

# *Etoiles doubles et exoplanètes*

*Jean-Louis Halbwachs, obs. de Strasbourg  
Frédéric Arenou, obs. de Paris-Meudon*

# Préambule: les enjeux

*Des binaires par centaines de milliers .. pour quoi faire?*

## *Statistiques de binarité :*

• *pour les  $P < 10$  ans,  $f(q = \mathcal{M}_2/\mathcal{M}_1)$  n'est bien connue que pour les naines G-K*

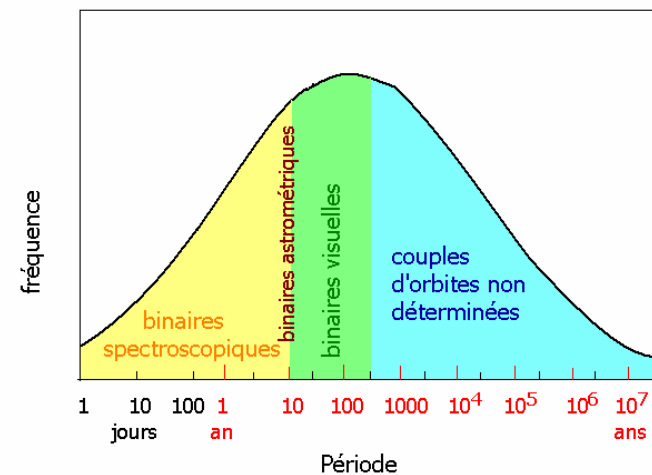
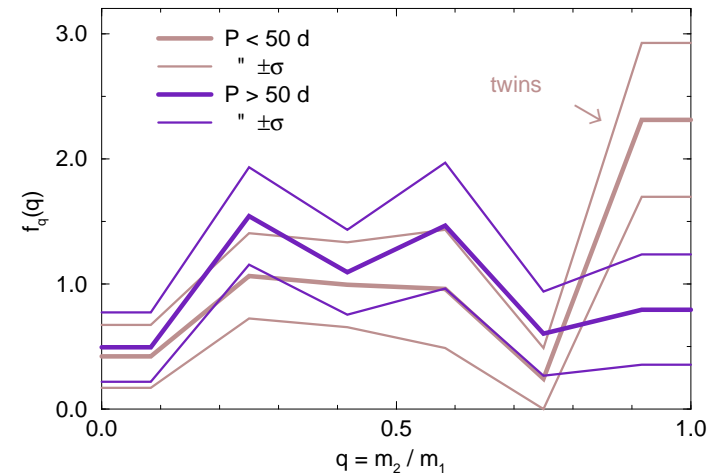
•  *$f(\log P)$  seulement pour naines G-K*

➤ *Déterminer  $f(\mathcal{M}_2/\mathcal{M}_1)$ ,  $f(\log P)$ , %, en fonction de  $\mathcal{M}_{Totale}$*

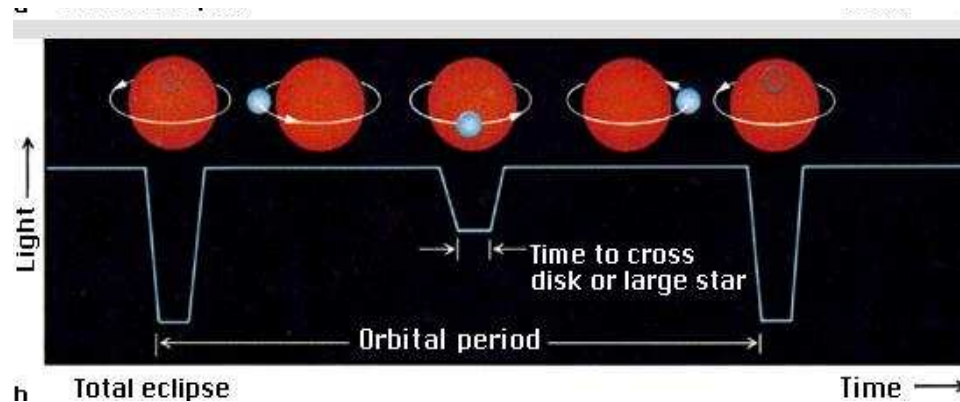
## *Masses :*

➤ *Déterminer des  $\mathcal{M}_\star$  précises*

➤ *Déterminer les masses des exoplanètes*



# *Les binaires à éclipses : paramètres fondamentaux*



$\sigma_G \leq 0,5 \text{ mmag pour } V \leq 13 \text{ mag}$

- *Rayons  $\Rightarrow T_{eff}$*
- *Assombrissements centre-bord*

*Avec des éléments BS2 :*

- *Masses*

# Les binaires à éclipses : exoplanètes



$$\delta m = -2,5 \log (1 - r^2/R_{\star}^2) \geq 5 \text{ mmag} (?)$$

⇒ *des super-Terre autour des naines froides*

TSp (CL V)	B0	A0	F0	G0	K0	M0
$\delta m(r_{Jup})$ mmag	0,2	2,0	5,0	9,4	16	32
$r_{min}/r_{Jup}$ ( $\delta m=5\text{mmag}$ )	6	1,6	1	0,7	0,6	0,4

