



Reconstruction d'images en interférométrie optique pour le JMMC

Laurent Mugnier, Serge Meimon



retour sur innovation

JMMC

CS JMMC, 21 janvier 2008

Méthodes de reconstruction existantes

- Reconstruction paramétrique
 - Fit de modèle (binaires, disques assombris, ...)
- Reconstruction issue de la radio-astronomie
 - A. Lannes, méthode publiée
 - Est-elle utilisable en l'état (complexe, restes de radio) ?
- Reconstruction Bayésienne classique (χ^2 +pénalisation)
 - MIRA (E. Thiébaud, CRAL)
 - BSMEM (Young & Thorsteinsson, Cambridge)
- Reconstruction par approche myope
(estimation conjointe des paramètres de phase manquants)
 - WISARD (S. Meimon, L. Mugnier, G. Le Besnerais, ONERA / JMMC)
 - VLBMEM (Monnier, Zhao, UMICH/ NASA).

Principes de WISARD

- Expliciter le manque de données en phase sous formes de paramètres inconnus, analogues à des pistons turbulents α_i ,
- Calculer des **visibilités complexes**
= «pseudo-données» $y^{\text{data}} = |y^{\text{data}}| \cdot \exp(i \cdot \phi^{\text{data}})$,
à partir de / compatibles avec V^2 et clôtures,
- et associées aux **pistons** α_i : $\phi_{12}^{\text{data}} = \phi_{12}(x) + \alpha_2 - \alpha_1 + \phi_{12}^{\text{bruit}}$
- Faire une **approximation convexe optimale du bruit** complexe
(vrai bruit non convexe donc produisant des minima locaux),
- en déduire le critère de fidélité aux données (-log(vraisemblance)),
- Choisir un critère de régularisation (fidélité à l'a priori),
- Optimiser le critère régularisé, alternativement en l'objet à reconstruire et en pistons.
Optimiseur : OptimPack, développé par Eric Thiébaud.

Historique du code WISARD (1)

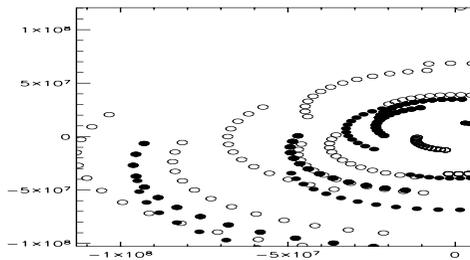
- Thèse de Serge Meimon : 2002 - 2005
 - Encadrant L. Mugnier, co-encadrant Guy Le Besnerais, directeur de thèse G. Demoment
 - Collaboration : E. Thiébaud
 - => Développement de la méthode et du code WISARD « version 1 »
- Travaux 6ème PCRD 2004 - 2007
 - Recherche,
 - Ré-implantation « from scratch » :
 - structure code et variables refondue et optimisée, debug divers
 - Raffinements dans le calcul des «pseudo-données complexes»
 - Meilleur contrôle de la convergence,
- Livraison de WISARD « version 2 » mai 2007 au JMMC pour la communauté :
 - **Code libre** (licence CeCILL)
 - **Manuel** utilisateur (installation, doc du code)
 - Batch d'**exemple** sur données «Imaging Beauty Contest 2004»
 - Documentation de la méthode WISARD (rapport de conception)

Historique du code WISARD (2)

