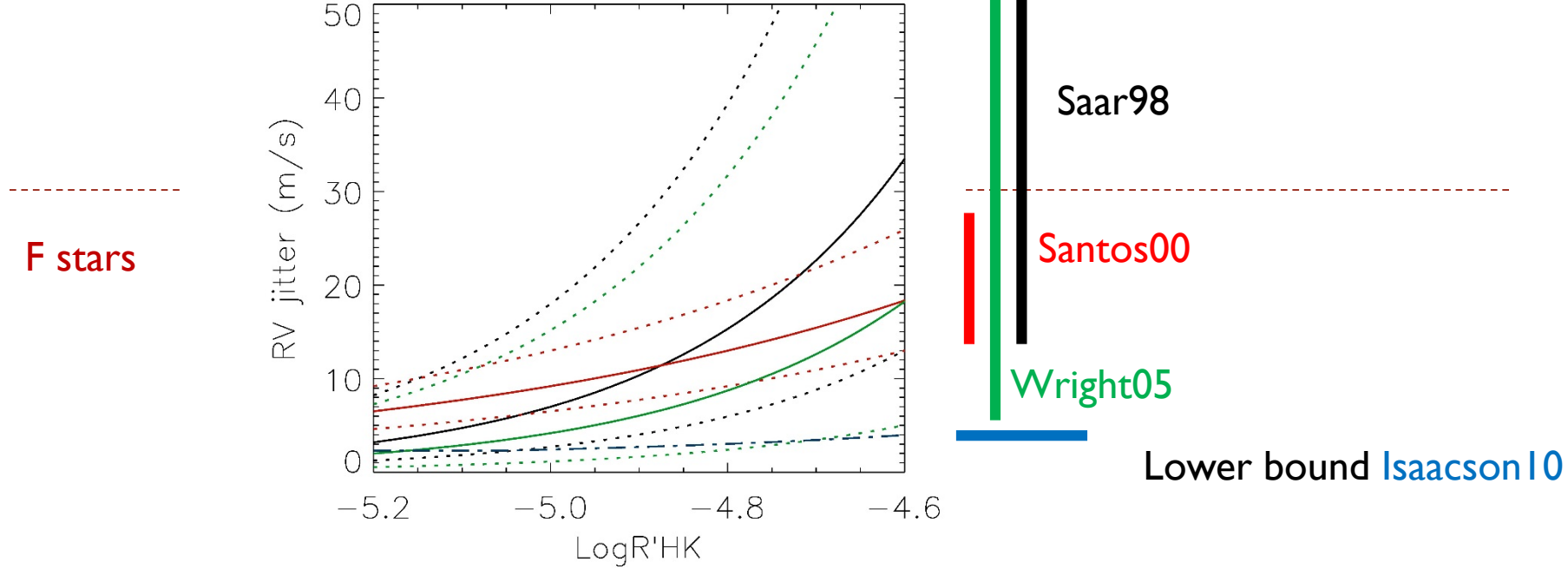
VOIR TP

Approche simple sur impact activité : RV jitter

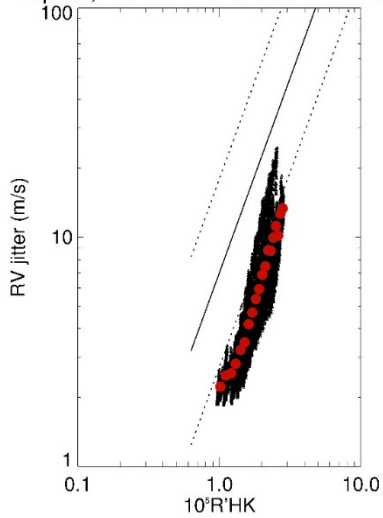


Isaacson
& Fischer+ 10

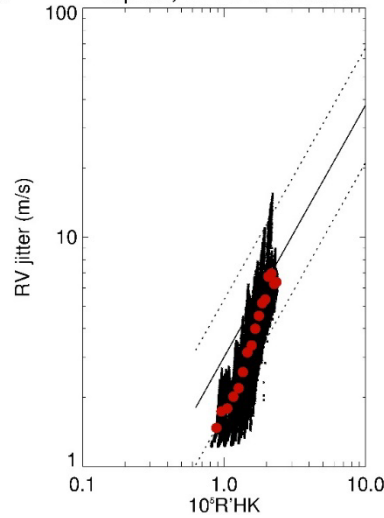




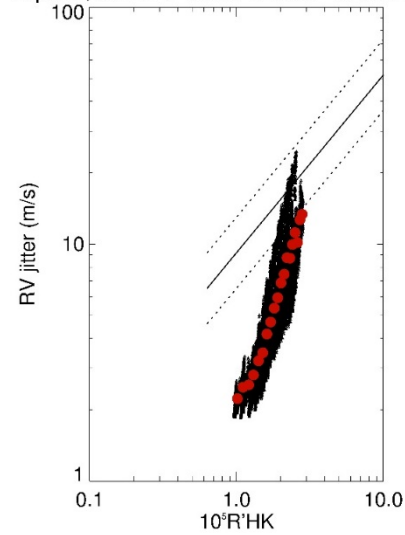
