

L'outil de recherche de calibrateur SearchCal Pourquoi? Comment?

Présentation par Daniel Bonneau

Objectif des observations par interférométrie à longue base:

- morphologie de l'objet de science \Leftrightarrow Visibilité intrinsèque $V[\text{sci}]$
- Interféromètre à longue base \Rightarrow visibilité mesurée $V_{\text{mes}}[\text{sci}]$ @ B/λ et t
- Problèmes: turbulence atmosphérique + imperfections instrumentales
 - **dégradation du contraste des franges**
- Comment estimer $V_{\text{cal}}[\text{sci}]$ à partir de $V_{\text{mes}}[\text{sci}]$?

$$V_{\text{cal}}[\text{sci}] = V_{\text{mes}}[\text{sci}] / V_{\text{sys}} \text{ @ } B/\lambda \text{ et } t$$

En théorie

V_{sys} = visibilité mesurée pour une source ponctuelle ($V[\text{point}] = 1.0$)

En pratique:

$$V_{\text{sys}} = V_{\text{mes}}[\text{cal}] / V_{\text{est}}[\text{cal}] \text{ @ } B/\lambda \text{ et } t$$

➤ $V[\text{cal}]$ = visibilité pour l'étoile de calibration

- **Sélection des étoiles de calibration = opération cruciale pour obtenir une valeur précise de la visibilité intrinsèque de l'objet de science.**
- **Contraintes sur les étoiles de calibration**
 - ❑ **Connaître son diamètre angulaire $\theta_{UD}[\text{cal}]$**
 Pour calculer $V_{est}[\text{cal}] = |2 J_1(\pi \theta B/\lambda) / \pi \theta B/\lambda|$
 - ❑ **Position sur le ciel voisine de l'objet de science**
 Même observabilité:
 - seeing [cal] \approx seeing [sci],
 - configuration instrumentale [cal] = [sci]
 - ❑ **Magnitude comparable à celle de l'objet de science**
 Flux [cal] \approx [sci]
 Fonctionnement correct: détecteur, "fringe tracker", OA
 - ❑ **type spectral voisin de celui de l'objet de science**
 Pour les observations en bande large $\lambda_{eff} [\text{cal}] = \lambda_{eff} [\text{sci}]$
 - ❑ **étoile non variable et sans compagnon (en principe)**

Comment trouver une étoile de calibration ?

□ À partir d'une liste d'étoiles pré-établie

Catalogue of Absolutely Calibrated Stellar Spectra (Cohen et al. 1999,)

422 étoiles géantes , K0-M0 , photométrie 1.2-35 μm

$1.6 < \theta_{LD} < 21\text{mas}$ $\Delta\theta_{LD}/\theta_{LD}$ [médian] $\approx 3\%$

A catalogue of calibrator stars for long baseline stellar interferometry (Bordé et al. 2002)

374 étoiles géantes , K0-M0 , $-1.0 < \text{magK} < 3.2$

$1.7 < \theta_{LD} < 10\text{mas}$ $\Delta\theta_{LD}/\theta_{LD}$ [médian] = 1.2%

Calibrator stars for 200m baseline interferometry (Mérand et al. 2005)

948 étoiles géantes G8-M0 , $2.3 > \text{magK} < 5.0$

$0.6 < \theta_{LD} < 1.8\text{mas}$ $\Delta\theta_{LD}/\theta_{LD}$ [médian] = 1.35%

➤ **Outil Calvin (VLTI-MIDI & AMBER) (ESO)**

➤ **Outil GetCal (PTI, KI) (Bodden 2003)**

□ Création d'un catalogue dynamique

➤ **Outil SearchCal**

L'outil de recherche d'étoiles de calibrations SearchCal

❑ Objectif

Aider l'astronome à la recherche et la sélection d'étoiles de calibrations bien adaptées à son observation dans le domaine visible [V] ou IR [I][J][H][K][N].

❑ Méthode

Création d'un catalogue dynamique par consultation en ligne de catalogues stellaires de la base de donnée Visier au CDS.