- Mai 2007-fin 2007
 - Amélioration notable de l'initialisation des phases pour le cas (difficile!) à 3 télescopes
 - Compatibilité avec la Virtual Machine IDL (licence gratuite) et démo.
 - Tests concluants sur données réelles (de Lacour, Perrin, [+ Meimon])
- 2008 - début 2009 :
 - Wisard 3.0 : inclut régularisation « support mou » par L. Mugnier & E. Thiébaud (diamètre approximatif, voire rappel à un objet *a priori* model-fitté) ;
 - **Publication de référence sur WISARD** (données : χ Cygni) :
S. Meimon, L. M. Mugnier, and G. Le Besnerais,
Self-calibration approach for optical long-baseline interferometry imaging,
J. Opt. Soc. Am. A, 26(1):108-120, janvier 2009 ;
 - **Publication comparaison model-fitting / Mira / Wisard + support mou**
(données : χ Cyg) :
G. Le Besnerais, S. Lacour, L. M. Mugnier, E. Thiébaud, G. Perrin, and S. Meimon,
Advanced imaging methods for long-baseline optical interferometry,
IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2(5):767-780, octobre 2008 ;
 - **Reconstructions d'Arcturus** (model-fitting / Mira / Wisard) :
S. Lacour, S. Meimon, E. Thiébaud, G. Perrin, T. Verhoelst, E. Pedretti, P. A. Schuller, L. Mugnier, J. Monnier, J. P. Berger, X. Haubois, A. Poncelet, G. Le Besnerais, K. Eriksson, R. Millan-Gabet, S. Ragland, M. Lacasse, and W. Traub, *The limb darkened Arcturus: Imaging with the IOTA/IONIC interferometer*,
Astron. Astrophys., 485:561-570, 2008.

“An imaging Beauty Contest 2004” : résultats WISARD

Couverture fréquentielle
(base max. = 66m)



- Instruments à 6 télescopes
- Couverture très riche
- Initialisation quelconque

[Meimon *et al.*, *JOSA A* 2009]

[Mugnier *et al.*, chap 10 de *Idier* 2008].

Vrai objet

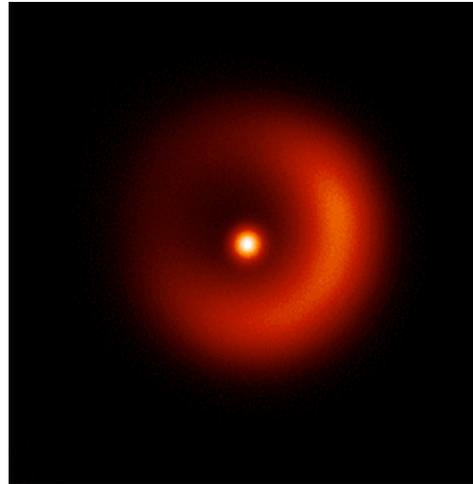
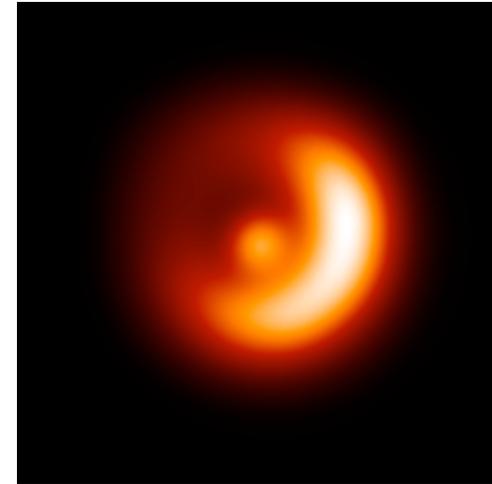
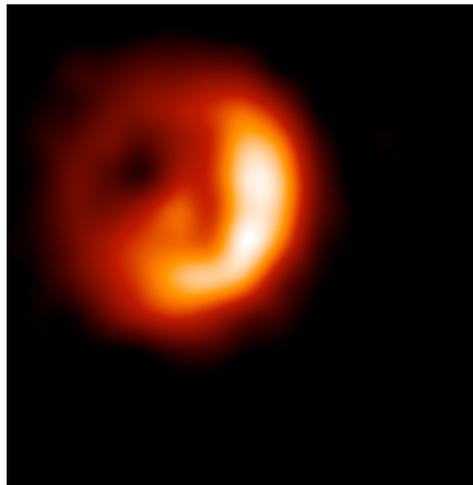


