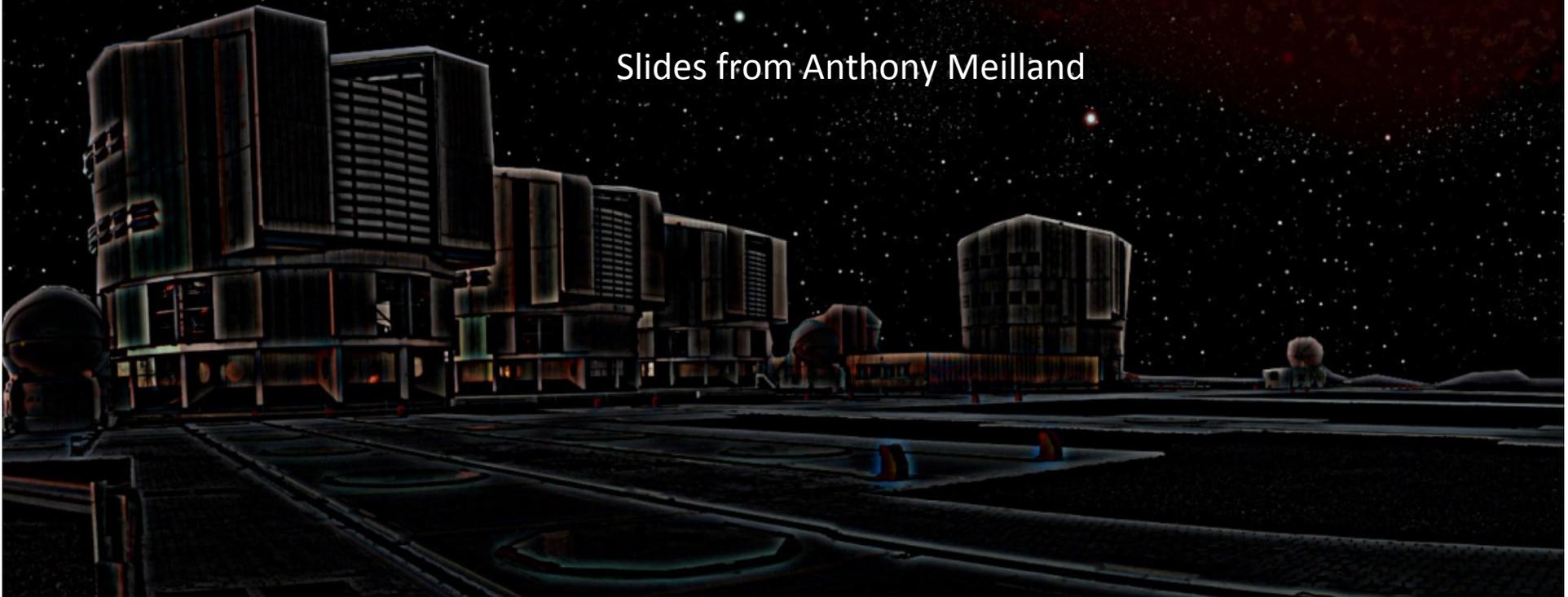


MODÉLISATION DES ÉTOILES CHAUDES MASSIVES ET EXPLOITATION DES MESURES À HAUTE RÉOLUTION ANGULAIRE DES INSTRUMENTS VLT/AMBER, VLT/MIDI ET CHARA/VEGA

Philippe Stee

OCA – Laboratoire Lagrange

Slides from Anthony Meilland



AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT DES ÉTOILES MASSIVES

- Pourquoi observer les environnements des étoiles massives?
- Un besoin de haute résolution spatiale et spectrale
- Les interféromètres actuels et leurs instruments
- Etoiles Be et interférométrie, une longue histoire...
- Au-delà des Be classiques (5 exemples)

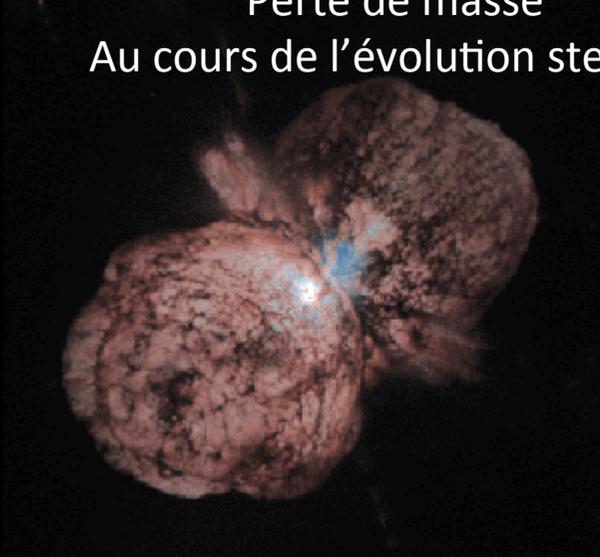
AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT DES ÉTOILES MASSIVES

- Pourquoi observer les environnements des étoiles massives?
- Un besoin de haute résolution spatiale et spectrale
- Les interféromètres actuels et leurs instruments
- Étoiles Be et interférométrie, une longue histoire...
- Au-delà des Be classiques (5 exemples)

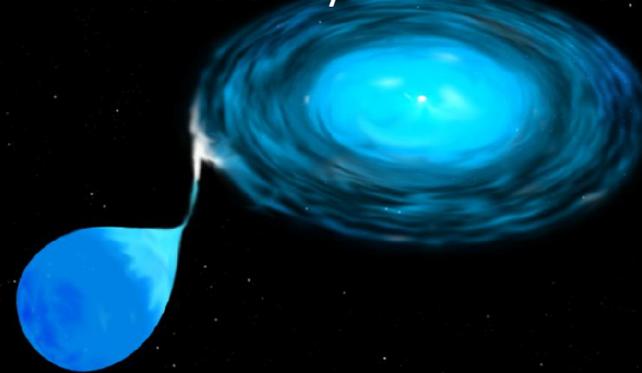
POURQUOI OBSERVER LES ENVIRONNEMENTS DES ÉTOILES MASSIVES?

TRACEUR DES TRANSFERTS DE MASSES

Perte de masse
Au cours de l'évolution stellaire



Transfert de masse
dans un système binaire



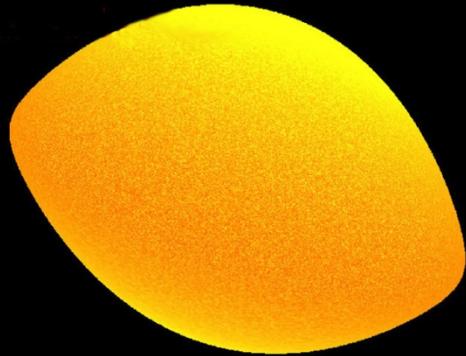
Accrétion de matière
par une étoile jeune



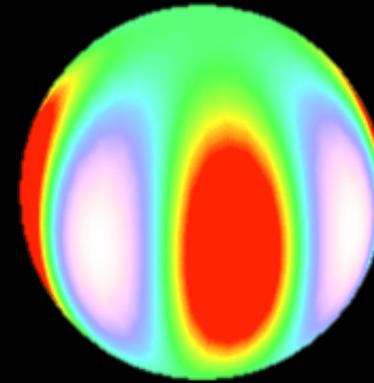
POURQUOI OBSERVER LES ENVIRONNEMENTS DES ÉTOILES MASSIVES?

COMPRENDRE L'ÉJECTION DE MATIÈRE ET LES MÉCANISMES QUI EN SONT À L'ORIGINE

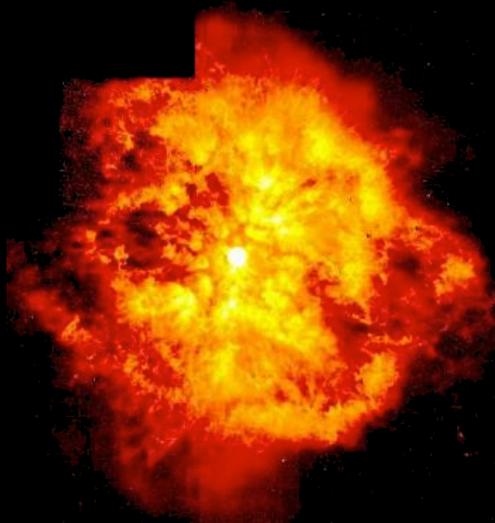
Rotation rapide



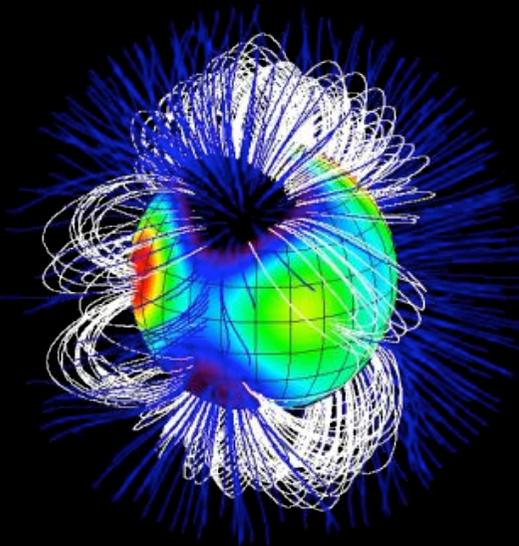
Pulsations



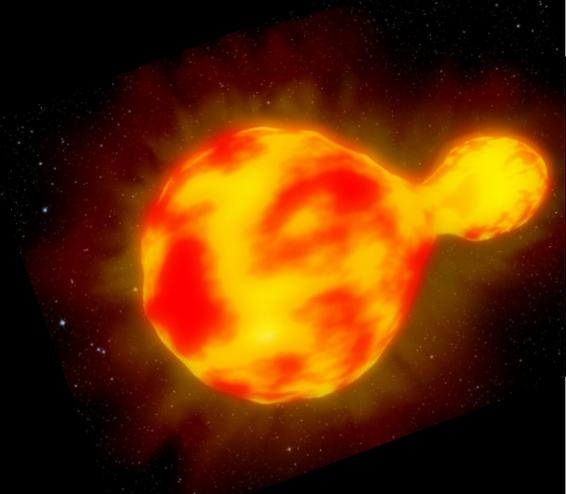
Pression de radiation



Magnétisme



Binarité



AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT DES ÉTOILES MASSIVES

- Pourquoi observer les environnements des étoiles massives?
- Un besoin de haute résolution spatiale et spectrale
- Les interféromètres actuels et leurs instruments
- Etoiles Be et interférométrie, une longue histoire...
- Au-delà des Be classiques (5 exemples)

UN BESOIN DE HAUTES RÉOLUTIONS SPATIALE ET SPECTRALE

DES ENVIRONNEMENTS TROP PETITS POUR LES TÉLESCOPES ACTUELS ET FUTURS

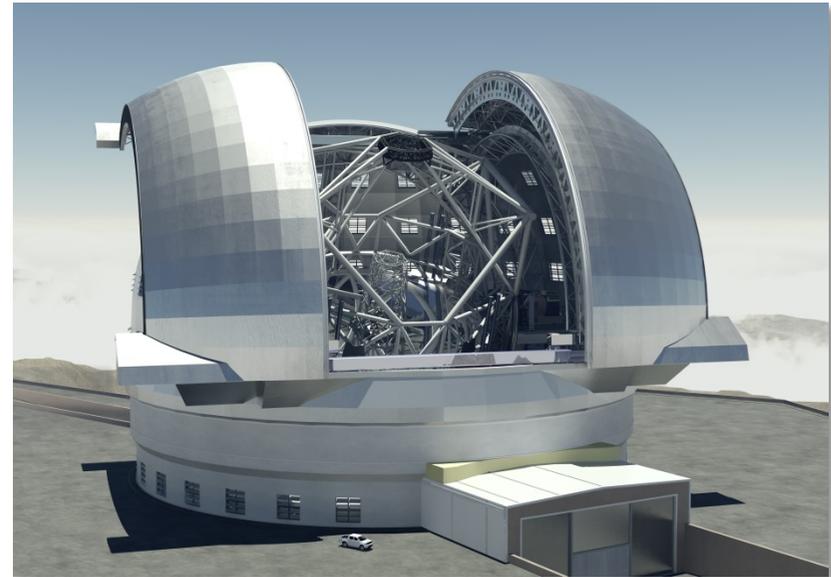


VLT : Télescopes de 8 m

En Bande V \Leftrightarrow 15 mas

En Bande K \Leftrightarrow 70 mas

En Bande N \Leftrightarrow 300 mas



E-ELT : Télescope de 40 m

En Bande V \Leftrightarrow 3 mas

En Bande K \Leftrightarrow 15 mas

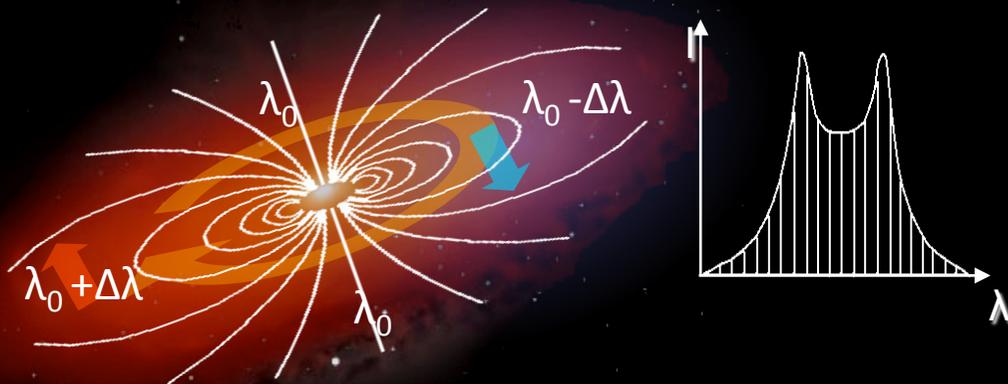
En Bande N \Leftrightarrow 60 mas

UN BESOIN DE HAUTE RÉOLUTION SPATIALE ET SPECTRALE

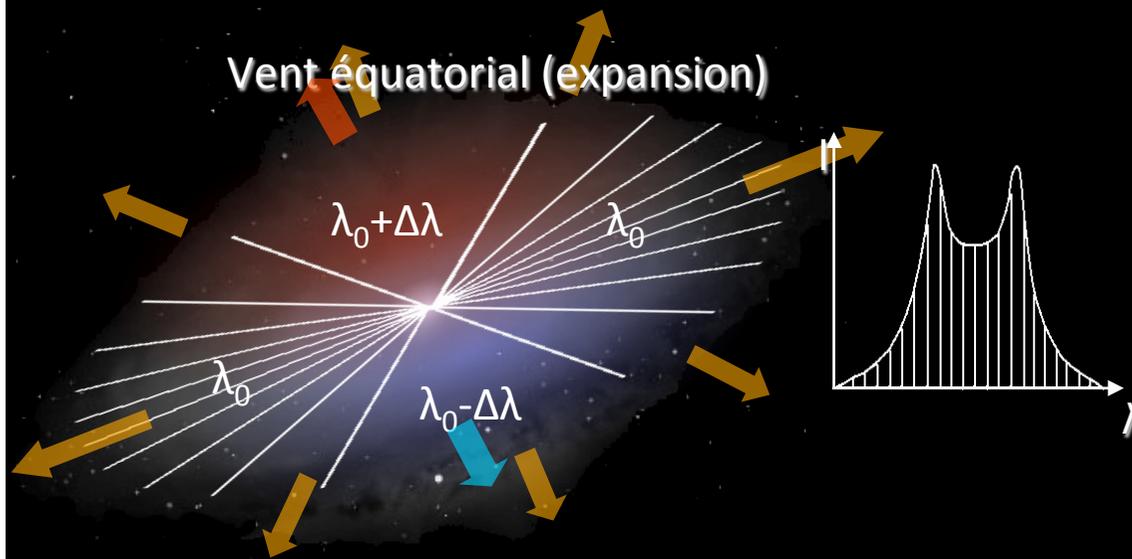
LIMITE DE LA SPECTROSCOPIE DANS L'ÉTUDE DE LA CINÉMATIQUE

Spectroscopie

Disque équatorial en rotation



Vent équatorial (expansion)