Tspot1, ALL2 F stars COMP SAAR98



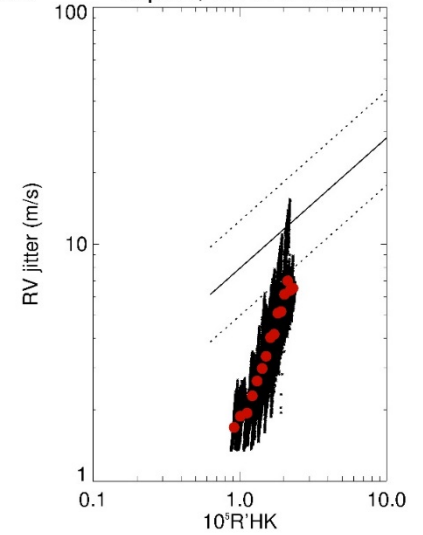
Tspot1, ALL2 G-K stars



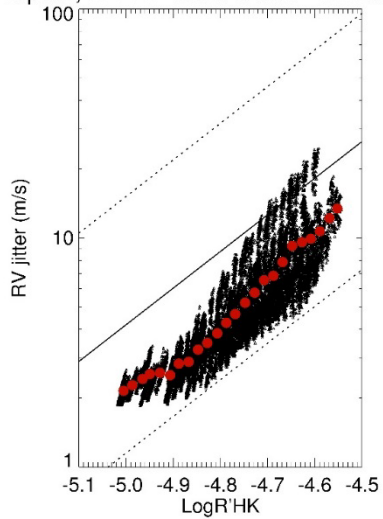
Tspot1, ALL2 F stars COMP SANTOS00



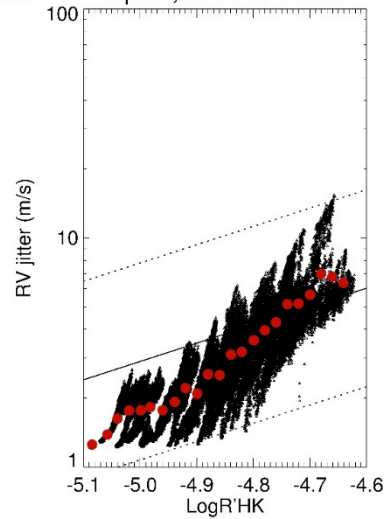