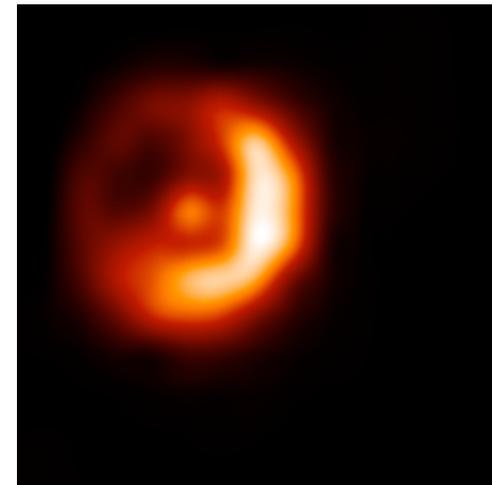
Image par telescope Ø100m



Reconstruction (L2)

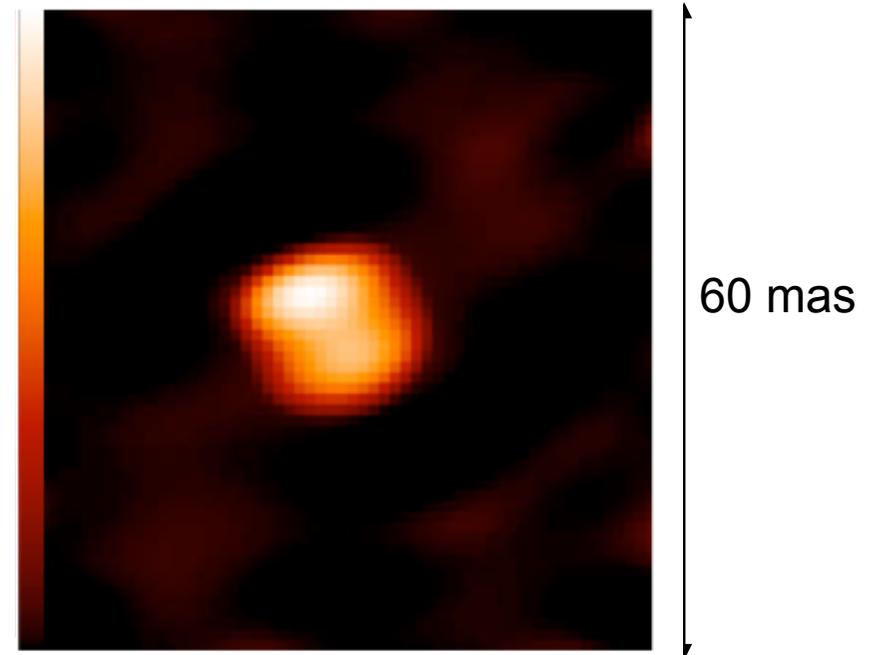
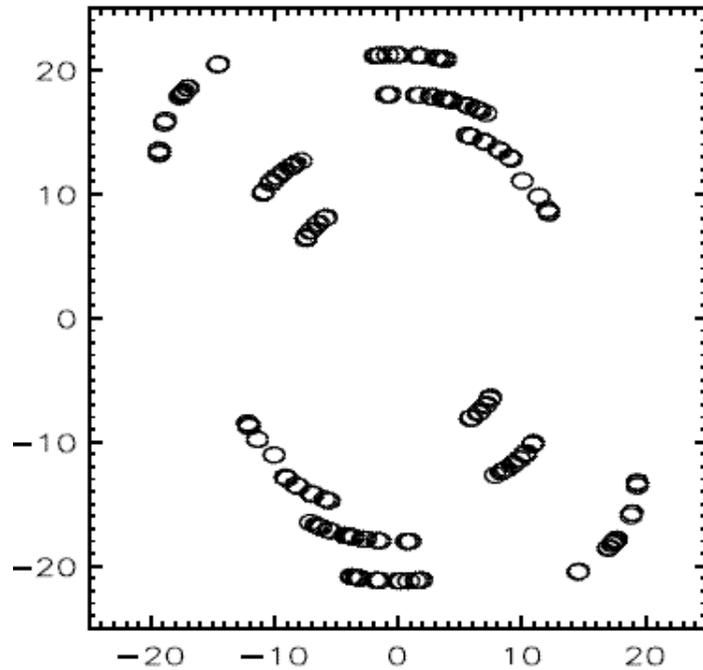