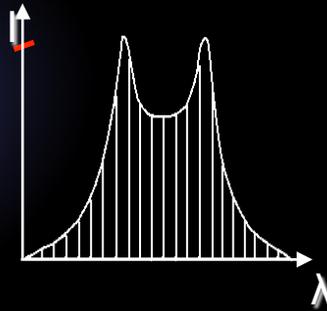
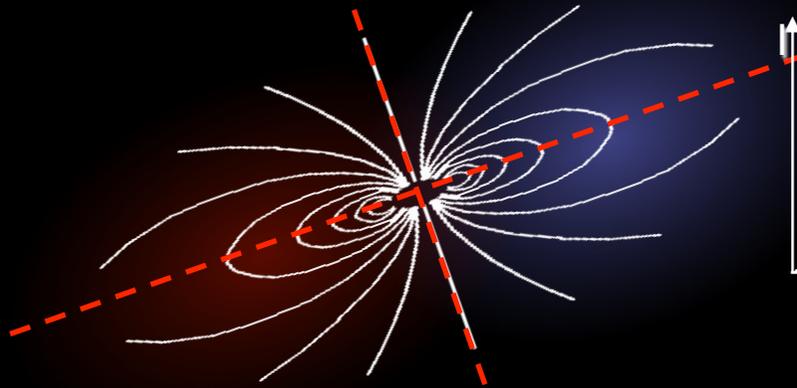
UN BESOIN DE HAUTE RÉOLUTION SPATIALE ET SPECTRALE

LA SPECTRO-INTERFÉROMÉTRIE

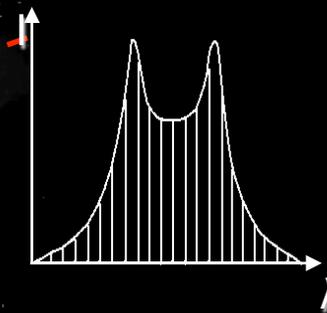
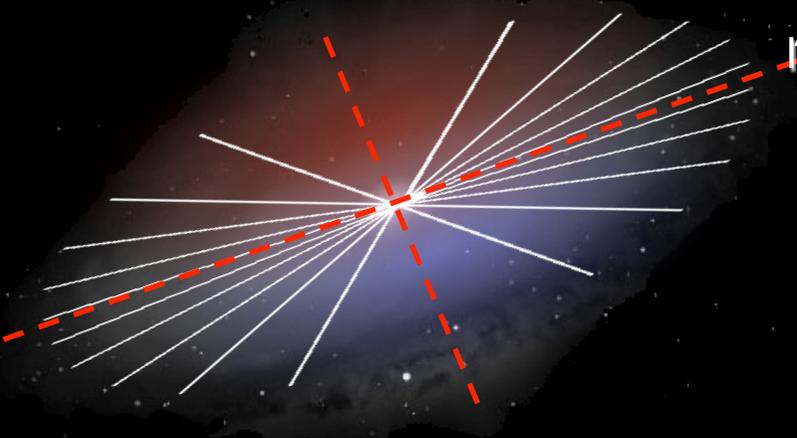
Spectroscopie

Spectro-Interférométrie

Disque équatorial en rotation

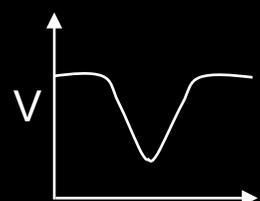
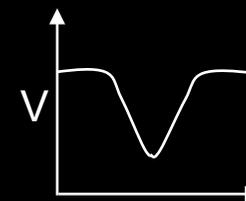
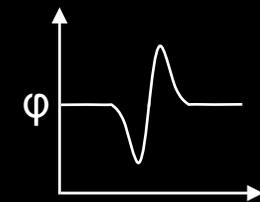
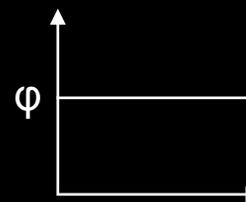
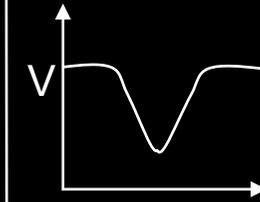
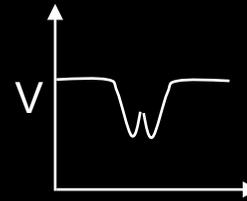
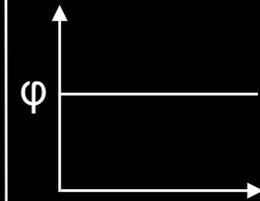
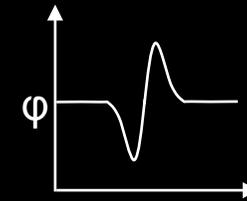


Vent équatorial (expansion)



Le long du grand axe

Le long du petit axe



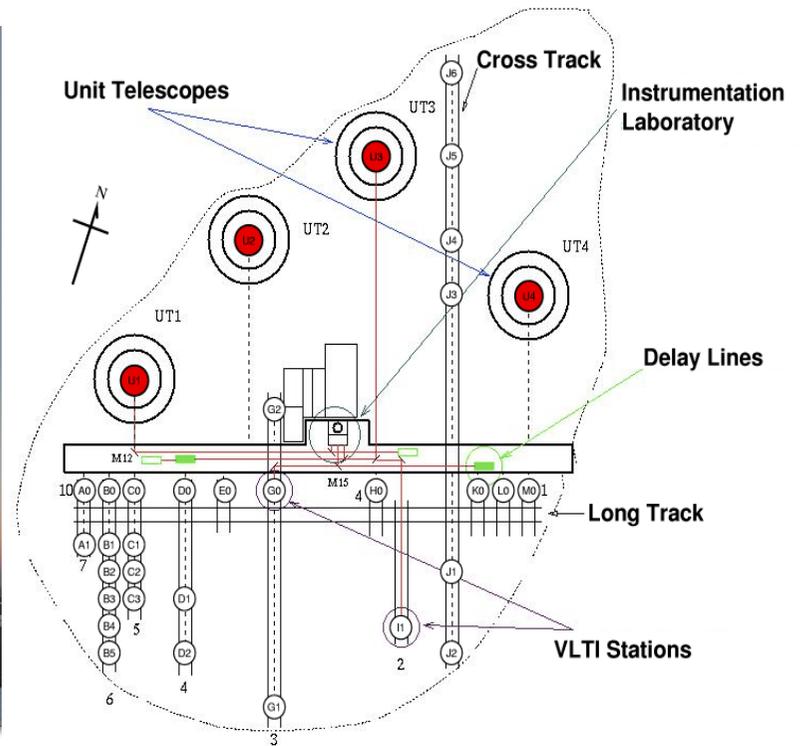
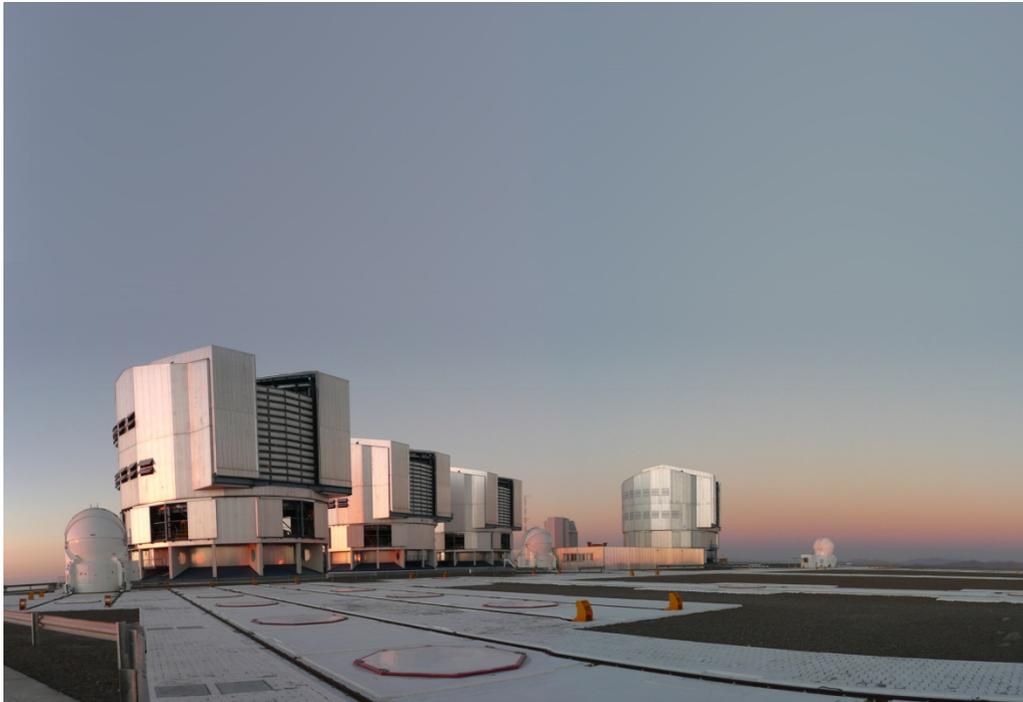
AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT DES ÉTOILES MASSIVES

UNE PROMENADE SPECTRO-INTERFÉROMÉTRIQUE

- Pourquoi observer les environnements des étoiles massives?
- Un besoin de haute résolution spatiale et spectrale
- **Les interféromètres actuels et leurs instruments**
- Etoiles Be et interférométrie, une longue histoire...
- Au-delà des Be classiques (5 exemples)

LES INTERFÉROMÈTRES ACTUELS ET LEURS INSTRUMENTS

LE VLTI



Cerro Paranal, Désert d'Atacama, Chili

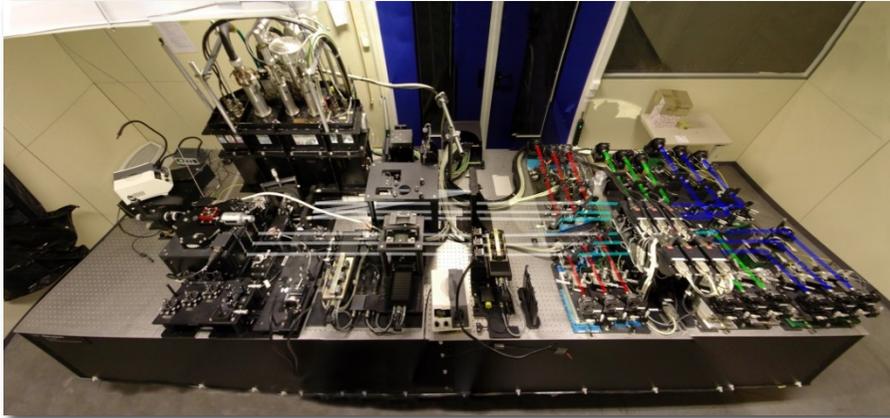
4 Télescopes fixes de 8m (UT)

4 Télescopes mobiles de 1.6m (AT)

Bases de 8m à 150m (220m théoriquement)

LES INTERFÉROMÈTRES ACTUELS ET LEURS INSTRUMENTS

LES INSTRUMENTS AMBER ET MIDI SUR LE VLT



AMBER

Fonctionne avec 3 télescopes
Bandes H et K (et J théoriquement)

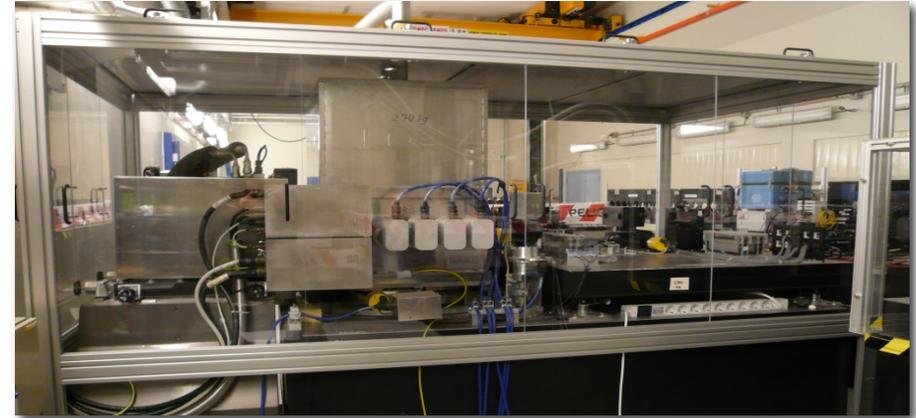
3 modes de dispersion spectrale

LR \leftrightarrow R=30

MR \leftrightarrow R=1500

HR \leftrightarrow R=12000

$\theta_{\min} = 2.6 \text{ mas}$



MIDI

Fonctionne avec 2 télescopes
Bande N (8-13 μm)