Tspot1, ALL2 G stars



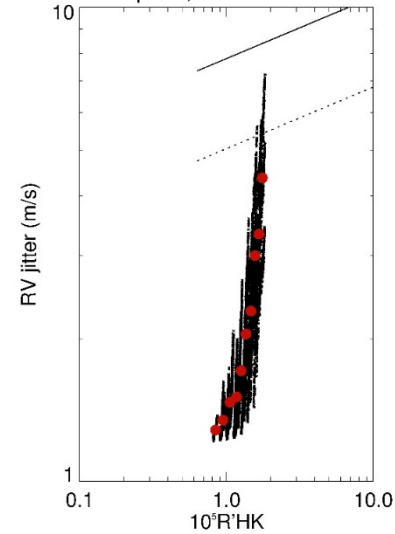
Tspot1, ALL2 F stars COMP WRIGHT05



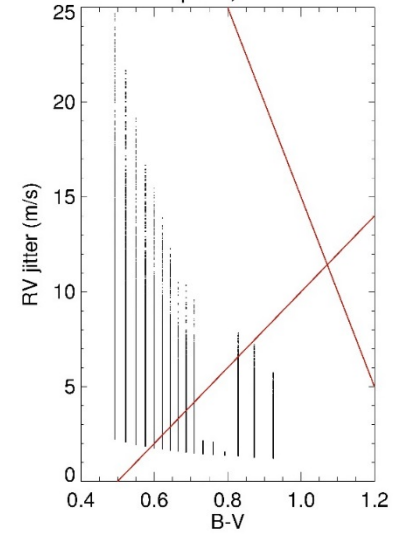
Tspot1, ALL2 G-K stars

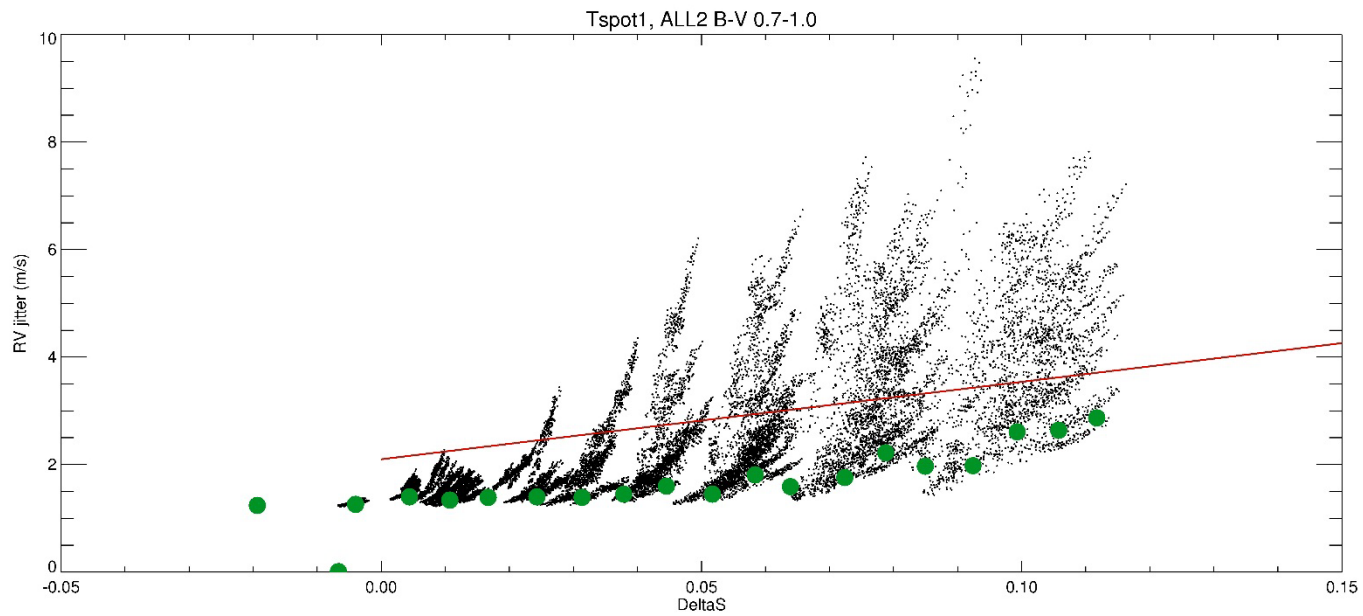
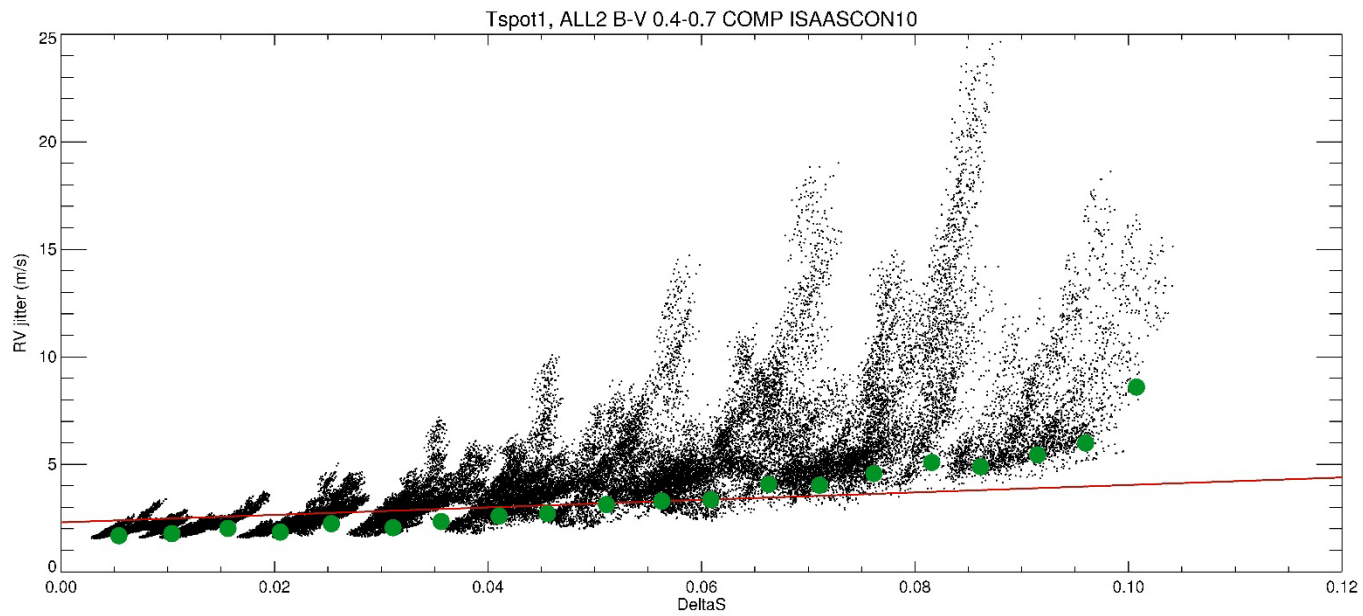