➤ Entrée

Champ de recherche des calibrateurs autour de l'objet de science (Position, couleur, magnitude,)

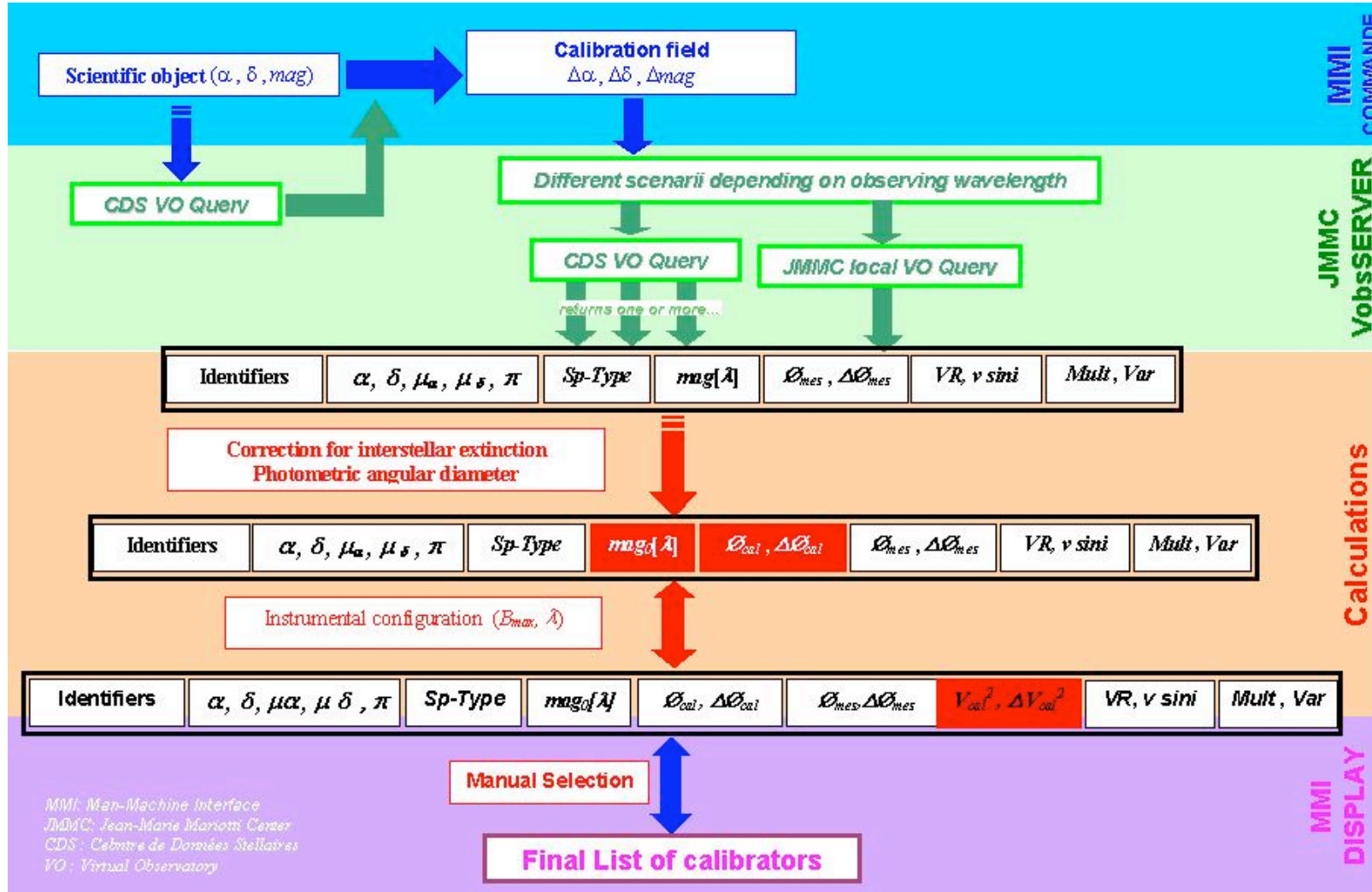
➤ Interrogation du CDS

Extraction des paramètres astronomiques des catalogues du CDS

➤ Sortie

Liste d'étoiles acceptables comme calibrateurs

Diagramme de SearchCal



Conception de SearchCal 1

□ définition du champ de recherche

Paramètres astrométriques (RA & DEC),
 Choix de la bande photométrique [visible] ou [infrarouge]
 Gamme de magnitude des calibrateurs [mag_{\min} , mag_{\max}]

□ Paramètres instrumentaux (λ , B_{\max})