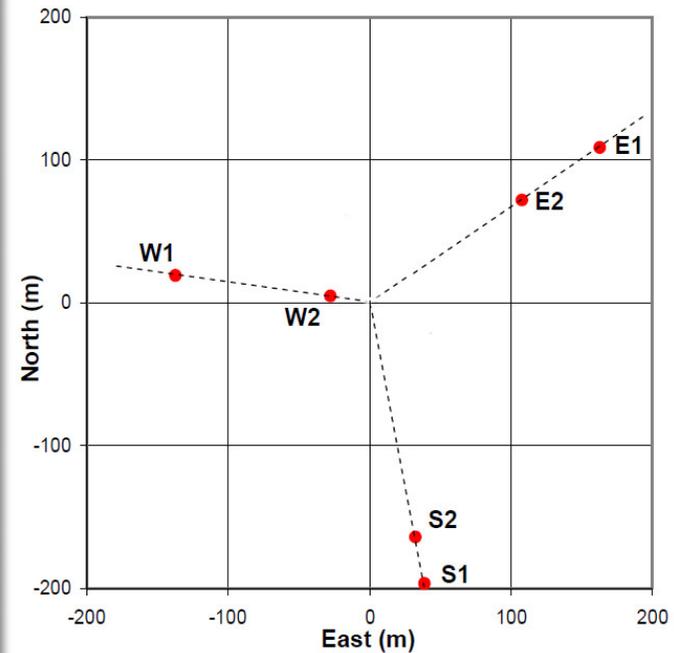
2 modes de dispersion spectrale

GRISM \leftrightarrow R=230

PRISM \leftrightarrow R=30

$\theta_{\min} = 13 \text{ mas}$

LES INTERFÉROMÈTRES ACTUELS ET LEURS INSTRUMENTS CHARA



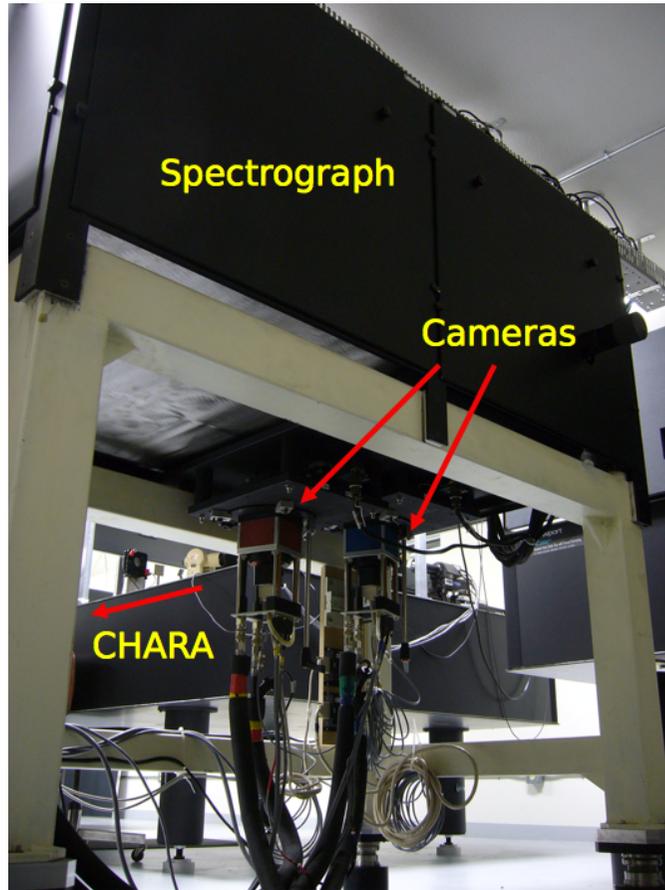
Mount Wilson, Los Angeles County, Californie

6 Télescopes fixes de 1m
Bases de 32 à 330 m

Nombreux instruments : CLASSIC, CLIMB, MIRC, CHAMP, PAVO, FLUOR et VEGA

LES INTERFÉROMÈTRES ACTUELS ET LEURS INSTRUMENTS

L'INSTRUMENT VEGA SUR CHARA



VEGA

Fonctionne avec 4 télescopes

Bandes V et R

3 modes de dispersion spectrale

LR \Leftrightarrow R=300

MR \Leftrightarrow R=5000

HR \Leftrightarrow R=30000

$\theta_{\min} = 0.4 \text{ mas}$

Résolution spatiale la plus élevée au monde !

AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT DES ÉTOILES MASSIVES

- Pourquoi observer les environnements des étoiles massives?
- Un besoin de haute résolution spatiale et spectrale
- Les interféromètres actuels et leurs instruments
- Etoiles Be et interférométrie, une longue histoire...
- Au-delà des Be classiques (5 exemples)

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

LE PHÉNOMÈNE Be EN QUELQUES MOTS

- Raies en émission
- Excès infrarouge (free-free)
- Etoiles non-supergéantes

- Rotation rapide

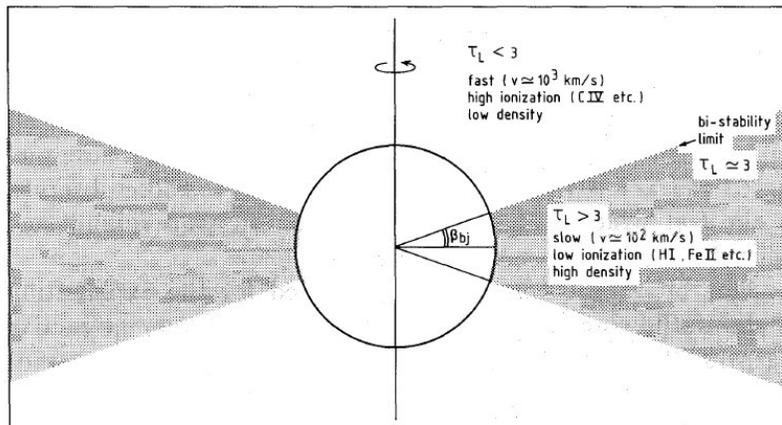
- Raies visible/IR larges ($>100\text{km/s}$)
- Raies UV très larges ($\approx 1000\text{km/s}$)

- Deux zones dans l'environnement :
 - Zone équatoriale (dense et faible expansion)
 - Zone polaire (ténue et en forte expansion)

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

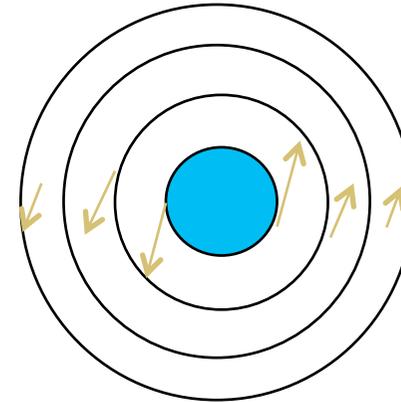
DEUX MODÈLES POUR EXPLIQUER LE PHÉNOMÈNE

Vent radiatif bi-stable (Lamers 1991)



- Rotation rapide de l'étoile
- Effet d'assombrissement gravitationnel
- Changement d'opacité latitudinale
- Vent rapide et dilué au pôle (qq 100km/s)
- Vent dense et lent à l'équateur (qq 10km/s)

Disque visqueux d'excrétion (Lee)

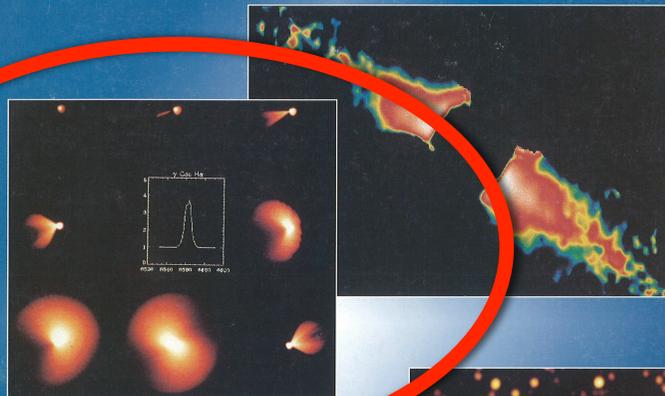


- Rotation quasi-critique de l'étoile
- Gravité effectivement quasi-nulle à l'équ.
- Matière éjectée facilement (pulsations ...)
- Effet de viscosité entraînant le disque

Quelle loi de rotation dans le disque circumstellaire ?

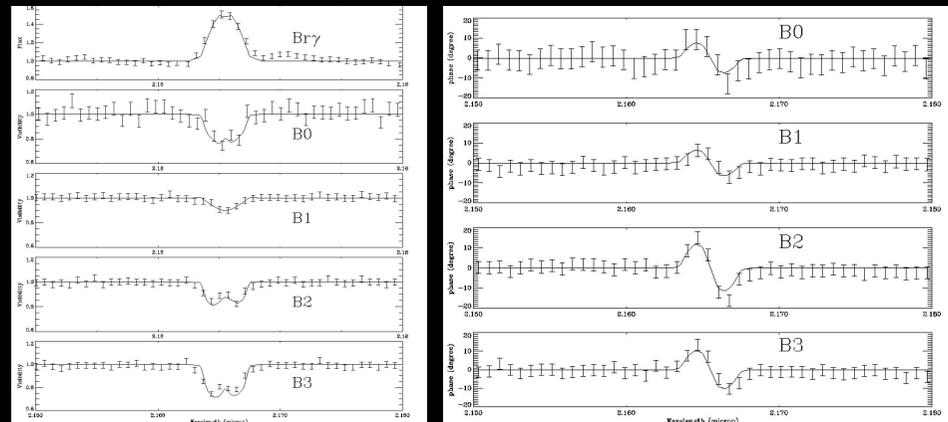
PROGRAMME NATIONAL HAUTE RESOLUTION ANGULAIRE EN ASTRONOMIE
INSU - CNRS

VLTI : PROGRAMMES ASTROPHYSIQUES



JOURNÉE D'ÉTUDE TENUE À L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON LE 11 OCTOBRE 1994

Question posée depuis 1866 !



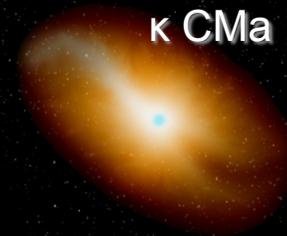
Réponse: Képlérienne pour α Arae

“First direct detection of a Keplerian rotating disk around the Be star α Arae using the VLTI/AMBER instrument” Meilland, A., Stee, Ph. et al. 2007, A&A, 464, 59

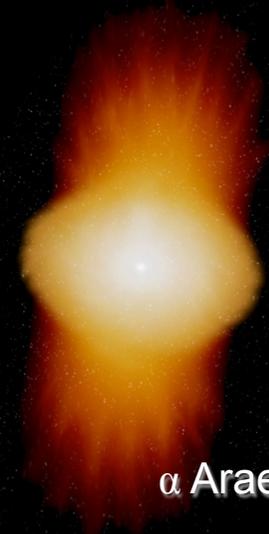
Etoiles Be classiques



Achernar



κ CMa

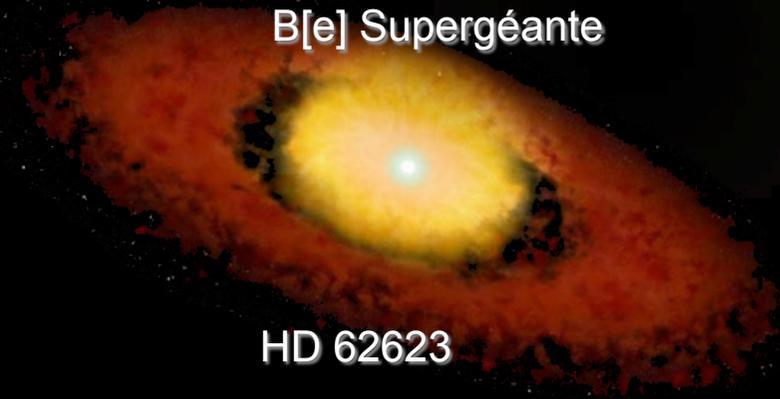


α Arae

Ae/Be de Herbig



MWC 297



B[e] Supergéante

HD 62623

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

LANCEMENT D'UNE PREMIÈRE ETUDE STATISTIQUE EN 2008

Objectifs

- Statistique sur la loi de rotation et d'expansion dans les disques
- Confirmation de détection d'émission polaire
- Contrainte sur la physique des environnements
- Contrainte sur l'inclinaison des objets et leur taux de rotation
- Détection de compagnons et caractérisation de leur orbite
- Dépendance du phénomène Be en fonction des paramètres stellaires
- Corrélation entre observables (spectroscopique, photométriques et interférométriques)

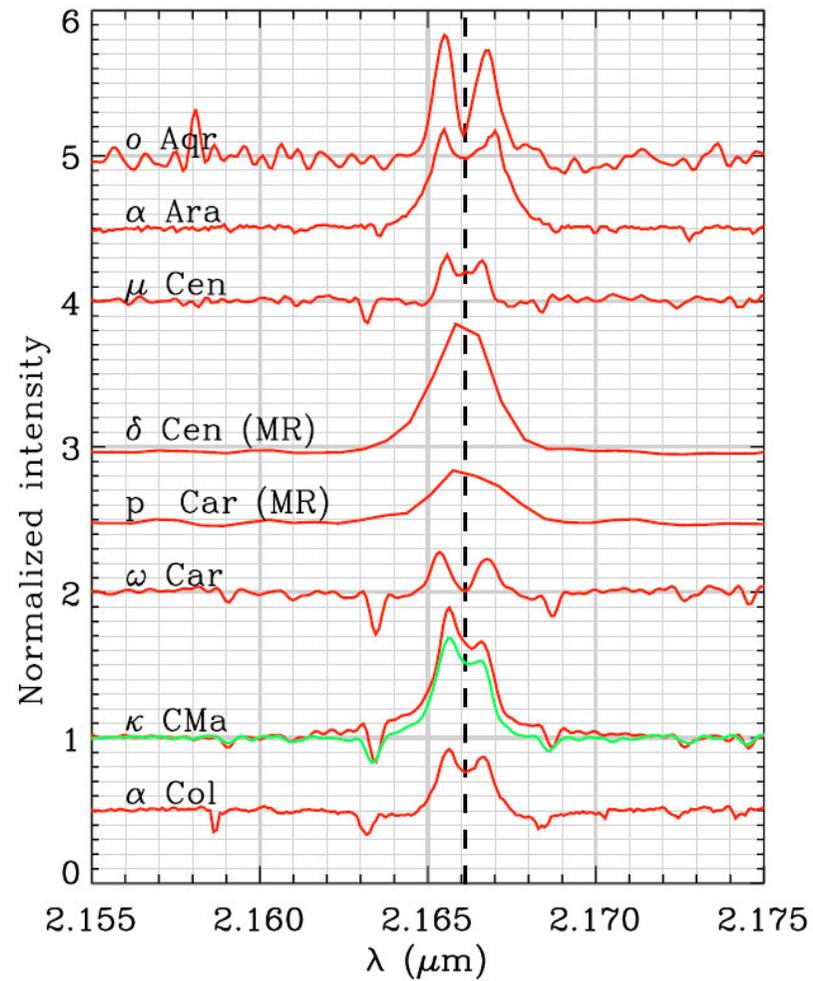
Entre 2008 et 2010

- 10 étoiles observées avec AMBER
- 7 étoiles observées avec MIDI

+ premières observation VEGA (4 étoiles)