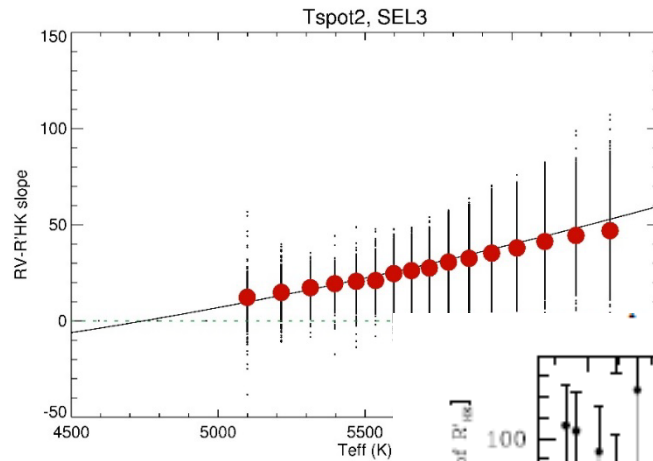
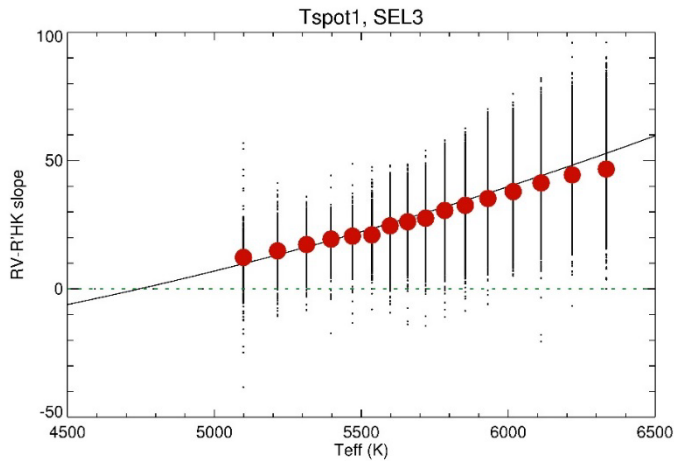
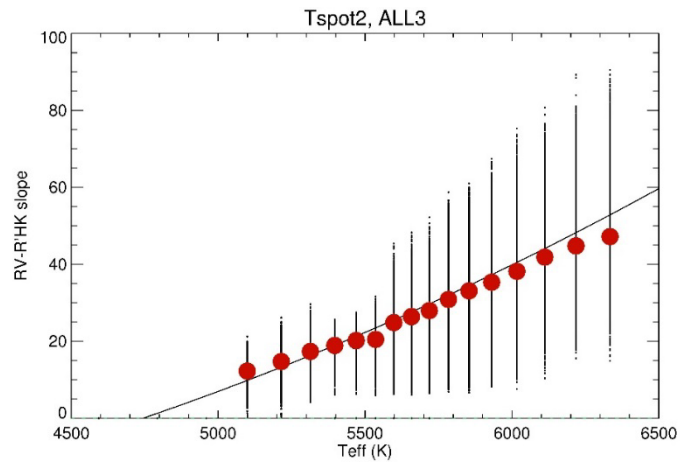
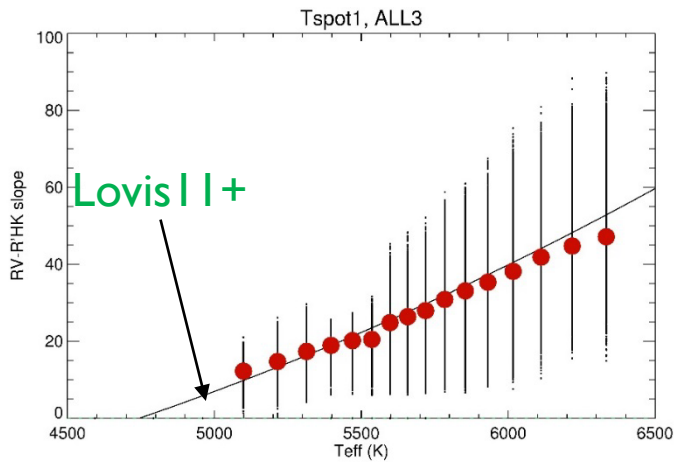
Tspot1, ALL2 K stars