□ Choix des paramètres astronomiques pour chaque calibrateurs

- Identifiant HIP, HD, DM
- Astrométrie coordonnées équatoriales
 parallaxe, mouvement propre
 coordonnées galactiques
- Type Spectral classe de température et de luminosité
- Photométrie magnitudes B, V, R, I, J, H, K, L, M, N
- Diamètre angulaire valeur mesurée ou calculée
- Indicateurs de variabilité et de multiplicité
- Vr, V sini

2 versions de SearchCal

❑ SearchCal "objets brillants" , $\text{magV} \leq 10$, $\text{magK} \leq 5$

- 2001 -2003 études préliminaires, écriture des cahiers des charges scientifiques et techniques,
- Avril 2004 version publique de SearchCal "objets brillants" intégrée dans ASPRO
- 2005 et 2006, versions améliorées

"SearchCal: a Virtual Observatory tool for searching calibrators in optical long baseline interferometry I: the bright object case", A&A 456,789, 2006

❑ SearchCal "objets faibles" , $\text{magK} < 14$

En prévision de l'amélioration des performances des instruments AMBER et PRIMA du VLTI

- été 2004, version prototype
- requêtes initiales sur les catalogues photométriques 2MASS et Denis
- définition automatique du champ de recherche (modèle de la Galaxie de Besançon)
- Problème: comment prendre en compte les effets de l'absorption interstellaire?
- 2006 version de test

Conception de SearchCal 2

❑ Choix des catalogues contenant les paramètres astronomiques

- I/280: All-sky Compiled Catalogue of 2.5 million stars (Karchenko 2001)
- II/7A: UBVRIJKLMNH Photometric catalog (Morel et al., 1978)
- II/225: Catalog of Infrared Observations, Edition 5 (Gezari et al. 1999)
- II/246: the 2MASS all-sky survey Catalog of Point sources (Cutri et al. 2003)
- B/denis: The DENIS database (DENIS Consortium, 2005)
- J/A+A/413/1037: catalog J-K DENISphotometry of bright southern stars (Kimeswenger et al. 2004)
- I/196: Hipparcos Input Catalog Version 2 (Turon et al. 1993)
- V/50: Bright Star Catalog, 5th Revised Ed. Hoffleit et al. 1991)
- V/36B: Supplement of the Bright Catalog (Hoffleit et al. 1983)
- I/284: The USNO-B1.0 Catalog (Monet+ 2003)
- J/A+A/393/183: Catalog of calibrator stars for LBSI (Bodé et al. 2002)
- J/A+A/433/1155: Calibrator stars for 200-m baseline interferometry (Mérand et al. 2005)
- J/A+A/431/773/charm2: Catalog of High angular Resolution Measurements (Richichi et al. 2005)
- B/sb9: 9th Catalogue of Spectroscopic Binary Orbits (Pourbaix et al. 2004)

Conception de SearchCal 3

□ Interrogation automatique des bases de données du CDS

❖ Requête primaire

- champ de recherche défini par l'utilisateur
- Catalogue primaire fonction de la bande photométrique choisie

➤ liste initiale de calibrateurs potentiels (RA, DEC, mag)

❖ Requête secondaire

- à partir de la liste initiale
- extraction des paramètres dans les catalogues du CDS

➤ Catalogue des calibrateurs potentiels

Conception de SearchCal 4

Calculs 1

Correction de l'absorption interstellaire (cas "objets brillants")

$$\text{mag}[\lambda]_0 = \text{mag}[\lambda] - A_\lambda \text{ avec } A_\lambda = A_V R_\lambda / R_V$$

$$R_V = 3.10 \text{ et } R_\lambda \text{ de Fitzpatrick (1999)}$$

Calcul de A_V (l, b, d) d'après Chen et al. (1998)

Calcul des diamètres angulaires

méthode de la brillance de surface

$$\theta_{LD} = \theta_0[\text{IC}] 10^{-\text{mag}[\lambda]}$$

$$\theta_0[\text{IC}] = 9.306 \sum_n a_n \text{IC}^n$$

IC = indice de couleurs

Cas "objets brillants" (B-V), (V-R), (V-K)

