



JMMC-MEM-2600-0012

Revision 1.0

Date: 13/06/2006

JMMC

SearchCal - objets faibles

DIAMÈTRES ANGULAIRES À PARTIR DE LA
PHOTOMÉTRIE COUSINS-CIT

Authors:

Xavier Delfosse <Xavier.Delfosse@obs.ujf-grenoble.fr> — LAOG/JMMC

Change record

Revision	Date	Authors	Sections/Pages affected
Remarks			
1.0	20/06/2006	X.Delfosse	all

Table of contents

1	Introduction	4
1.1	Objet	4
1.2	Documents de référence	4
1.3	Abréviations and acronymes	4
2	Les données	4
2.1	Diamètres angulaires	4
2.2	Photométrie	5
3	Transformation de la photométrie dans le système Cousins-CIT	5
4	Correction du rougissement interstellaire	5
5	Relation diamètre angulaire - photométrie	6
6	Précisions et cohérence des relations	9
6.1	Précisions et dépendance en la classe de luminosité	9
6.1.1	Précisions	9
6.1.2	Dépendance en la classe de luminosité	9
6.2	Cohérence	9
A	Annexes : equations de transformation de couleurs	14
A.1	$\Psi_I(I - J)$	14
A.1.1	Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)	14
A.1.2	Andersen(1991)	15
A.2	$\Psi_I(I - K)$	15
A.2.1	Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)	15
A.2.2	Andersen(1991)	15
A.3	$\Psi_J(J - H)$	15
A.3.1	Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)	15
A.3.2	Andersen(1991)	16
A.4	$\Psi_J(J - K)$	16
A.4.1	Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)	16
A.4.2	Andersen(1991)	16
A.5	$\Psi_H(H - K)$	16
A.5.1	Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)	16
A.5.2	Andersen(1991)	17

List of Tables

1	Coefficients des fits polynomiaux sous la forme $\psi_X(X - Y) = \sum_i a_i X - Y^i$. Le domaine donne les couleurs limites entre lesquelles le fit polynomial est valide.	6
2	Codage du type spectral utilisé dans la figure 5	13

List of Figures

1	Estimateur du diamètre angulaire en fonction des indices photométriques. Les graphiques de gauche présentent tous les objets de notre compilation, ceux de droite sont un agrandissement sur les types spectraux les plus précoces. Les symboles sont : triangle convexe : classe luminosité I (supergéantes); triangle plein : classe luminosité II; triangle vide : classe de luminosité III (géantes); carré plein : classe luminosité IV; carré vide : classe luminosité V (naines); croix : objets métalliques; étoiles : étoiles carbonées. En rouge est représenté notre polynôme, et en pointillé le tracé de Baraffe et al. (1998)	7
2	Même légende que pour la figure 1	8
3	(O-C) absolus et relatifs calculés à partir de $\psi_I(I - J)$, $\psi_I(I - K)$, $\psi_J(J - H)$, $\psi_J(J - K)$ et $\psi_H(H - K)$. $\Delta\theta = \theta_{calc} - \theta_{obs}$. Les pointillées représentent les limites $\pm 10\%$. Les mesures de Andersen (1991) sont représentées dans la figure des (O-C) relatifs avec des symboles plus petits, il est impossible de les indiquer dans le graphique des (O-C) absolus car ce sont des mesures de diamètres stellaires et non de diamètres angulaires.	10
4	Histogrammes des (O-C) relatifs. Un fit gaussien y est superposé et fourni la valeur de la dispersion des (O-C).	11
5	Cohérence interne des relations. Les diamètres angulaires sont calculés pour des étoiles ayant les couleurs données dans les tables photométriques (en cousins) JMMC-MEM-2600-0006, à partir de $\psi_I(I - J)$, $\psi_I(I - K)$, $\psi_J(J - H)$, $\psi_J(J - K)$ et $\psi_H(H - K)$. Les différences relatives entre les rayons déterminés sont représentés en fonction du type spectral pour les 3 classes de luminosités. Le codage du type spectral est donné dans la table 2.	12

1 Introduction

1.1 Objet

SearchCal objets faibles utilise la photométrie DENIS et 2MASS pour déterminer les diamètres angulaires des calibrateurs potentiels. Ces systèmes photométriques étant proches du système CIT-cousins, les calculs se font dans ce dernier. La première étape consiste à utiliser des relations permettant de lier indices photométriques et diamètre angulaire. Pour pouvoir être utilisées ces relations doivent :