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

LANCEMENT D'UNE PREMIÈRE ETUDE STATISTIQUE EN 2008



Spectres AMBER
Meilland et al. (2012)

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

ETUDE STATISTIQUE : RÉSULTATS EN BANDE K

A&A 538, A110 (2012)

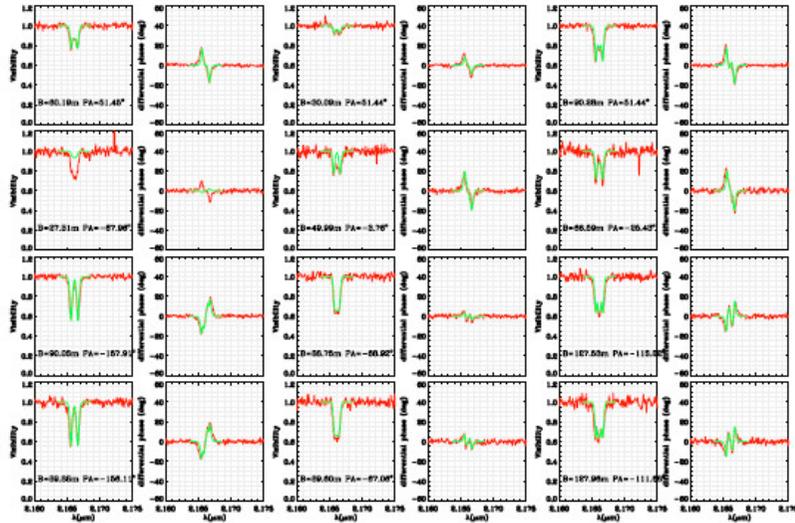


Fig. 3. α Col differential visibility and phase from our four VLT/AMBER HR measurements (red line). Each row corresponds to one VLT/AMBER measurement (three different baselines). The visibility and phase of the best-fit kinematics model is overlotted in green.

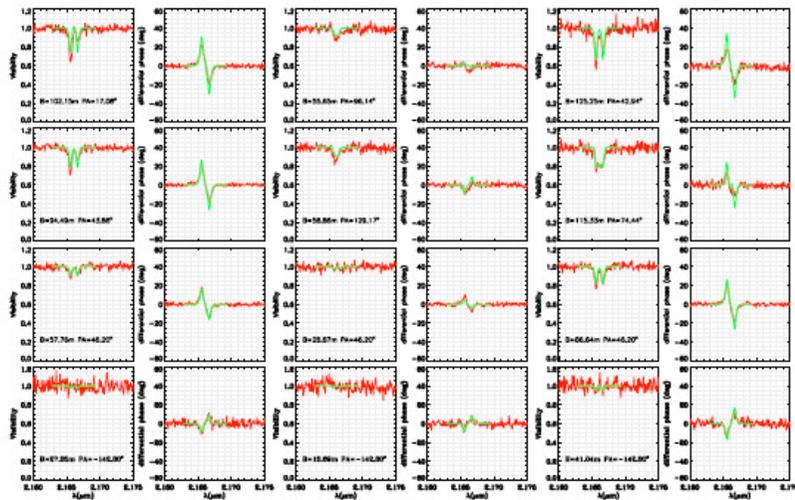


Fig. 4. \times CMA visibility and phase from our four VLT/AMBER HR measurements (red line). The two first measurements are from 2008 (first two row) and the two other from 2010. The best-fit kinematics model is overlotted in green.

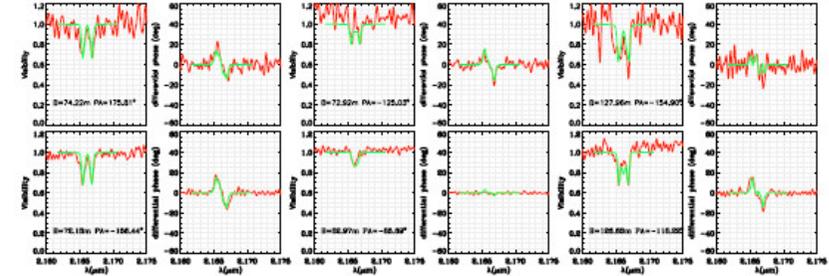


Fig. 5. ω Car visibility and phase from our two VLT/AMBER HR measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

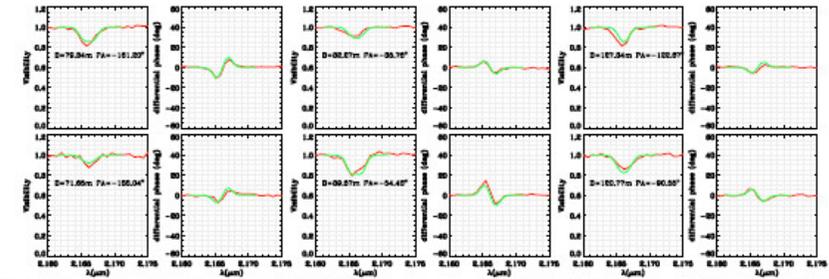


Fig. 6. ρ Car visibility and phase from our two VLT/AMBER MR measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

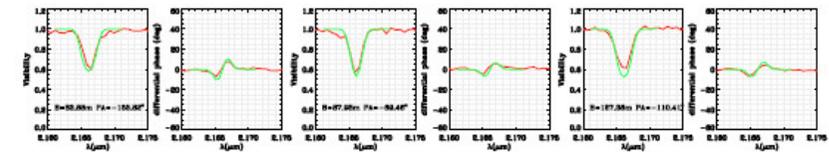


Fig. 7. δ Cen visibility and phase from our VLT/AMBER HR measurement (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

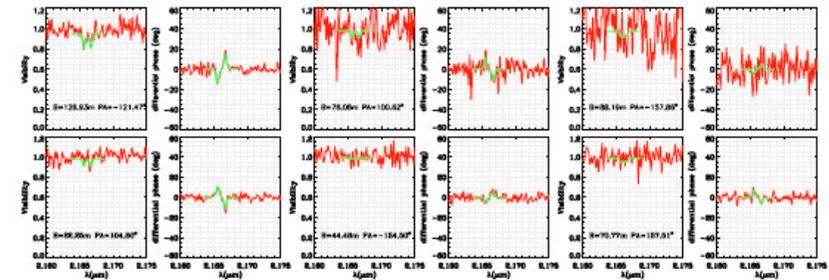


Fig. 8. μ Cen visibility and phase from our two VLT/AMBER HR measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

ETUDE STATISTIQUE : RÉSULTATS EN BANDE K

A&A 538, A110 (2)

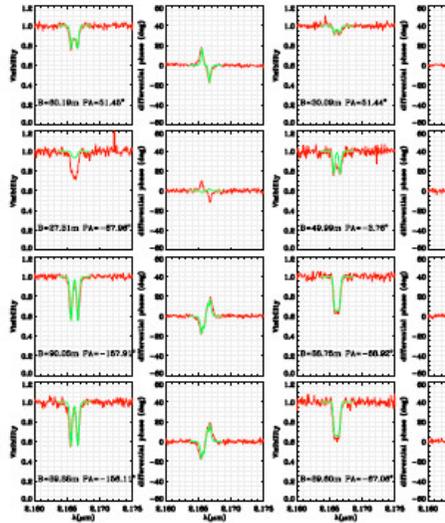


Fig. 3. α Col differential visibility and phase from our four VLT/AMBER VLT/AMBER measurement (three different baselines). The visibility and phase

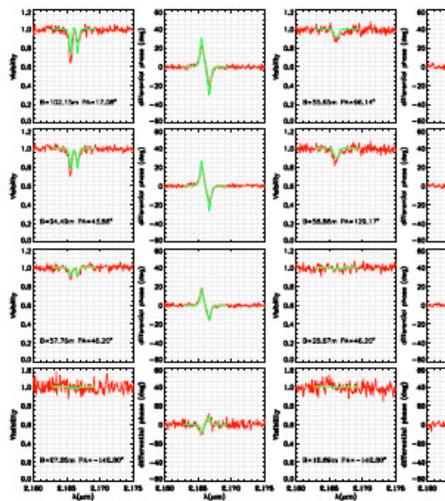


Fig. 4. α Col visibility and phase from our four VLT/AMBER HR measurements (red line) and the two other from 2010. The best-fit kinematics model is overlotted in green.

A&A 538, A110 (2012)

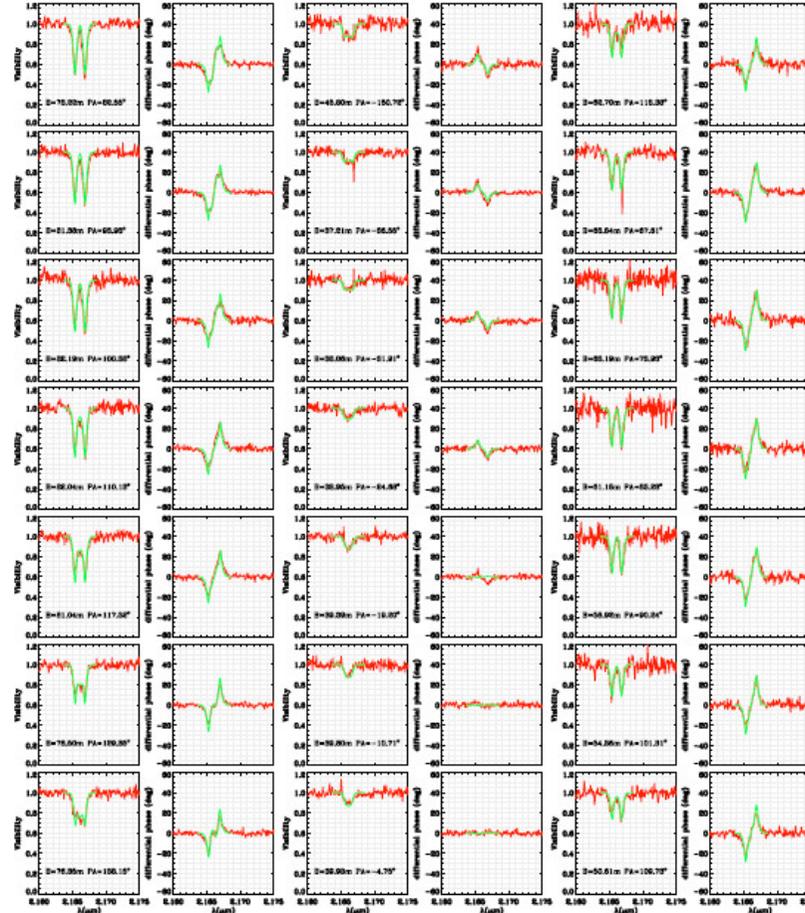


Fig. 9. α Ara visibility and phase from our seven VLT/AMBER HR measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

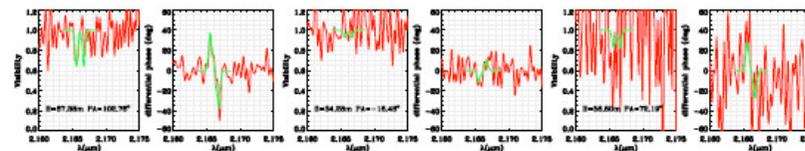


Fig. 10. α Aqr visibility and phase from our VLT/AMBER HR measurement (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

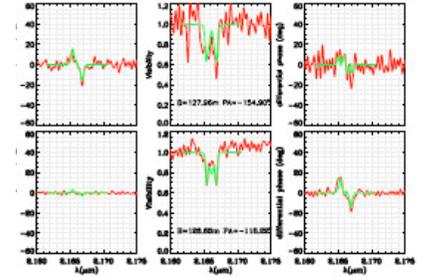


Fig. 11. α Col differential visibility and phase from our four VLT/AMBER measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

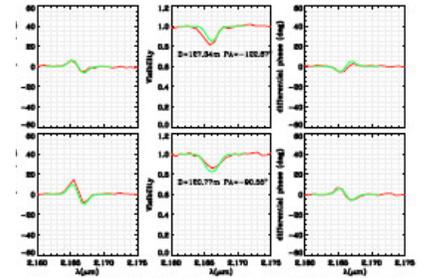


Fig. 12. α Col differential visibility and phase from our four VLT/AMBER measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

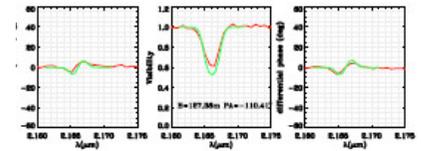


Fig. 13. α Col differential visibility and phase from our four VLT/AMBER measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

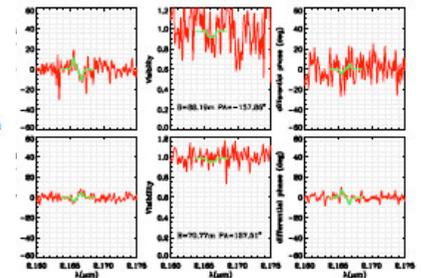
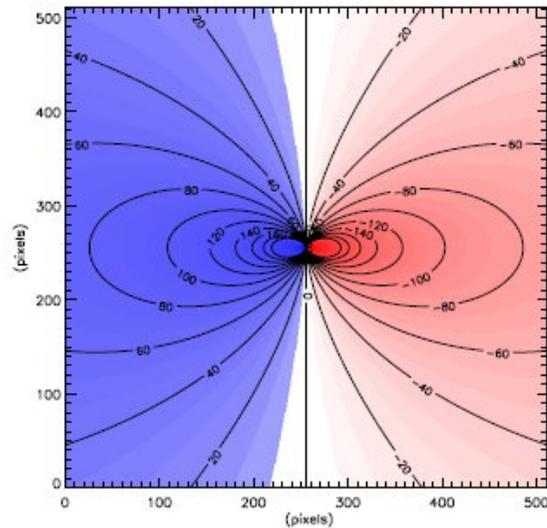


Fig. 14. α Col differential visibility and phase from our four VLT/AMBER measurements (red line). The best-fit kinematics model is overlotted in green.