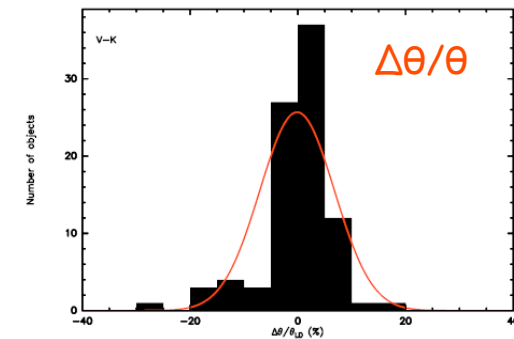
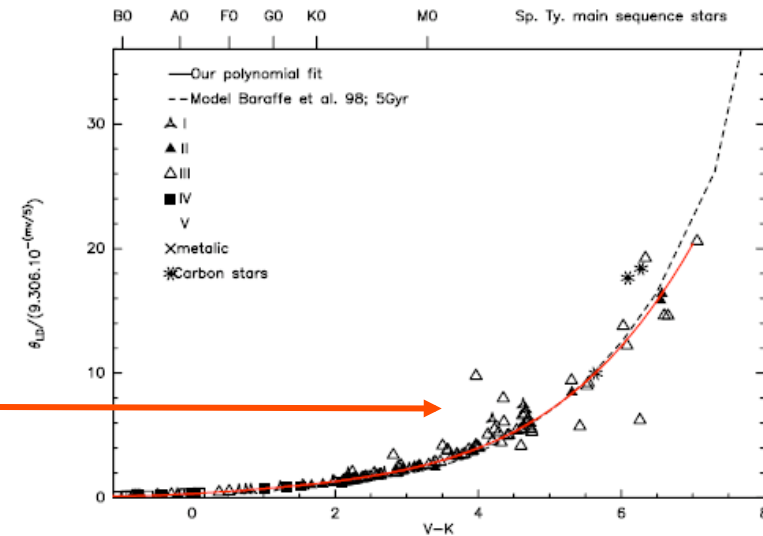
$$\theta[V-K] \Delta\theta/\theta \approx 7\%$$

Cas "objets faibles" (I-J), (I-K), (J-H), (J-K), (H-K)

$$\theta[I-K] \Delta\theta/\theta \approx 7\%$$

Test de cohérence de la photométrie

par comparaison des diamètres $\theta[\text{IC}]$



Conception de SearchCal 5

□ Calculs 2

▪ Calcul de la visibilité des calibrateurs

Hypothèse du disque uniforme

$$V(x) = |2J_1(x)/x| \text{ avec } x = 15.23 \theta_{UD}(\text{mas}) B(\text{m}) / \lambda(\text{nm})$$

$$\Delta V \approx 2J_2(x) \Delta\theta_{UD}/\theta_{UD} \text{ (dans le premier lobe)}$$

$$\Delta V \leq \Delta\theta/\theta$$

Pb: On utilise θ_{LD} à la place de θ_{UD}

⇒ valeur biaisée de la visibilité $\delta V^2 = V^2(\theta_{UD}) - V^2(\theta_{LD})$

$$1.0 \leq \theta_{LD} / \theta_{UD} \leq 1.12 \Rightarrow \delta V^2 < 0.05 \text{ pour } x < 1.0 \text{ ou } V^2 > 0.75$$

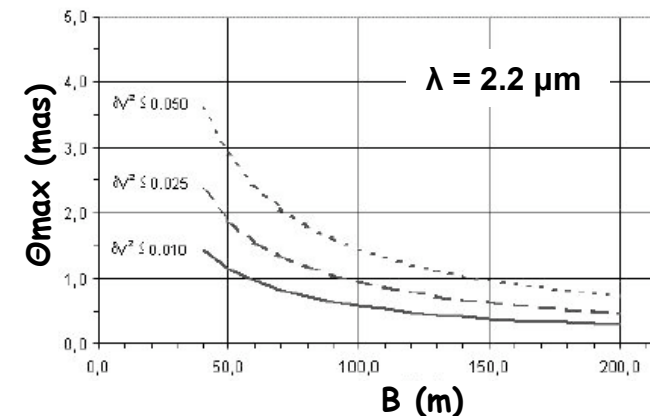
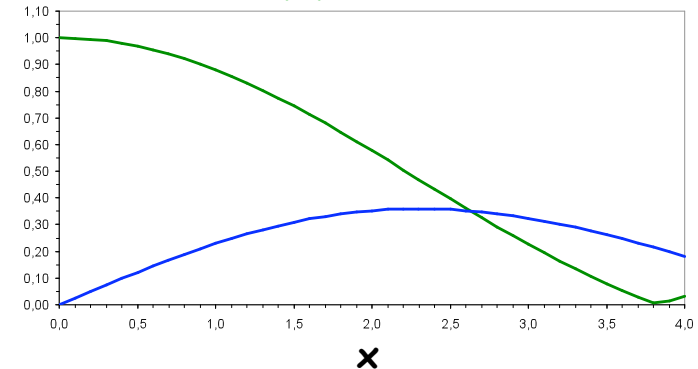
➤ diamètre maximum du calibrateur $\theta_{max}(\lambda, B)$