*À confirmer par VR-sol !*

# Les binaires spectroscopiques

40 mesures avec  $\sigma_{VR} \approx 5$  km/s pour les étoiles brillantes ( $m_V < 7,5$  mag pour B0 V,  $m_V < 13$  mag pour G2 V)

$\Rightarrow$  Orbites jusqu'à  $K_1 \approx 15$  km/s

Pour  $M_1 = 1 M_{\odot}$ , on a les  $K_1$  ci-dessous :

$M_2/M_1$	$P$	3 jours	1 mois	1 an	5 ans
0,7		73 km/s	34 km/s	15 km/s	9 km/s
0,5		56 km/s	26 km/s	11 km/s	7 km/s
0,3		37 km/s	17 km/s	7,5 km/s	4 km/s
0,1		14 km/s	6 km/s	2,8 km/s	1,6 km/s

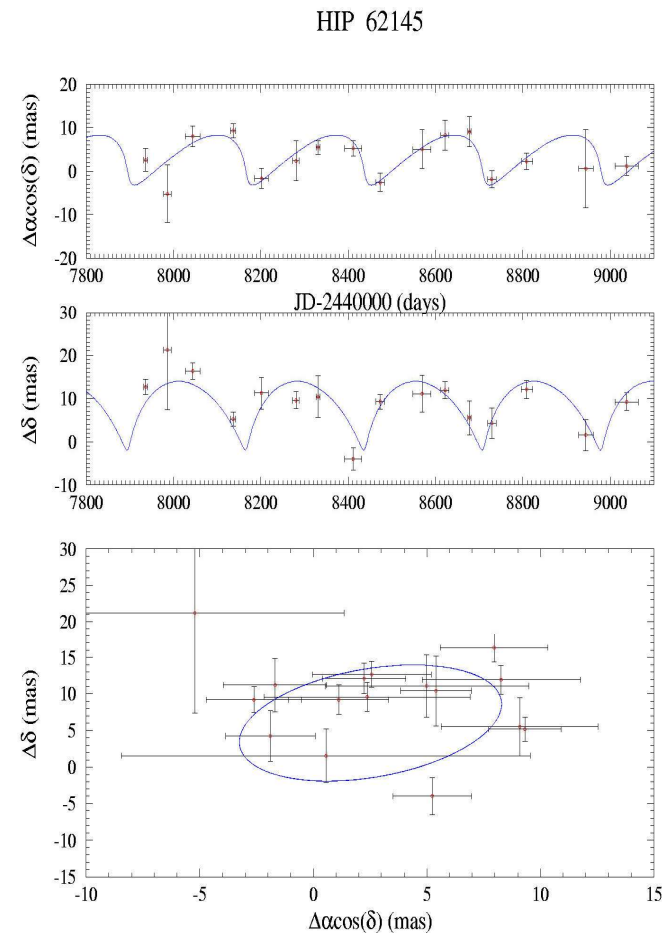
Ces chiffres doivent être  $\times 2$  pour une primaire B0 V

$\Rightarrow f(M_2/M_1)$  étendue aux étoiles massives

# Les binaires astrométriques: classification

*Des types très différents :*

- *à accélération*
- *orbitales*
- *à variabilité photométrique (VIM)*
- *systèmes planétaires multiples*



# Les binaires astrométriques orbitales

$$a_{1('')} = [\mathcal{M}_{1(\mathcal{M}_{\odot})} \cdot P_{\text{an}}^2]^{1/3} \times [q/(1+q)^{2/3}] / D_{\text{pc}}$$

*Si  $\mathcal{M}_1 = 1 \mathcal{M}_{\odot}$  et avec  $\sigma_w \geq 50 \mu\text{as}$  ( $m_v < 10 \text{ mag}$ )  $\Rightarrow$  orbites pour  $a_1 > 150 \mu\text{as}$ . On a les distances limites :*

P =	1 mois	1 an	5 ans
0.08 $\mathcal{M}_{\odot}$	97 pc	510 pc	1500 pc
10 Jupiter	12 pc	63 pc	190 pc
Jupiter	1,2 pc	6,3 pc	19 pc

*Complète les binaires spectroscopiques vers petits  $\mathcal{M}_2/\mathcal{M}_1$  et longues P.*

*$\Rightarrow$  Exploration de la transition naines brunes - planètes*

*Exoplanètes : des masses précises pour les planètes-BS à longue P (élimine les confusions avec naines brunes)*