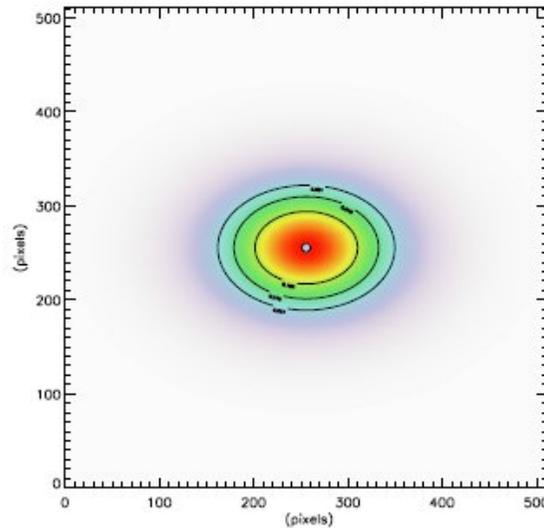
ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

ETUDE STATISTIQUE : MODÈLE DE DISQUE EN BANDE K

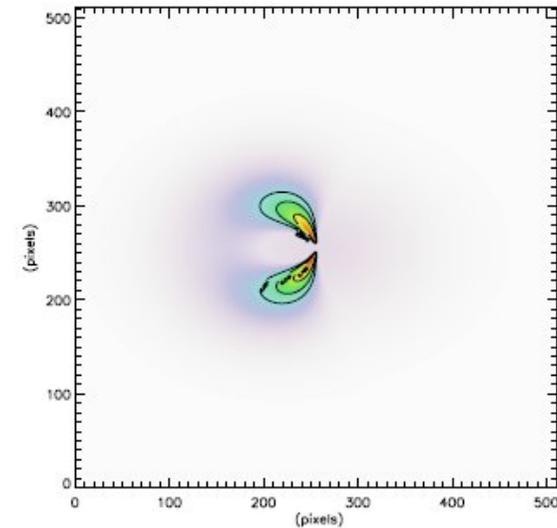
Modèle cinématique 2D de disque en rotation et/ou expansion



Carte de champs de vitesse



Carte de brillance
Dans la raie



Carte de brillance
dans chaque canal spectral

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

ETUDE STATISTIQUE : RÉSULTATS EN BANDE K

Parameter	unit	α Col	κ CMa	ω Car	p Car	δ Cen	μ Cen	α Ara	σ Aqr
Global geometric parameters									
R_\star	(R_\odot)	5.8	5.9	6.8	6.0	6.5	5.5	5.5	4
d	(pc)	80	202	104	148	127	155	81	133
i	(deg)	35 ± 5	35 ± 10	65 ± 10	70 ± 10	35 ± 15	25 ± 5	45 ± 5	70 ± 20
PA	(deg)	10	25 ± 10	5 ± 5	-25 ± 10	40 ± 10	80 ± 15	88 ± 2	120 ± 20
Global kinematic parameters									
V_{rot}	(km s^{-1})	350 ± 10	480 ± 40	300 ± 20	400 ± 30	500 ± 50	510 ± 20	480 ± 20	400 ± 50
β	–	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.2	0.45 ± 0.1	0.45 ± 0.1	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.2
K-band continuum disk geometry									
F_c	–	0.25	0.5	0.2	0.45	0.45	0.37	0.56	0.31
a_c	(D_\star)	$2. \pm 0.5$	3.5 ± 0.5	3 ± 1	2 ± 0.5	2 ± 1	<3	<2	<10
Bry disk geometry									
a_1	(D_\star)	5.5 ± 0.3	6.5 ± 2	6.5 ± 1	11 ± 2	9 ± 2	4 ± 1	5.8 ± 0.5	14 ± 1
EW_1	(\AA)	7.0 ± 0.5	13 ± 2	5.8 ± 0.5	10 ± 1	19 ± 2	5.6 ± 0.3	14.5 ± 1	12 ± 3
χ_r^2		4.0	6.8	1.1	2.5	2.3	1.3	1.7	0.8

- Très bons ajustements \Leftrightarrow disque mince
- à part quelques écarts assez bien identifiés (p Car et K Cma oscillation à un bras)
 \rightarrow disques en rotation Képlérienne
- Pas d'expansion détectable
- Possible détection d'un vent polaire sur α Col

ETOILES BE ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

ETUDE STATISTIQUE : TAUX DE ROTATION DES ETOILES

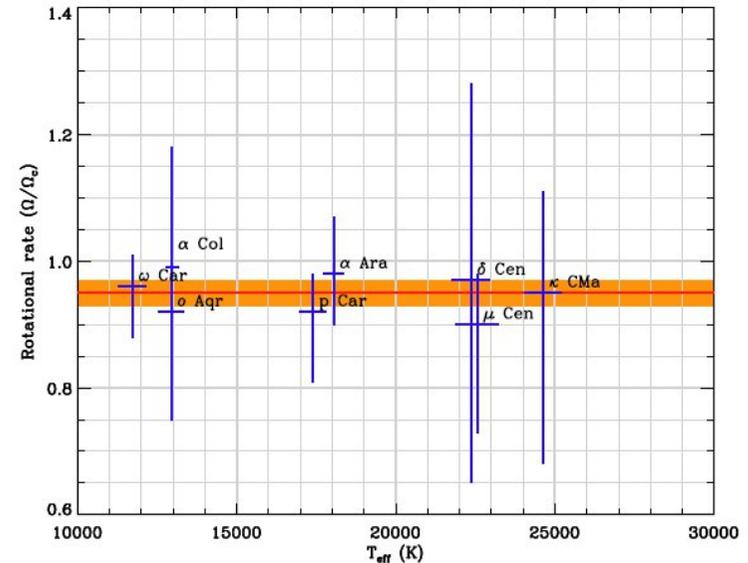
Star	V_c km s ⁻¹	$V \sin i$ km s ⁻¹	i deg	V/V_c	Ω/Ω_c
α Col	355 ± 23	192 ± 12	35 ± 5	0.95 ± 0.23	0.99 ^{+0.19} _{-0.09}
κ CMa	535 ± 39	244 ± 17	35 ± 10	0.80 ± 0.31	0.95 ^{+0.16} _{-0.27}
ω Car	320 ± 17	245 ± 13	65 ± 10	0.84 ± 0.16	0.96 ^{+0.05} _{-0.08}
ρ Car	401 ± 28	285 ± 20	70 ± 10	0.76 ± 0.15	0.92 ^{+0.06} _{-0.11}
δ Cen	527 ± 29	263 ± 14	35 ± 15	0.87 ± 0.41	0.97 ^{+0.31} _{-0.32}
μ Cen	508 ± 32	155 ± 4	25 ± 5	0.72 ± 0.20	0.90 ^{+0.08} _{-0.17}
α Ara	477 ± 24	305 ± 15	45 ± 5	0.90 ± 0.17	0.98 ^{+0.09} _{-0.08}
o Aqr	391 ± 27	282 ± 20	70 ± 20	0.77 ± 0.21	0.93 ^{+0.06} _{-0.17}

$$V/V_c = 0.82 \pm 0.08$$

$$\Omega/\Omega_c = 0.95 \pm 0.02$$

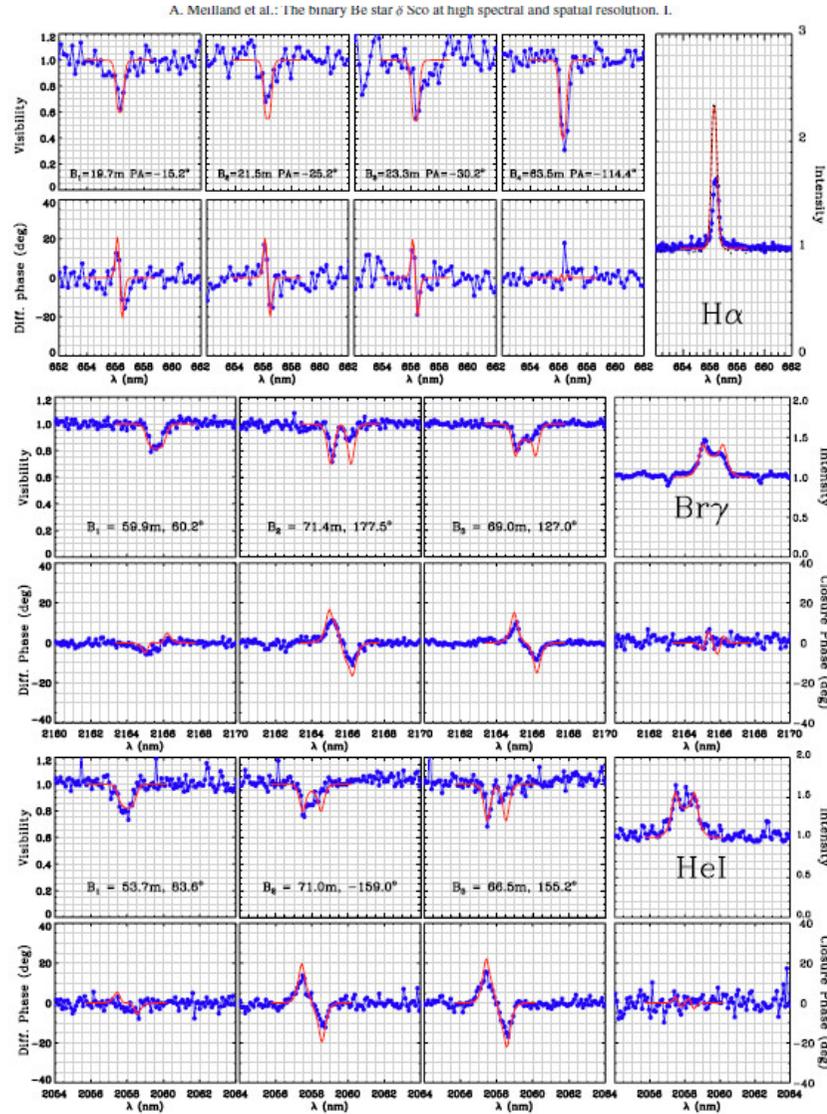
Rotation très proche de la rotation critique

Pas de dépendance du taux de rotation en fonction du type spectral de l'étoile



ETOILES BE ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

VEGA + AMBER : PREMIÈRE ÉTUDE MULTI-RAIES



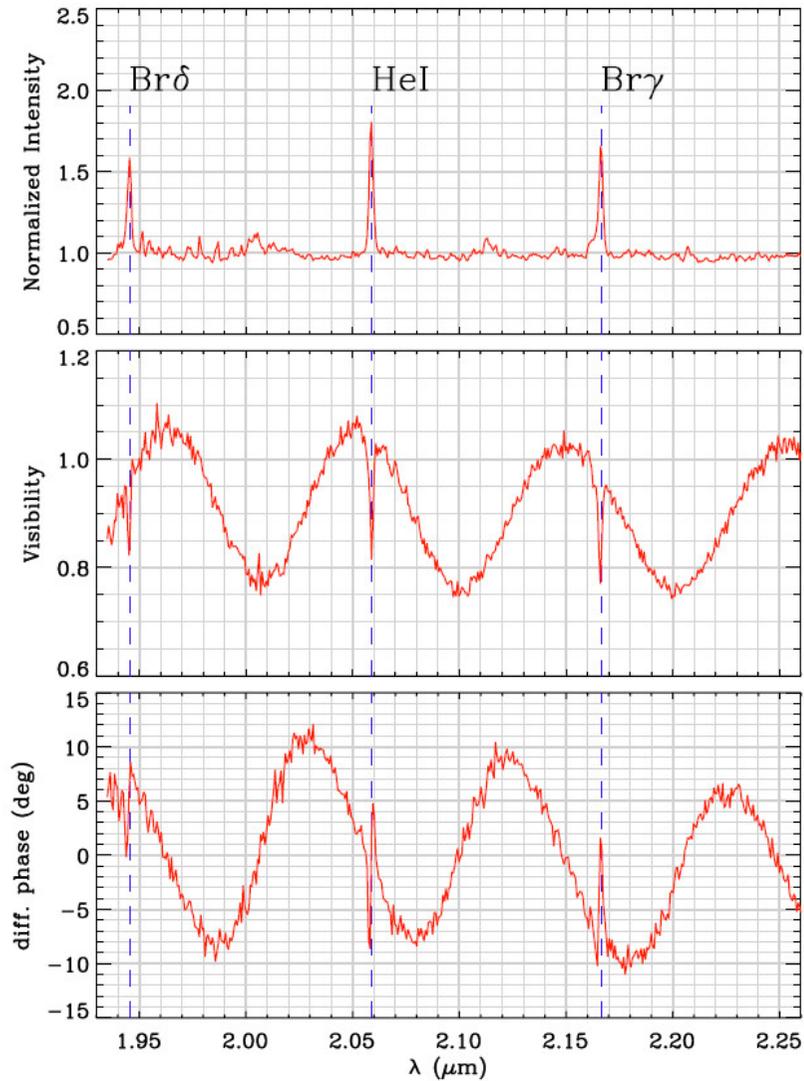
Meilland et al. (2011)

- Disque en rotation Képlérienne
- Etoile en rotation **sub-critique** $0.7V_c$

Parameter	Value	Remarks
Global geometric parameters		
R_*	$8.5 R_\odot$	from the fit of the SED
d	150 pc	from von Leeuwen (2007)
i	30 deg	from the fit of the binary
PA	-12 ± 7 deg	
Global kinematic parameters		
V_{rot}	$500 \pm 50 \text{ km s}^{-1}$	$\approx V_c$
V_0	0 km s^{-1}	from Stee et al. (1995)
V_∞	0 km s^{-1}	$< 10 \text{ m s}^{-1}$
γ	0.86	from Stee et al. (1995)
β	0.5 ± 0.1	Keplerian rotation
Hα disk geometry		
$a_{\text{H}\alpha}$	$9.0 \pm 3.0 R_*$	$= 4.8 \pm 1.5 \text{ mas}$
$EW_{\text{H}\alpha}$	$7.0 \pm 1.0 \text{ \AA}$	
Brγ disk geometry		
$a_{\text{Br}\gamma}$	$5.5 \pm 1 R_*$	$= 2.9 \pm 0.5 \text{ mas}$
$EW_{\text{Br}\gamma}$	$6.5 \pm 0.5 \text{ \AA}$	
He I disk geometry		
$a_{\text{He I}}$	$4.5 \pm 0.5 R_*$	$= 2.4 \pm 0.3 \text{ mas}$
$EW_{\text{He I}}$	$8.5 \pm 0.5 \text{ \AA}$	