□ Liste de calibrateurs potentiels

□ Sélection manuelle

- Réduire le champ de recherche?
- Réduire l'écart mag[cal] mag[sci] ?
- Éliminer des types spectraux?
- Limiter la valeur et l'erreur sur la visibilité?
- Éliminer les étoiles variables ou multiples?

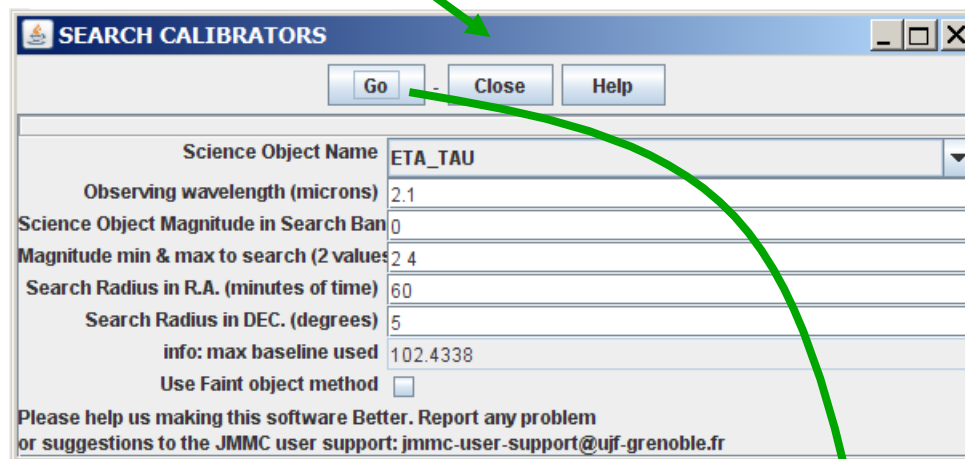
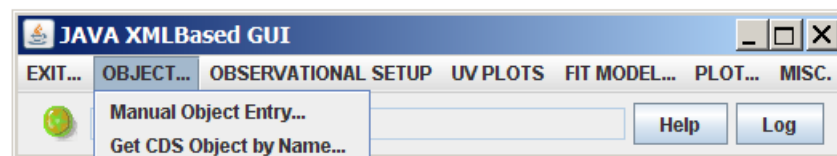
$V(x)$ & $|dV/dx|$



SearchCal en ligne sur <http://www.mariotti.fr/>

□ Via ASPRO

http://www.mariotti.fr/aspro_page.htm



□ Service Web

http://www.mariotti.fr/searchcal_page.htm



IHM

Interface de SearchCal

Champ de recherche
Requête CDS

Calibrateurs proposés

Sélection manuelle

SearchCal
File Edit Query Calibrators Help

Query Parameters

1) Instrumental Configuration
 Magnitude Band: K
 Wavelength (K) [μm]: 2.1
 Max. Baseline [m]: 102.4338

2) Science Object
 Name: ETA_TAU [Get Star]
 RA 2000 [hh:mm:ss]: 03:47:29.076
 DEC 2000 [+/-dd:mm:ss]: 24:06:18.494
 Magnitude (K): 0.0

3) SearchCal Parameters
 Min. Magnitude (K): 2.0
 Max. Magnitude (K): 4.0
 Scenario: Bright Faint
 RA Range [mn]: 120.0
 DEC Range [deg]: 10.0

Progress: [] [Get Calibrators]