Reconstruction (L1-L2)



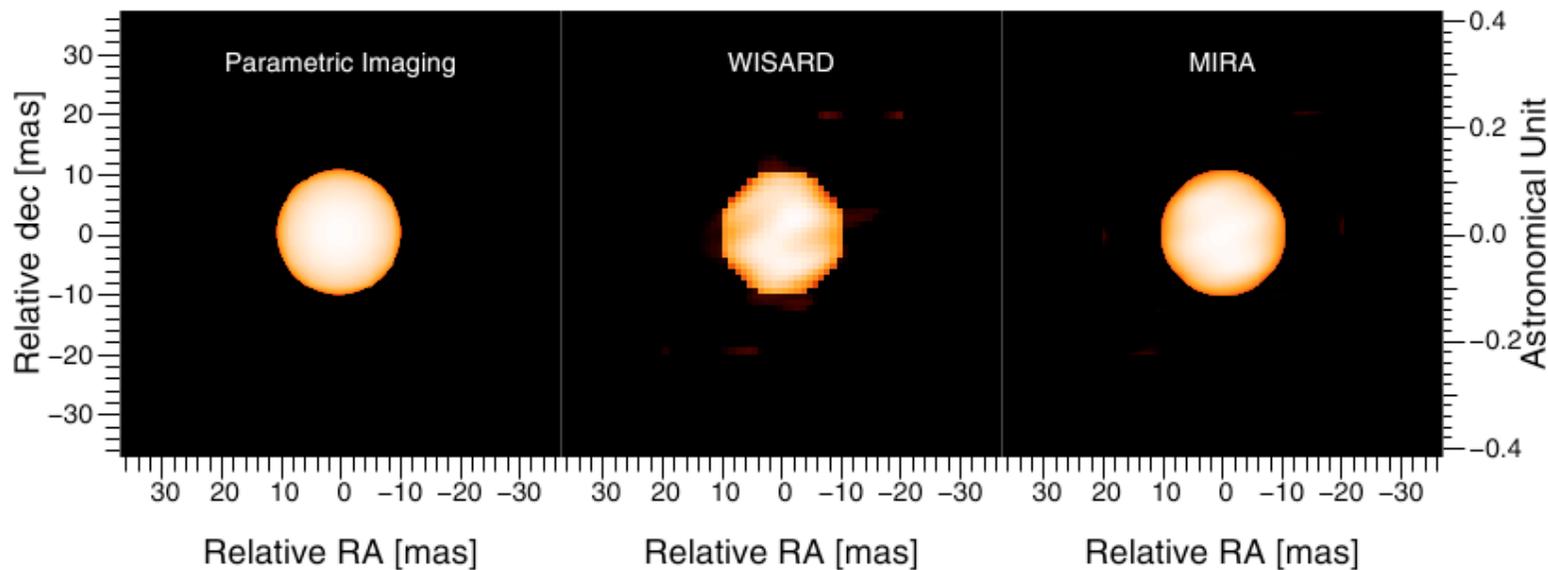
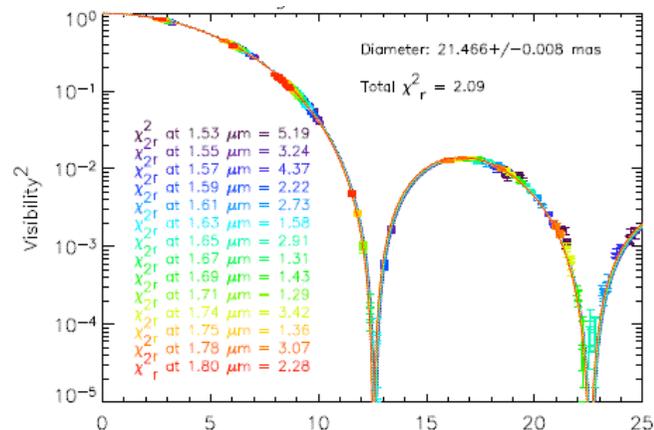
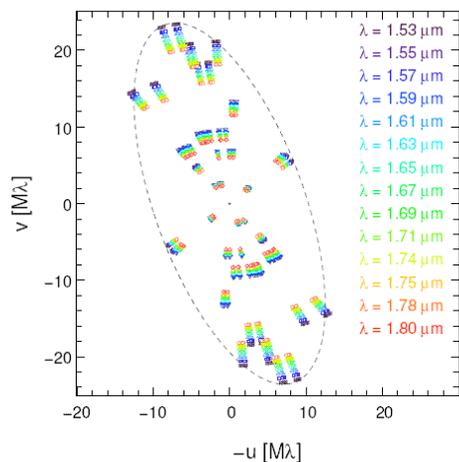
Données réelles IOTA : résultats WISARD