ETOILES BE ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

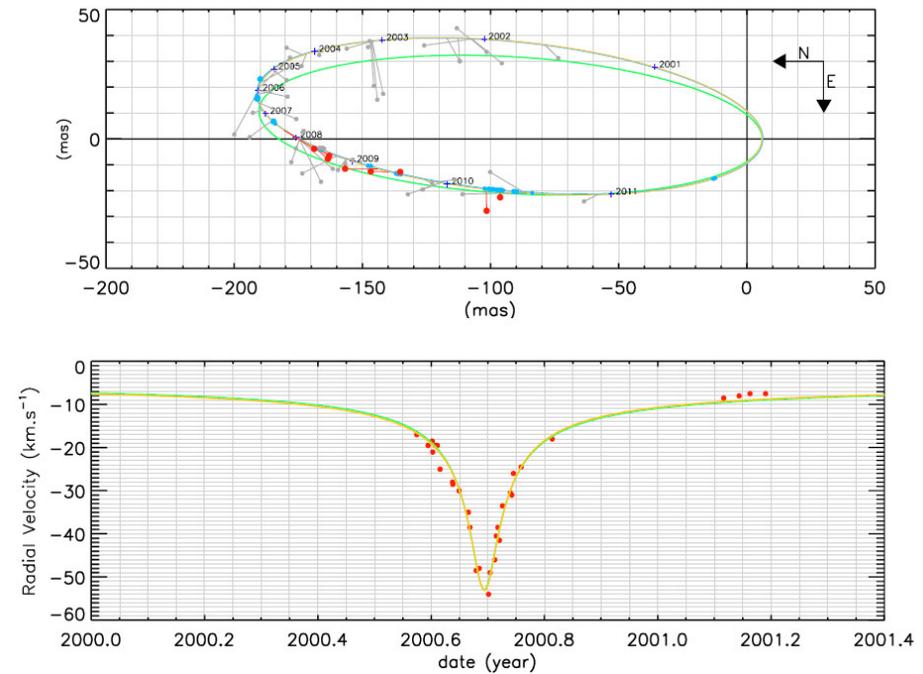
DÉTECTER ET CARACTÉRISER LES Be BINAIRES : δ Sco



Meilland et al. (2011)

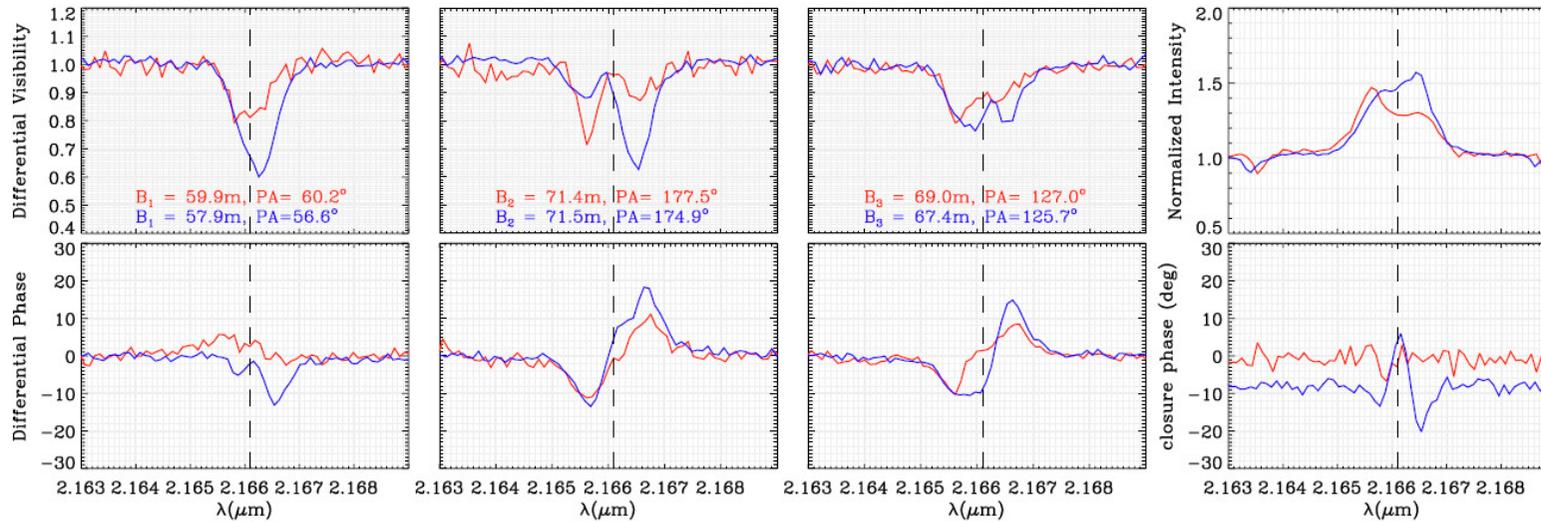
Détermination de l'orbite et du passage
Au périastre du compagnon

5 Juillet 2011 \pm 5 jours



AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT DES ÉTOILES MASSIVES

DÉTECTER ET CARACTÉRISER LES Be BINAIRES : δ Sco



Meilland et al. (2013)

Observations après le passage
au périastre du 3 Juillet 2011

Et comparaison avec les
données précédentes

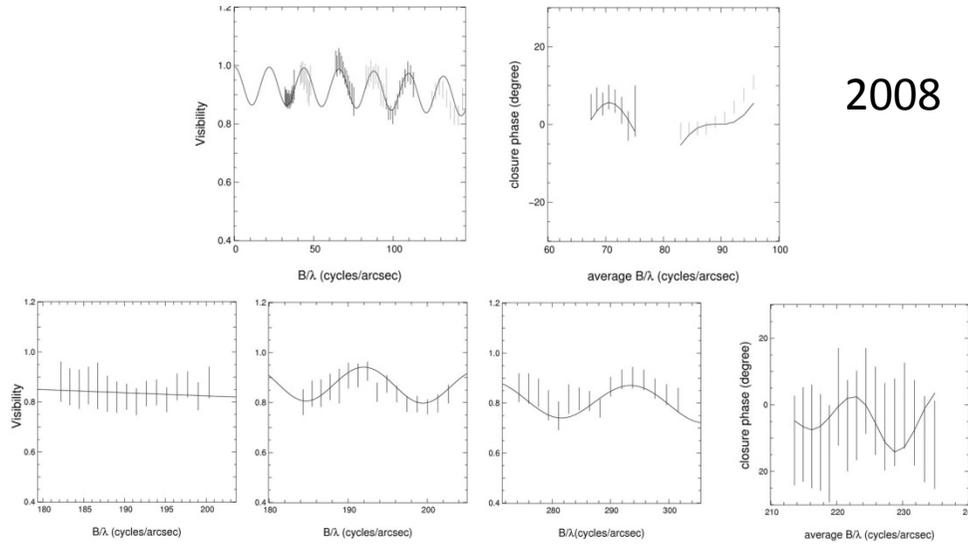
Forte inhomogénéité **non-compatible**
avec une **surdensité en précession** dans le disque

Parameter	(Unit)	2010	2012
Global geometric parameters			
R_* (fixed)	(R_\odot)	8.5	8.5
d (fixed)	(pc)	150	150
i	(deg)	30 ± 8	26 ± 5
PA	(deg)	-12 ± 7	-4 ± 4
Global kinematic parameters			
V_{rot}	(km s^{-1})	500 ± 50	500 ± 50
β		0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.05
Bry disk geometry			
FWHM_{Bry}	(R_*)	5.5 ± 1	7.8 ± 0.3
EW_{Bry}	(\AA)	6.5 ± 0.5	6.2 ± 0.2
HeI disk geometry			
FWHM_{HeI}	(R_*)	4.5 ± 0.5	4.9 ± 0.2
EW_{HeI}	(\AA)	8.5 ± 0.5	8.8 ± 0.3
χ_r^2		6.2	14.6

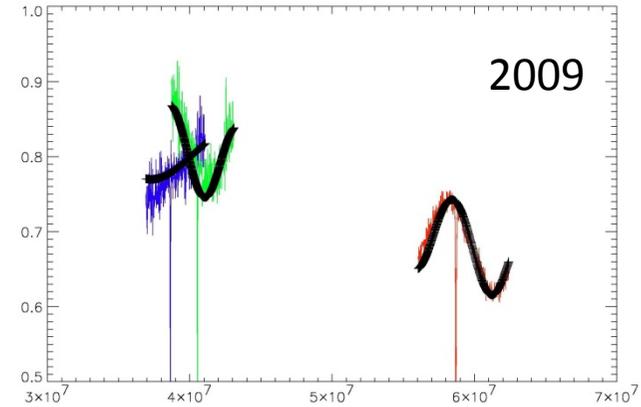
ETOILES BE ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

DÉCOUVERTE DE LA BINARITÉ DE δ CEN

Meilland et al. 2008

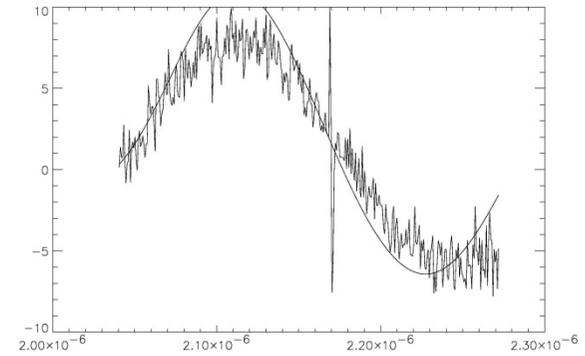
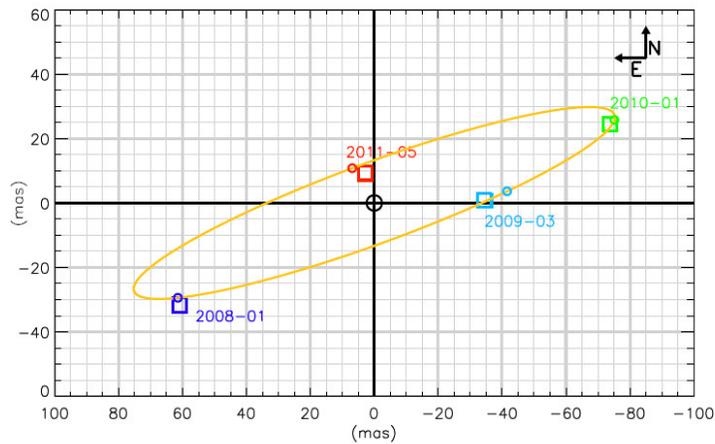


2008



2009

Meilland et al. 2012

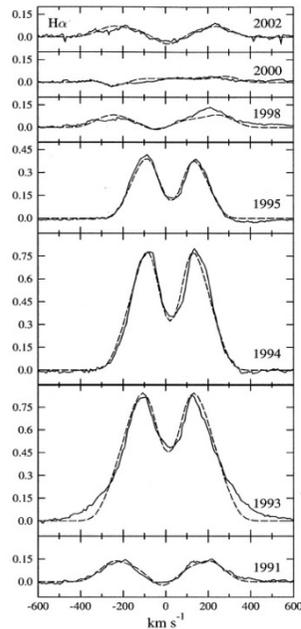


Premières contraintes sur l'orbite \Leftrightarrow faible probabilité d'influence du compagnon

ETOILES BE ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

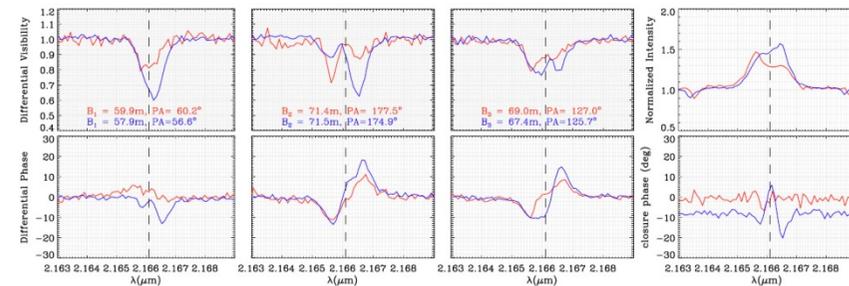
SUIVI D'OBJETS VARIABLES

Achernar
Suivi spectroscopique



Données de Vinicius et al. (2006)
Modèle de sursaut d'éjection
Propagation + rotation Képlérienne
 $V_{\text{exp}} = 0.27 \pm 0.08 \text{ km/s}$
(Kanaan et al. 2006)

δ Sco
Suivi spectro-interferométrique
+ spectroscopique



Données de Meilland et al. (2011)
et Meilland et al. (2012)

$V_{\text{exp}} = 0.24 \text{ km/s}$ (2000-2005)
 $V_{\text{exp}} = 0.19 \text{ km/s}$ (2005-2007)
 $V_{\text{exp}} = 0.20 \pm 0.11 \text{ km/s}$ (2010-2012)

ETOILES Be ET INTERFÉROMÉTRIE, UNE LONGUE HISTOIRE...

UNE HISTOIRE QUI CONTINUE...

Résultats majeurs :

- Cinématique Képlérienne (entre 4-12 R_{\star})
- Expansion $<10\text{km/s}$ ($\sim 0.2\text{km/s}$ sur variables)
- Confirmation du modèle de disque visqueux
- Etoiles en rotation quasi-critique (0.95 ± 0.02)

Résultats à confirmer :

- Très faible extension en bande N par rapport aux modèles
- Dépendance de l'extension en bande N en fonction de la T_{eff}
- Pas de dépendance du phénomène en fonction des paramètres physiques
- Pas de corrélation entre taille du disque (en K) et données spectro. ou photométriques

En cours :

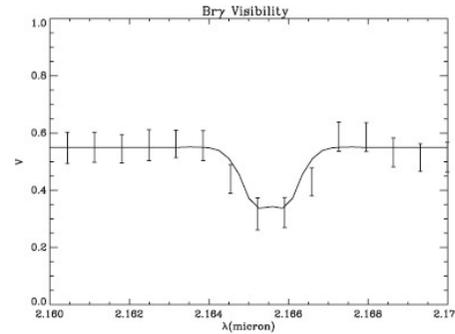
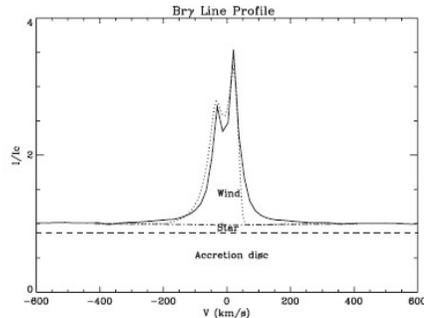
- étendre l'échantillon \Leftrightarrow « Large Programme AMBER + VEGA + spectro échelle Visible et IR
- Développer un modèle statistique des environnements : SIMECA, HDUST, BEDISK
- Aller vers les surfaces d'étoiles : Etude de raies en émission faible formées proche de l'étoile
- Etude des surface principalement avec VEGA + spectroscopie multi-raie
- Imagerie et grande précision \Leftrightarrow vent polaire + ouverture disque équatorial

AU DELA DES Be CLASSIQUES...