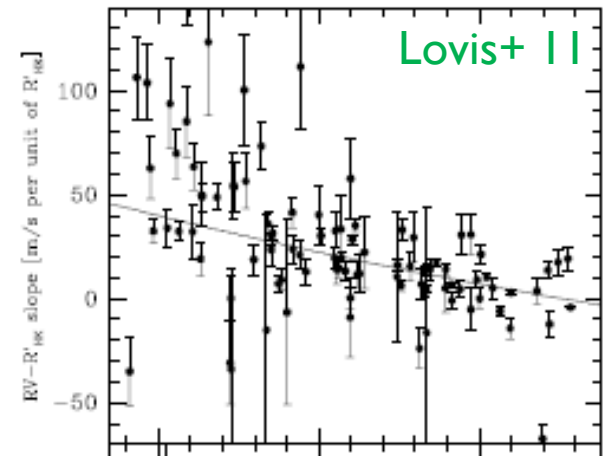
Tspot1, ALL2







- ▶ Correlation RV-Chrom. Attendue qua signal RV dominé par la contri bution convection
- ▶ Etoiles jeunes domainées par taches, on attend peu de corrélation si distribution complexe à la surface



Conclusion 1 / quelques messages

- ▶ **Activité stellaire de natures diverses et omniprésente**
 - ▶ RV : En général un problème mal posé
 - ▶ Nombreuses dégénérescences
 - ▶ Grande diversité de configuration selon le type d'étoiles
- ▶ **Problématiques différentes RV / photométrie-transit**
 - ▶ Nature du signal, échantillonnage
- ▶ **Important de**
 - ▶ Travailler sur les séries les plus longues
 - ▶ Combiner différents indicateurs
 - ▶ Pour comprendre la nature du signal de manière complète
- ▶ **Comparaison RV jitters obs-simus à approfondir**

Conclusion 2/ Pistes futures

▶ Analyse de données

- ▶ Encore des progrès à faire
 - ▶ Techniques adaptée signal mal échantillonné
- ▶ Aller au-delà de la considération activité=bruit (et produire des résultats stellaire lors de l'étape de « correction »)

▶ Instruments

- ▶ Meilleure stabilité instrumentale
- ▶ Besoin d'être associé à meilleur SN
- ▶ Echantillonnage amélioré : besoin de beaucoup de temps de télescope !
- ▶ Saut important / Spirou

} ESPRESSO/VLT

▶ Besoins à l'échelle de 5-10 ans

- ▶ Ex : Follow-up de Plato