Found Calibrators

Index	dist	HD	RAJ2000	DEJ2000	vis2	vis2Err	diam_vk	e_diam_vk	SpType	V	J	H	K
1	0.0	23630	03 47 29.08	+24 06 18.5	0.02	0.025	0.967	0.067	B7III	2.87	2.735	2.735	2.64
2	0.386	23850	03 49 09.74	+24 03 12.3	0.978	0.0030	0.403	0.028	B8III	3.622	3.8	3.864	3.879
3	0.46	23408	03 45 49.61	+24 22 03.9	0.976	0.0030	0.418	0.029	B8III	3.87	4.059	4.122	3.986
4	0.595	23302	03 44 52.54	+24 06 48.0	0.977	0.0030	0.407	0.028	B6III	3.706	4.078	4.086	3.922
5	8.807	19837	03 10 27.05	+26 53 46.4	0.789	0.0050	1.284	0.089	K3III	6.023	3.86	3.24	3.04
6	8.89	27934	04 25 22.17	+22 17 37.9	0.97	0.0040	0.466	0.032	A7IV-V	4.201	4.093	4.064	4.077
7	8.995	28024	04 26 18.46	+22 48 48.9	0.945	0.0070	0.638	0.044	A8Vn	4.282	3.859	3.793	3.761
8	9.395	19787	03 11 37.76	+19 43 36.0	0.63	0.042	1.795	0.124	K2IIIvar	4.339	2.775	2.303	2.169
9	13.325	17573	02 49 59.03	+27 15 37.8	0.976	0.0030	0.42	0.029	B8Vn	3.605	3.657	3.803	3.864

Filters

Reject stars farther than: Maximum RA Separation (mn): 10.0 Maximum DEC Separation (degree): 10.0

Reject stars with magnitude above: Magnitude: 1.5

Reject Spectral Types (and unknowns): O B A F G K M

Reject Luminosity Classes (and unknowns): I II III IV V VI

Reject Visibility below: vis2: 0.5

Reject Visibility Accuracy above (or unknown): vis2Err/vis2 (%): 2.0

Reject Variability

Reject Multiplicity

Status: searching calibrators... done.

Études et recherches menées dans le cadre de la conception et la réalisation de SearchCal...

▪ Interrogations automatique des bases de données du CDS

- choix des paramètres dans chaque catalogue
- procédures d'interrogation du CDS

▪ Estimation du diamètre angulaire photométrique

Nous n'avons pas voulu appliquer les méthodes disponibles qui sont basées sur des relations qui ne couvrent jamais l'intégralité de types spectraux ET classes de luminosité ET bandes photométriques.

➤ travail de compilation et d'études pour :

- **établir les relations couleur-magnitude** de tt type Spectral dans les photométries Johnson et Cousin-CIT
- **établir des relation couleur - brillance de surface** d'étoiles de classe de luminosité I, III et V sur toutes les bandes photométriques à partir des mesures de rayon apparent (LBI) et de rayon stellaire (binaires à éclipse).
- **Sélectionner les bandes photométriques** dont les relations offrent:
 - (1) le moins de dispersion possible
 - (2) une faible dépendance en la classe de Luminosité

SearchCal, quelques pistes pour la suite...

□ Améliorations de SearchCal pour tenir compte de l'évolution des performances des interféromètres et répondre au nouveaux besoins des utilisateurs