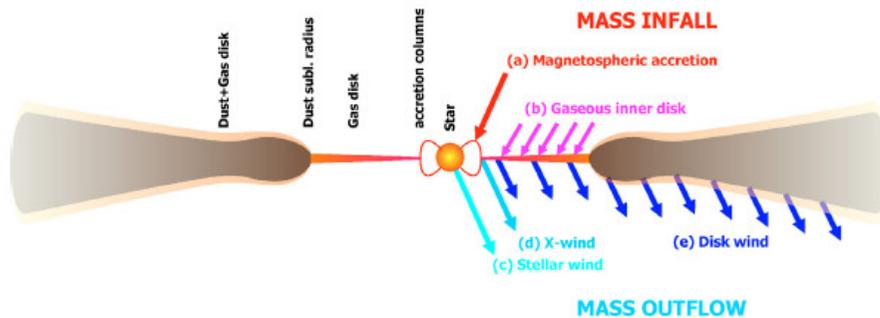
- Pourquoi observer les environnements des étoiles massives?
- Un besoin de haute résolution spatiale et spectrale
- Les interféromètres actuels et leurs instruments
- Etoiles Be et interférométrie, une longue histoire...
- Au-delà des Be classiques (5 exemples)

AU DELA DES Be CLASSIQUES

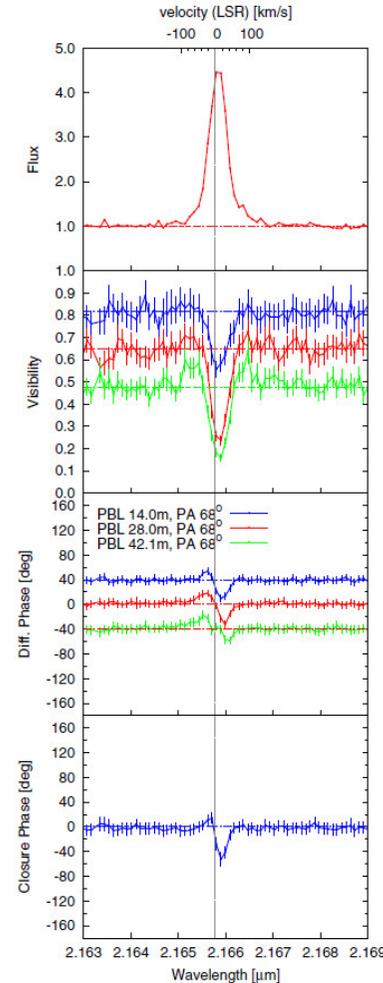
LES AE/BE DE HERBIG : SÉPARER LA POUSSIÈRE ET LE GAZ



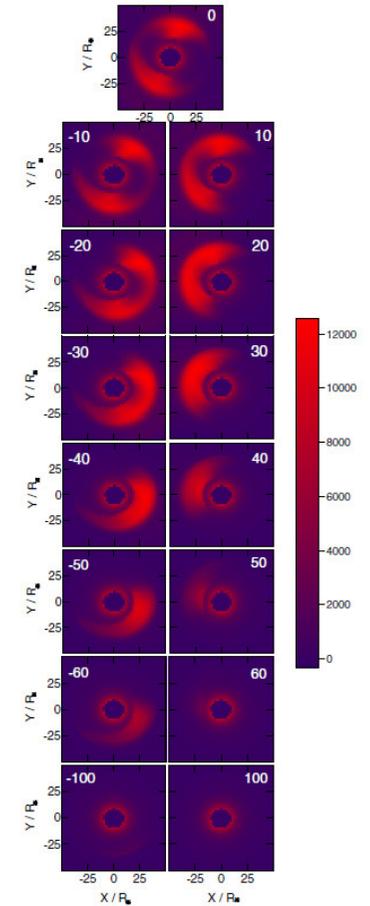
MWC297 avec AMBER -MR
modèle de disque de poussière + vent étendu
(Malbet et al. 2007)



Survey sur 5 étoiles de Herbig
Origines différentes de l'émission Bry
Kraus et al. (2008)



103 (2011)

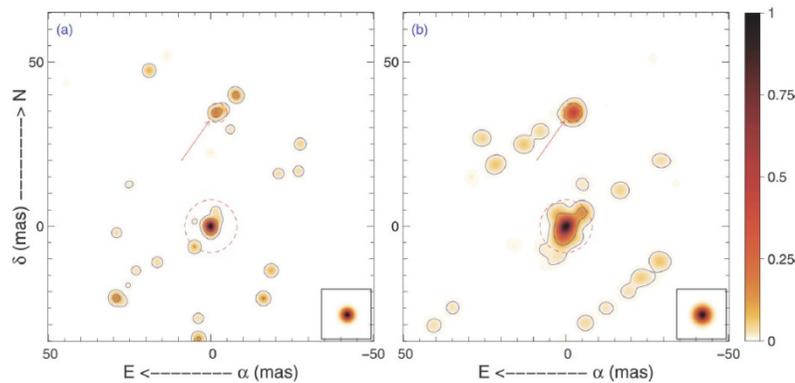
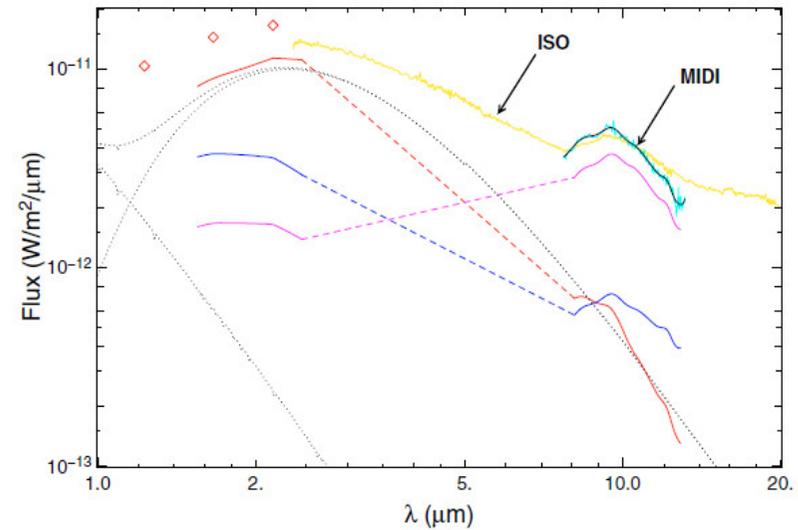
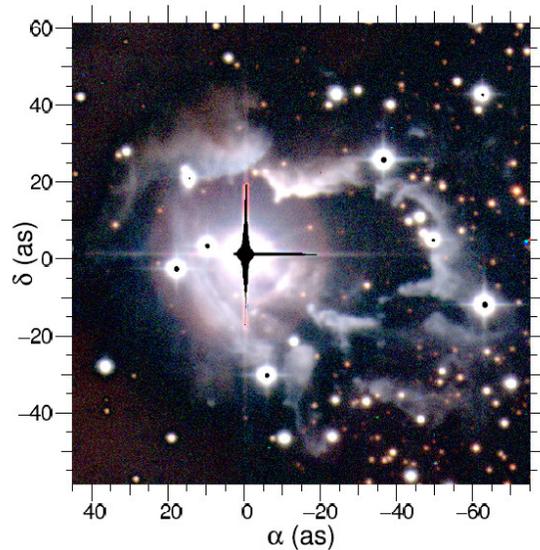


MWC297 avec AMBER-HR
Modèle de vent de disque
Weigelt et al. (2011)

AU DELA DES Be CLASSIQUES

COMPRENDRE L'ORIGINE DU PHÉNOMÈNE B[e]

HD 87643 : Observations AMBER +MIDI



Contrainte sur la nature des composantes:

- Etoile principale chaude
- Etoile secondaire enfouie ($T=1300\text{K}$)
- Enveloppe de poussière circumbinaire froide et émettant des silicates

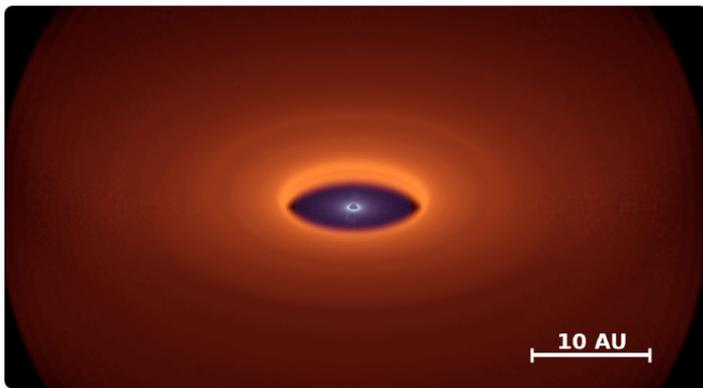
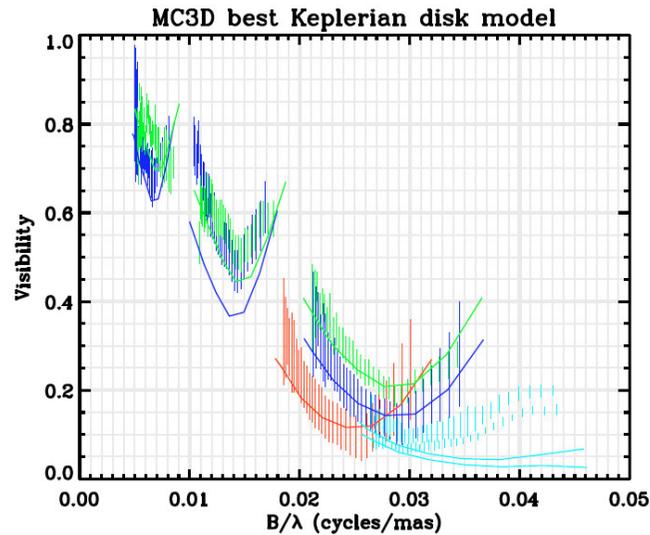
Découverte de la nature binaire de l'objet

Millour et al. (2009)

AU DELA DES Be CLASSIQUES

UN DISQUE STRATIFIÉ AUTOUR D'UNE SUPERGÉANTE A[e]

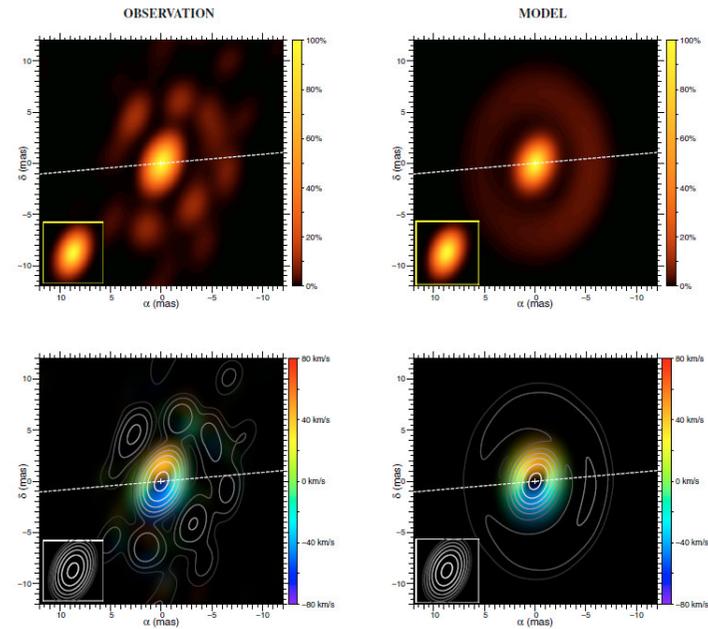
Observations MIDI
Meilland et al. (2010)



- Disque stratifié
- $V_{rot} = 0.6V_c$: trop faible pour vent bi-stable

Observations AMBER-HR
Millour et al. (201)

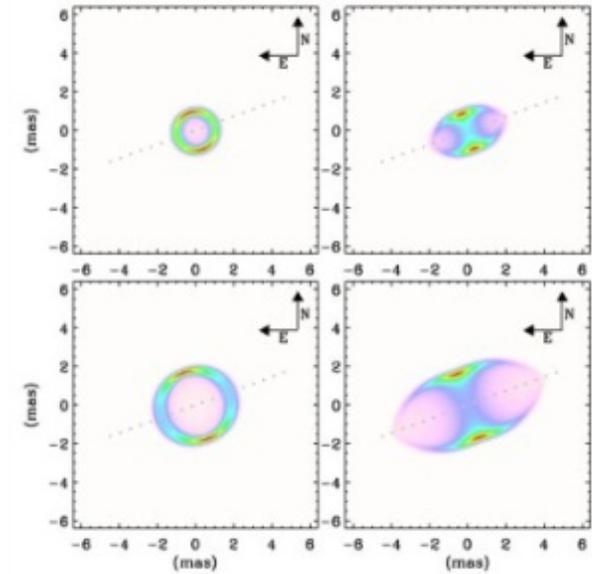
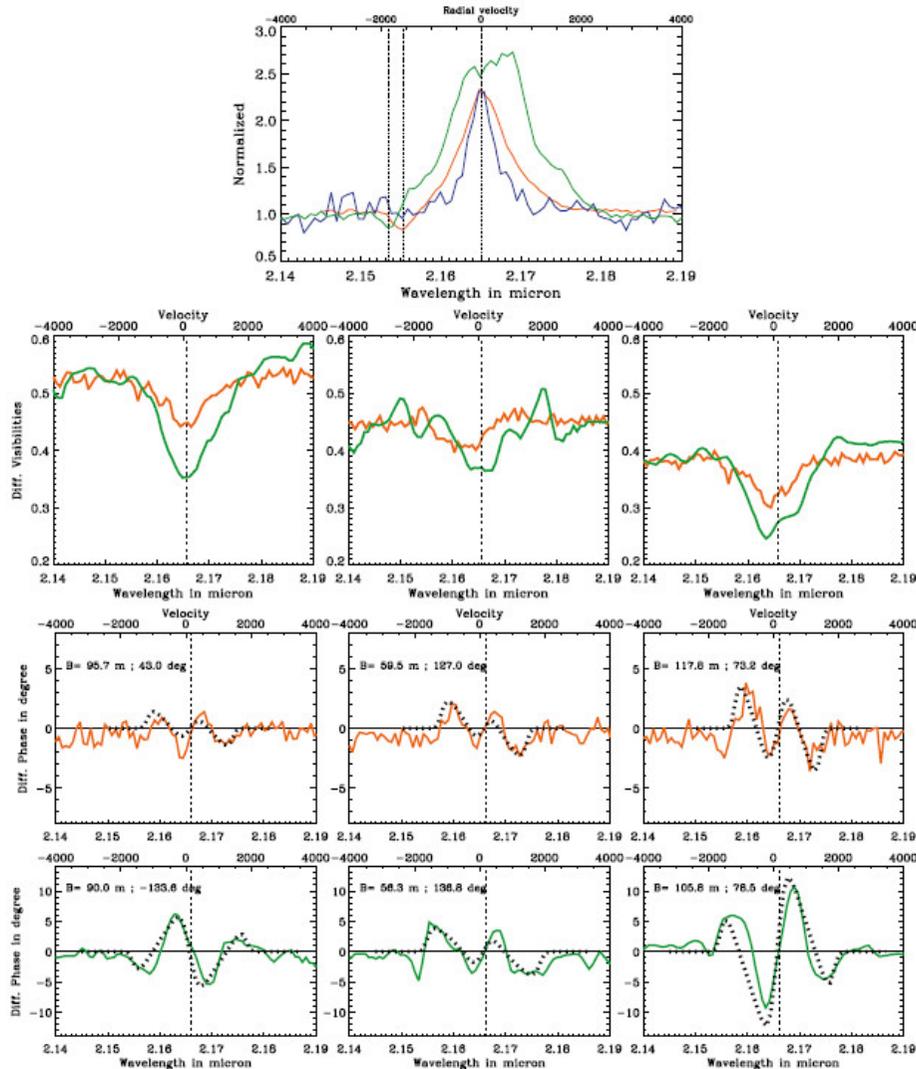
36 mesures (108 pts)