χ Cygni (données IOTA Lacour et al., article Meimon et al. JOSA A 09)



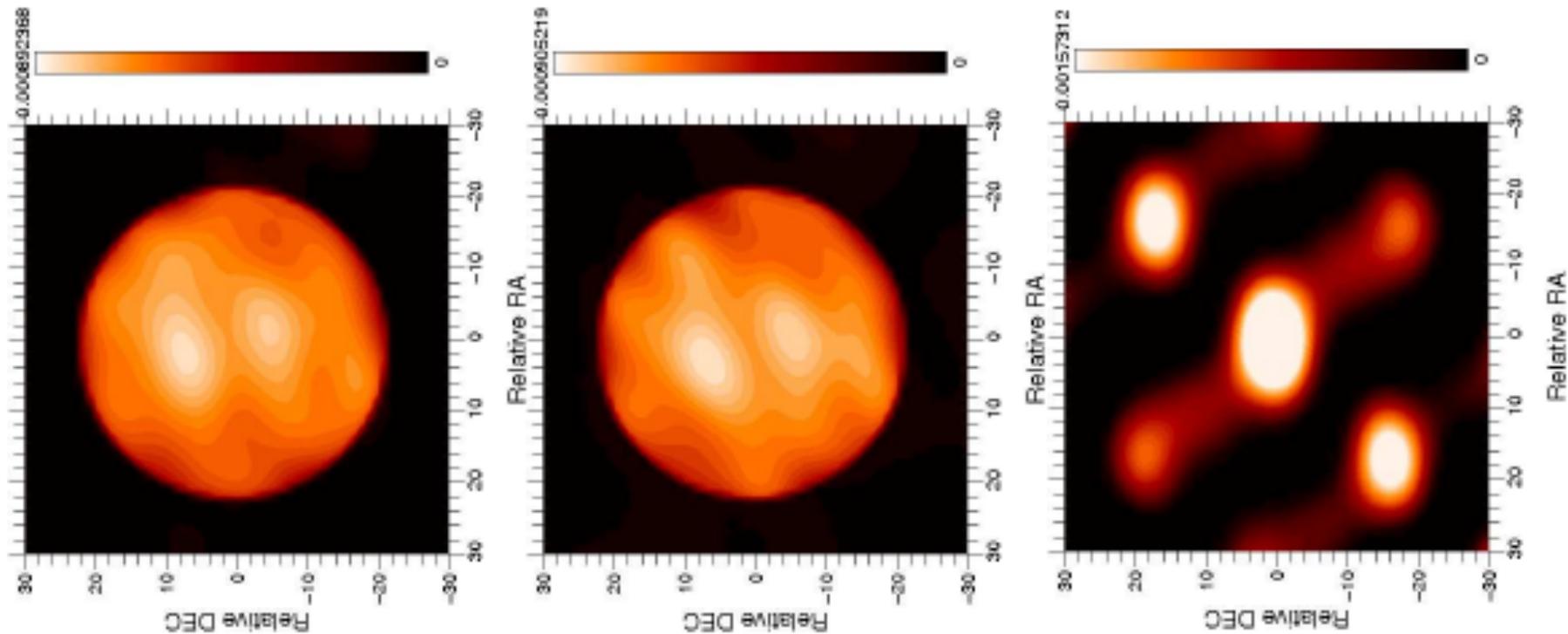
Données réelles IOTA/IONIC : résultats

Arcturus (Données & article Lacour et al., A&A, 2008)



Données réelles IOTA/IONIC : résultats

Bételgeuse bande H (Haubois et al., en préparation)



Reconstruction MIRA

Reconstruction WISARD

“dirty beam” (~ PSF)

Champ 60mas, même a priori (“support mou”, rappel vers disque)

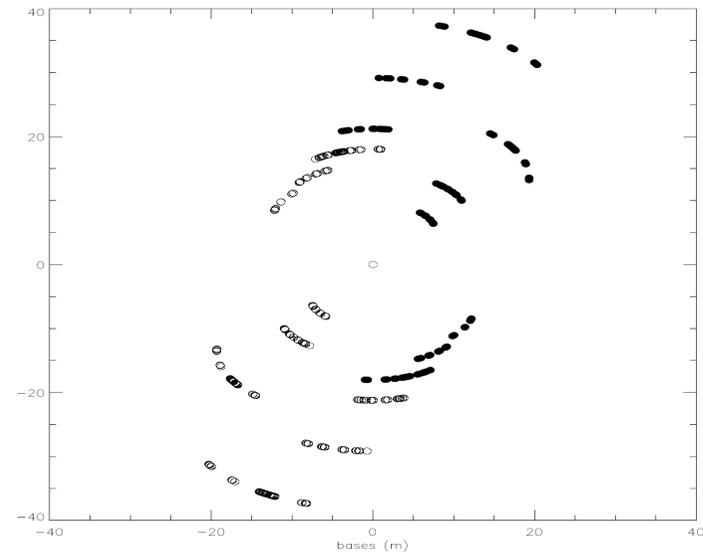
Conclusions

- En bref
 - WISARD est complètement publié, et est livré au JMMC,
 - MIRA et BSMEM ont des résultats comparables ;
- Résultats stables (et utilisation aisée) à 6 télescopes ;
- Limitations actuelles de la reconstruction :
 - cas 3 télescopes difficile : manque d'info, dépendance résultats avec l'initialisation,
 - Interface OIFITS/WISARD : travaux JMMC en cours (?) ;
- Reconstructions conjointes MIRA / WISARD :
 - Validation croisée et « barres d'erreur » empiriques (terme vraisemblance \neq)
 - Différences entre reconstruction dominées par l'*a priori* choisi (-;
- Évolutions potentielles
 - Reconstruction polychromatique à la FITTEST (reconstruction pour Darwin),

Imagerie en interférométrie



Le VLT



Couverture fréquentielle riche ?

- Problèmes :
 - Sous détermination : peu de données
 - Indétermination de phase : clôtures de phase
 - Bruit particulier : en phase et module

$$\phi^{\text{data}} = \phi(\boldsymbol{x}) + \phi^{\text{bruit}} + \bar{\boldsymbol{B}}\boldsymbol{\alpha}$$