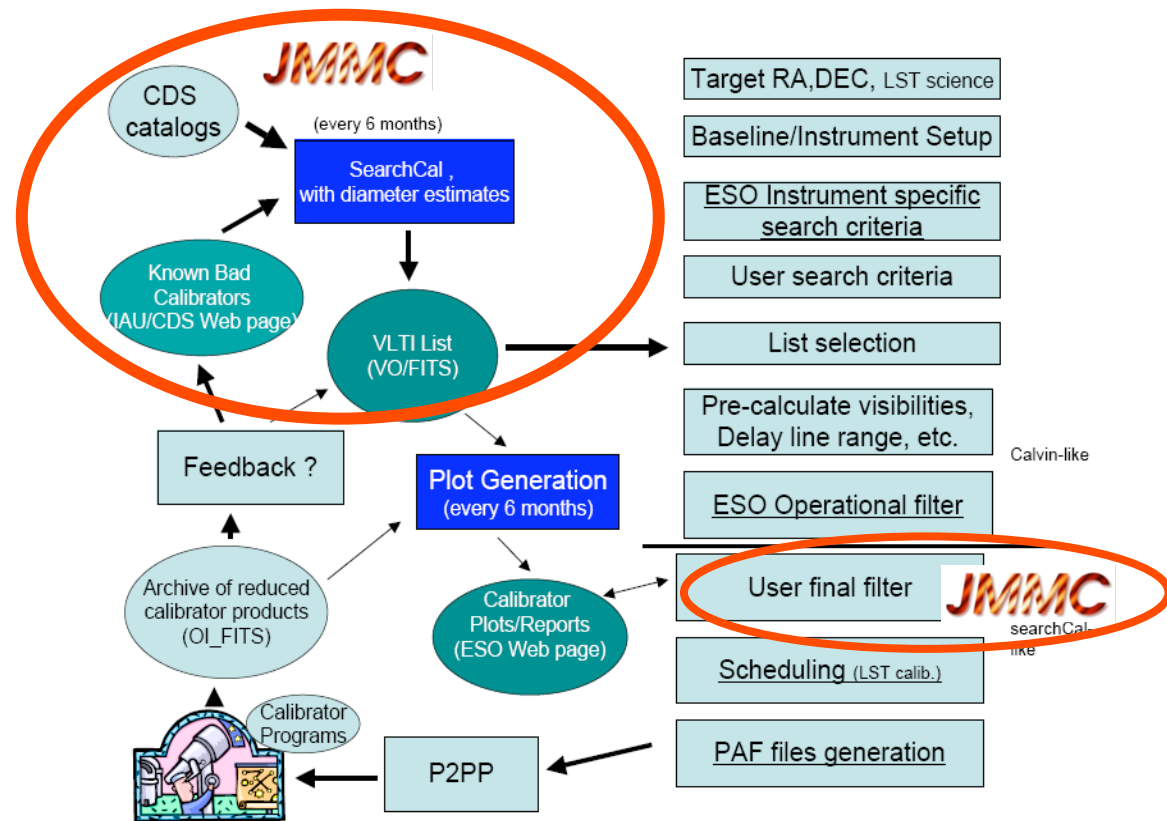
- meilleure prise en compte de l'absorption interstellaire et de son effet sur l'estimation du diamètre angulaire des calibrateurs faibles.
- étude de la problématique de l'introduction d'une statistique de binarité.
- accroissement de la précision du calcul des diamètres angulaires.
- adaptations aux besoins spécifiques des instruments focaux.

Voir par exemple la création d'un catalogue de calibrateurs pour les cibles de PRIMA@VLT I.

etc.

Collaboration avec l'ESO pour la mise au point d'un outil de recherche de calibrateurs pour les observations VLTI

"Workshop on a ESO/JMMC Tool for Calibrator Search"
5-6 mai 2008 à Nice



Collaboration avec l'ESO pour la mise au point d'un outil de recherche de calibrateurs pour les observations VLTI (suite)

- Document scientifique (D. Bonneau & M. Wittkowski)
- Document technique (P. Ballester & G. Duvert)