- Confirmation des modèles MIDI
- Disque de gaz en rotation Képlérienne
- Disque continu (gaz et poussière)

AU DELA DES Be CLASSIQUES

T PIX : IMAGER L'EXPLOSION D'UNE NOVA



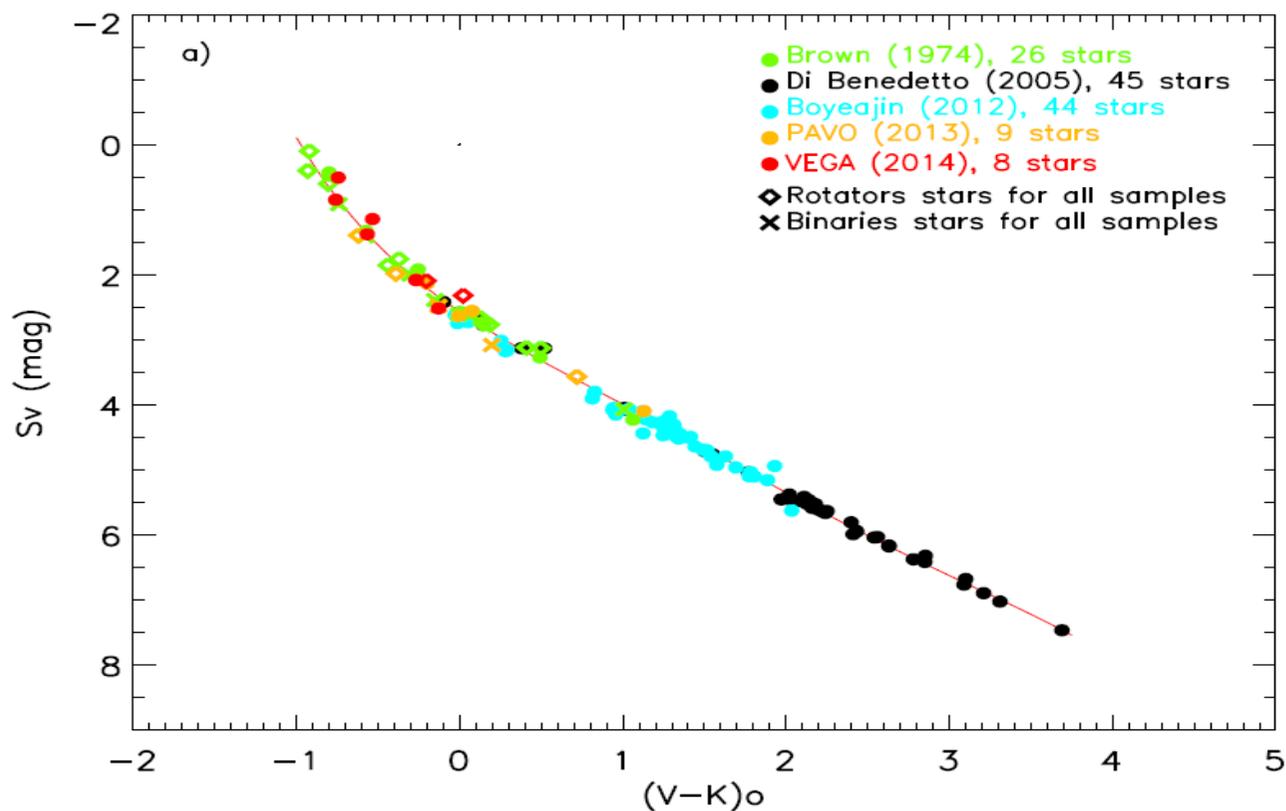
Phases différentielles
 \Leftrightarrow
 Rupture de symétrie de l'éjection

Développement d'un modèle
 d'éjection bipolaire
 et évolution au cours du temps

Chesneau et al. (2011)



Improving the surface-brightness relation for early-type stars: I. using VEGA/CHARA interferometric observations



≈1,5% precision

0,11 mag of precision

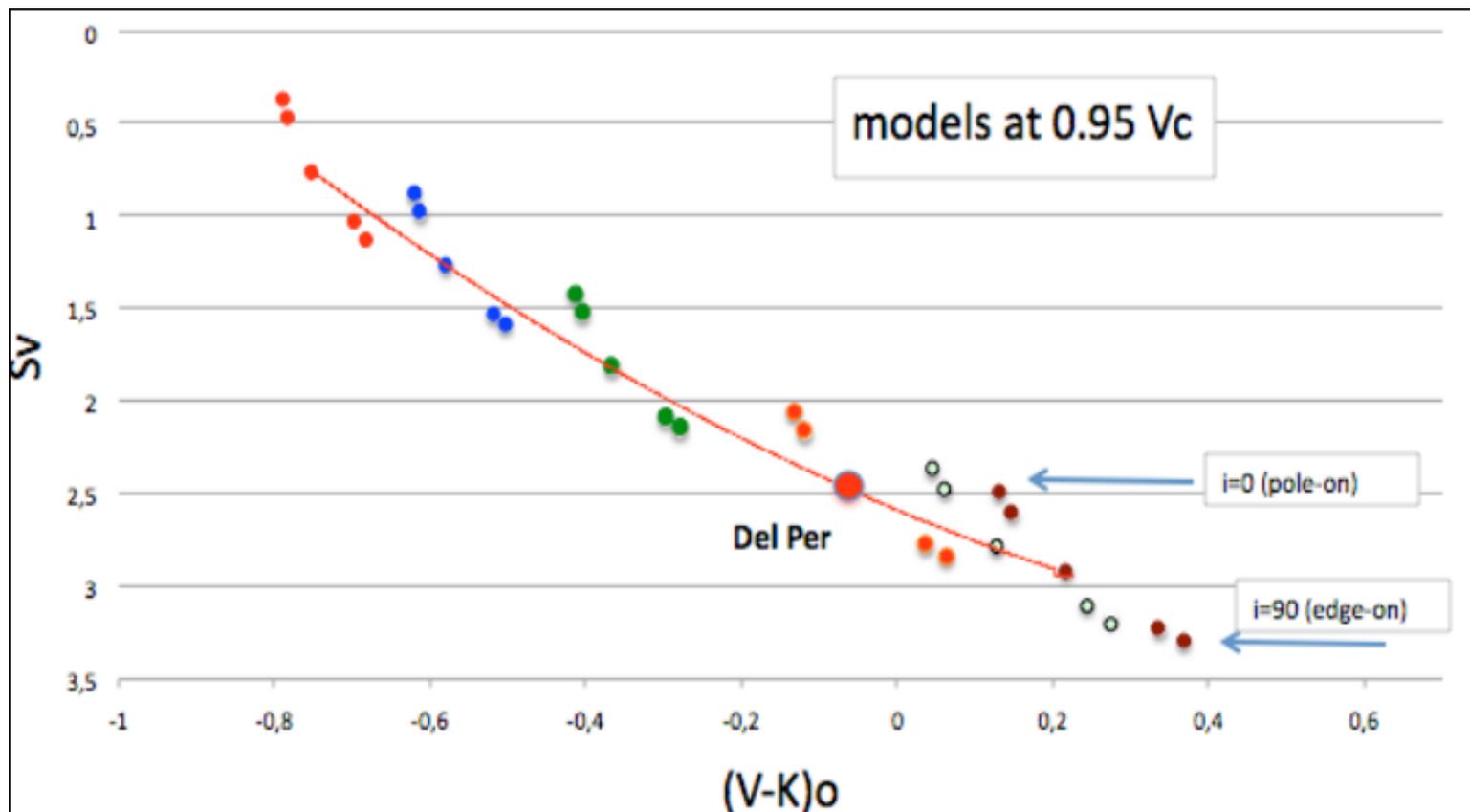
5% on the predictions of angular diameter



Improving the surface-brightness relation for early-type stars: II. The theoretical impact of the rotation

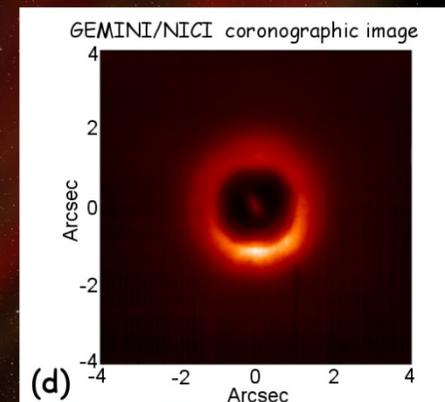
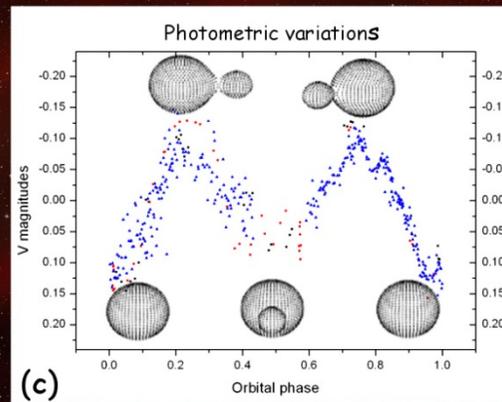
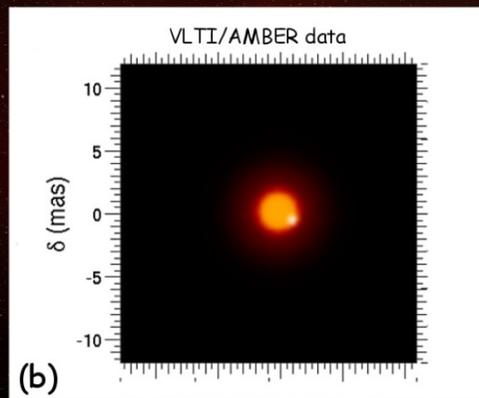
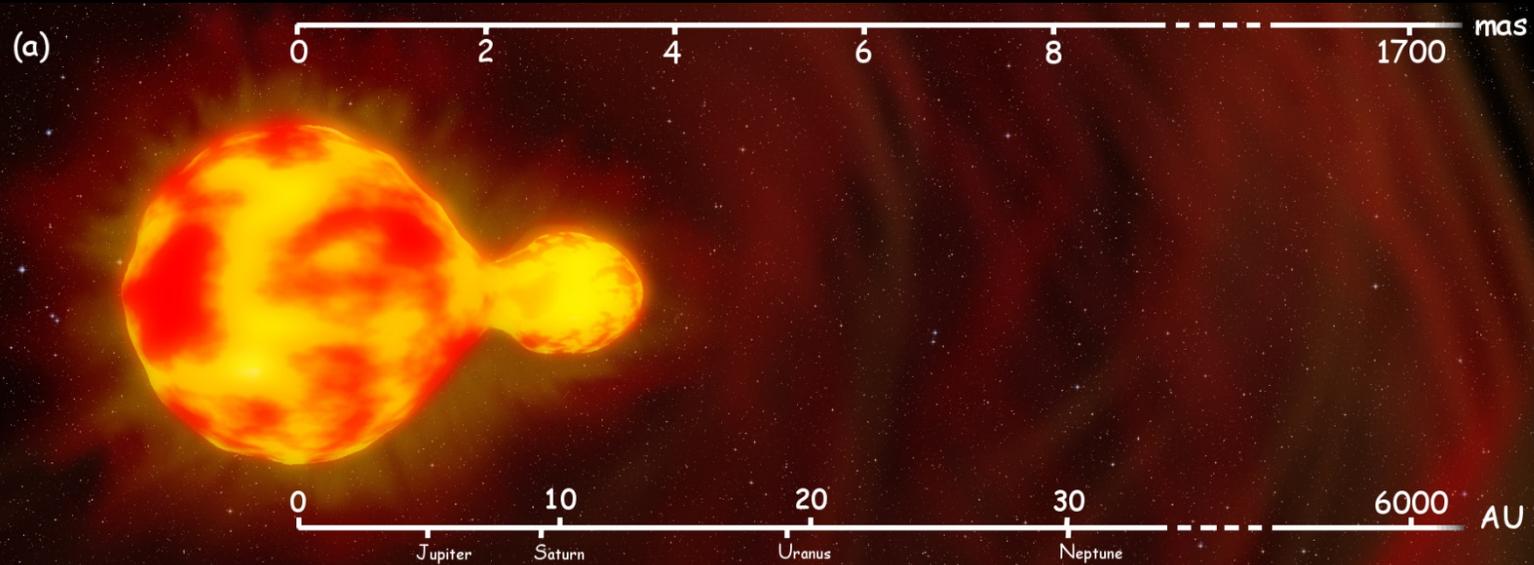


- Theoretical study on the impact of the rotation on the surface-brightness relation in collaboration with A. Domiciano : under progress*



AU DELA DES Be CLASSIQUES

HR 5171 : L'ÉTOILE CACAHUÈTE



Chesneau et al. (2014) sous presse

Metro Goldwyn Mayer



TRADE

MARK

®

MODÉLISATION DES ÉTOILES CHAUDES MASSIVES ET EXPLOITATION DES MESURES À
HAUTE RÉOLUTION ANGULAIRE DES INSTRUMENTS VLT/AMBER, VLT/MIDI ET
CHARA/VEGA

Merci...

Philippe Stee
OCA – Laboratoire Lagrange

with Anthony Meilland