# *Binaires astrométriques et masses*

- *Binaires résolues :*

*Pouvoir séparateur  $< 0.1''$  (20 mas ?)*

*⇒ Des couples orbitaux ( $P < 50$  ans)*

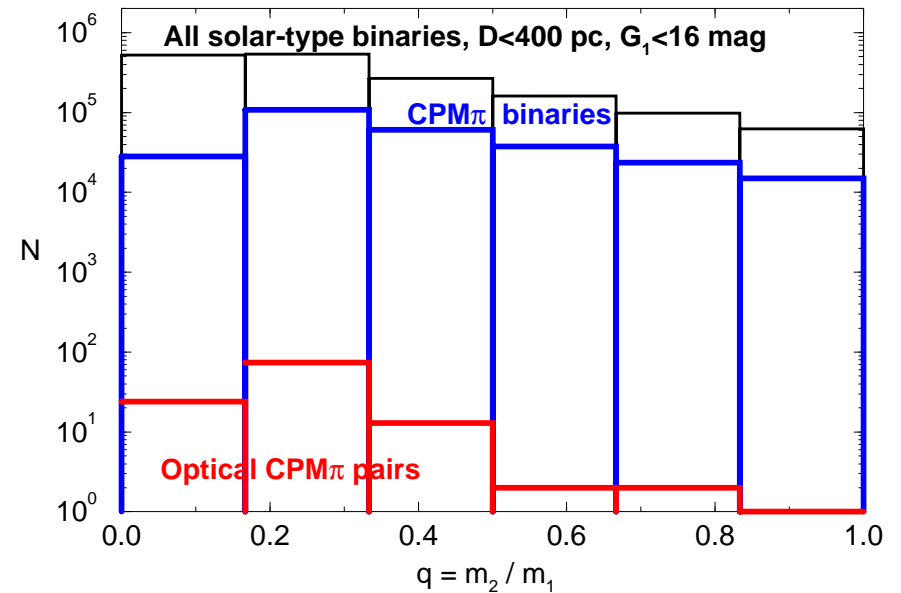
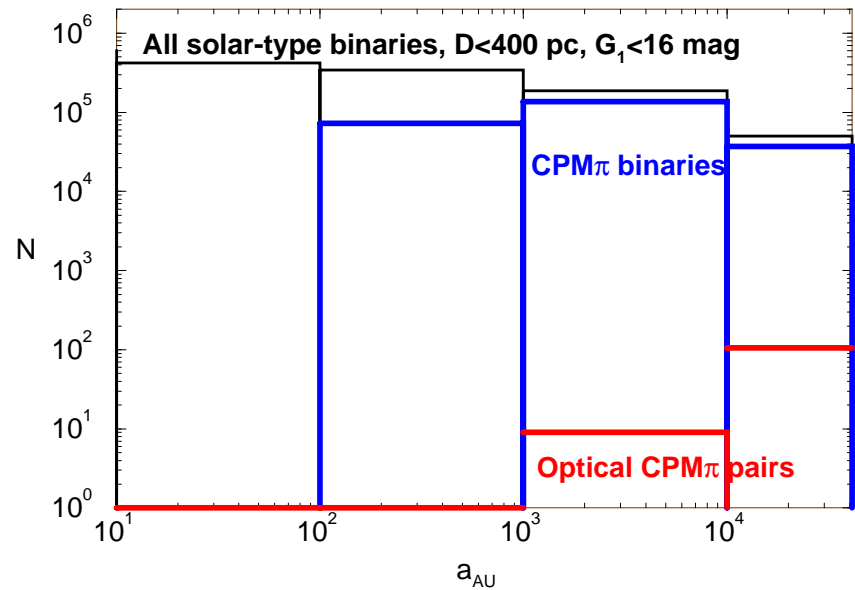
*⇒ Les masses des composantes*

- *Orbites astrométriques + orbites de BS2 en VR haute précision: des masses stellaires à 1 % !*



# Étoiles doubles à grandes séparations

*Sélection des couples physiques sur la base de  $\mu$  et  $\varpi$   
(+VR si disponible).*



*$f(\log a)$  au-delà de 100 UA (1000 pour les  $\star$  massives)*

*$f(q = M_2 / M_1)$  sur tout le domaine des compagnons stellaires*

# Conclusion (1)

*Des distributions statistiques très précises pour toutes les  $\mathcal{M}_1$  (▲ biais !) ..*

- *pour  $P < 10$  ans (BinSpect et BinAstrom)*
- *pour  $P > 100$  ou 1000 ans pour ☆ massives (CPM $\omega$ )*
- *sur une grande plage de  $\mathcal{M}_2/\mathcal{M}_1$  stellaires*

*⇒ Des distributions à masses totales constantes*

## Conclusion (2)

Des objets de petites masses qui devront être observés du sol (VR) :

- Naines brunes entre désert et steppe (*BinAstrom*)
- Gros Jupiter (*BA*) autour d'☆ « solaires »
- Jupiter chauds (*BinEcl*) autour de naines F et +
- Super-terres (*BE*) autour de naines M

*Des masses stellaires, à déduire ou à améliorer par orbite spectro (*BE, BA, BA résolues*)*