VERY LARGE TELESCOPE
INTERFEROMETER

Scientific User Requirements for a next
generation ESO/JMMC calibrator
tool

Doc. No.: VLT-SPE-ESO-19600-4654

Issue: 1.0

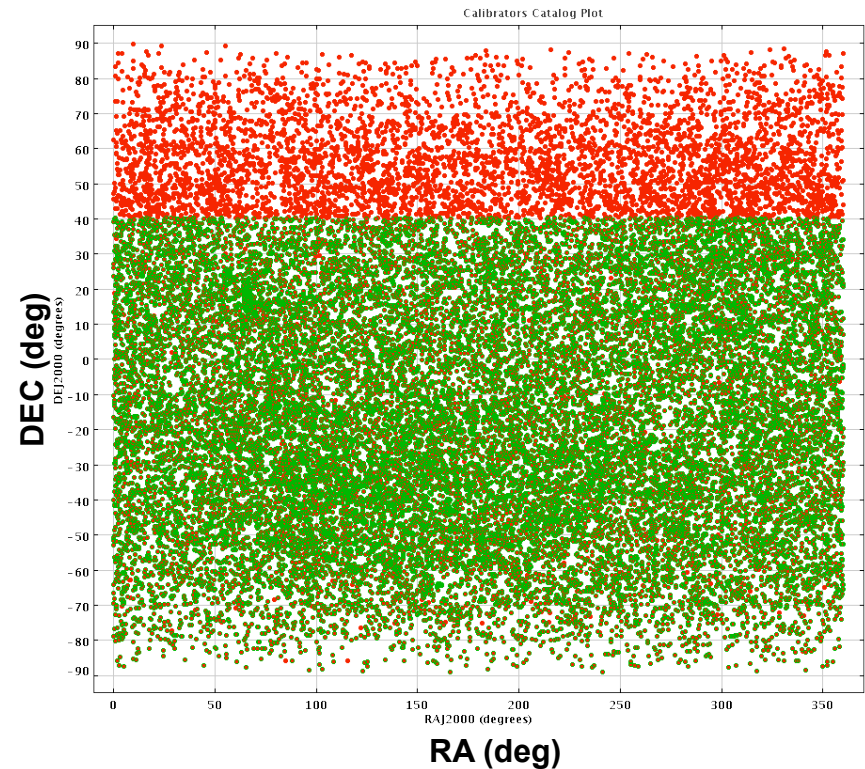
Date: 18 August 2008

Prepared: D. Bonneau, M. Wittkowski
Approved: P. Ballester & G. Duvert
Released: A. Chelli & J. Melnick

VLT PROGRAMME * TELEPHONE: (089) 3 20 96 0 * FAX: (089) 3 20 23 62

➤ Catalogue de calibrateurs potentiels

19/12/2008
Bande K
 $-5 < \text{magK} < 7.5$
 $B_{\text{min}} = 16\text{m}$
22080 étoiles



Le groupe de R&D "calibrateurs"

Groupe scientifique

Nom	Grade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
P. Bério	OCA								
H. Beust	LAOG								
D. Bonneau	OCA								
P. Bordé	OPM								
O. Chesneau	OCA								
P. Cruzalebes	OCA								
X. Delfosse	LAOG								
G. Duvert	LAOG								
X. Haubois	OPM								
A. Mérand	OPM								
D. Mourard	OCA								
R. Petrov	OCA								

groupe technique

Nom		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
J-M. Clausse	OCA								
S. Cêtre	(LAOG)								
G. Duvert	LAOG								
S. Lafrasse	LAOG								
G. Méla	LAOG								
Y. Vanderschueren	(OCA)								
G. Zins	LAOG								

JMMC

LAOG
Laboratoire d'AstroOptique de Grenoble



Observatoire
de la CÔTE d'AZUR

LABORATOIRE
FIZEAU

Merci

Quelques productions du groupe

- ❑ 12 documents techniques particuliers (JMMC-MEM-2600-xxxx)
- ❑ 3 documents de spécifications (JMMC-SPE-2600-xxxx)
- ❑ 1 document stratégique (JMMC-GEN-2600-0001)
- ❑ 1 rapport de stage (JMMC-TRA-2600-0001)
- ❑ + un certain nombre de réunions...

" **SearchCal: a Virtual Observatory tool for Searching Calibrators for optical long baseline interferometry I: The bright object case**", D. Bonneau, J.-M. Clause, X. Delfosse, D. Mourard, S. Cetre, A. Chelli, P. Cruzalébes, G. Duvert, and G. Zins, *A&A* 456, 789 (2006)

"**Searching for VLTI calibrators with the JMMC's search calibrators tool**", D. Bonneau, X. Delfosse, S. Cetre J.-M. Clause, G. Zins, O. Chesneau, G. Duvert, D. Mourard, and P. Cruzalébes, , 2005, Proceedings of ESO VLTI workshop on Optical/IR Interferometry.

"**The JMMC evolutive search calibrator tool**", Bonneau, D.; Clause, J.-M.; Delfosse, X.; Duvert, G.; Borde, P.; Mourard, D.; Berio, P.; Cruzalebes, P., *New Frontiers in Stellar Interferometry*, Proceedings of SPIE Volume 5491. Edited by Wesley A. Traub. Bellingham, WA: The International Society for Optical Engineering, 2004., p.1160.

"**Determination of stellar diameter from photometry in the JMMC Evolutive Search Calibrator**", Delfosse, X.; Bonneau, D. , SF2A-2004: Semaine de l' Astrophysique Francaise, June 14-18, 2004. Ed. F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani. Published by EdP-Sciences, Conference Series, 2004, p. 181.

"**The JMMC Evolutive Calibrator Selection Tool**", Bonneau, D.; Clause, J.-M.; Delfosse, X.; Duvert, G.; Borde, P.; Mourard, D.; Berio, P.; Cruzalebes, P.; SF2A-2004: Semaine de l' Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004. Edited by F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani. Published by EdP-Sciences, Conference Series, 2004, p. 177.