- être peu dépendantes de la classe de luminosité des étoiles;
- être peu dispersées.
- utiliser les bandes photométriques DENIS/2MASS : IJHK

Ce document est centré sur la détermination des relations permettant le calcul des diamètres photométriques dans le système photométrique CIT-cousins. Nous avons déterminés de telles relations par le passé pour *SearchCal* objets brillants. Elles étaient cependant faites pour le système photométrique Johnson. Ces relations permettent de déterminer les diamètres angulaires avec des précisions typiques de 10%

1.2 Documents de référence

- [1] JMMC-MEM-2600-0006, Revision 2.0, *SearchCal* - Calcul des magnitudes manquantes, tables photométriques
- [2] JMMC-MEM-2600-0009, Revision 3.0, *SearchCal* - Calcul des diametres photometriques

1.3 Abréviations and acronymes

JMMC Jean-Marie Mariotti Center

2 Les données

2.1 Diamètres angulaires

Notre compilation de diamètres angulaires ne se veut pas exhaustive. Son but est de réunir des mesures pour un échantillon distribué sur une large gamme de température effective et de classe de luminosité. Les mesures de diamètres proviennent de mesures interferométriques, de la méthode des occultations lunaires ou de binaires à éclipses.

La base de notre échantillon provient de la compilations de diamètres, obtenus via des observations interferométriques ou via la méthode des occultations lunaires, de Barnes et al. (1978) et des observations interferometriques de 85 étoiles avec le MARK III (Mozurkewich et al. 2003).

Pour compenser le manques d'étoiles de la séquence pricinpale dans cette liste, nous la complétons par des binaires à éclipses (comprenant de nombreuses étoile de classe de luminosité V), dont le diamètre stellaire est directement obtenu via la durée de l'éclipse. Elles proviennent de la compilation d'Andersen (1991) corrigée par des determinations de diamètres plus récents (Metcalfé et al. (1996); Torres & Ribas (2001)) pour les deux binaires à éclipses de type spectrale M.

Pour compenser le manque d'étoiles froides de la séquence principale, nous complétons notre échantillon avec les premières mesures de diamètres angulaires de ces objets (Ségransan et al. (2003)).

Tout les diamètres angulaires mesurées ici en interferométrie sont corrigés de l'effet centre-bord.

2.2 Photométrie

La photométrie provient tout d'abord des même sources que les diamètres angulaires. Elle n'est cependant pas complète, toutes les bandes photométriques n'étant pas présentes. Elles sont complétées par :

- pour Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003) : JP11 (Ducati 2002)
- pour Andersen (1991) : B-V et V-I du catalogue Hipparcos (ESA 1997); JHK de 2MASS (Cutri et al. 2003)
- pour Ségransan et al. (2003) : IJHK de Leggett (1992)

Dans le cas des données de Andersen (1991), la photométrie ajoutée est une photométrie jointe des couples proches (les objets étant ici des binaires serrées). Pour pouvoir être utilisée sans transformation pour les objets individuels, il est nécessaire que les membres du couples aient des couleurs très proches. La photométrie supplémentaire n'est donc ajoutée que pour les couples pour lesquels : $\Delta V < 0.3\text{mag}$ et $\Delta(B - V) < 0.1\text{mag}$. Malgré tout, le fait qu'une photométrie jointe soit attribuées à des objets uniques peut ajouter de la dispersion pour les points provenant de Andersen (1991).

3 Transformation de la photométrie dans le système Cousins-CIT

La détermination des relations nécessite l'obtention des magnitude m_I , m_J et m_H , ainsi que des couleurs $I - J$, $I - K$, $J - H$, $J - K$ et $H - K$, dans le système Cousins-CIT. Des transformations sont pour cela nécessaires.

- Ségransan et al. (2003) : les données photométrique sont déjà dans le système Cousins-CIT
- Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003) : données photométriques en Johnson, nécessitent une transformation
- Andersen (1991) : les données visibles B-V et V-I sont dans le système Cousins-CIT, les données infrarouges JHK sont dans le système 2MASS et nécessitent une transformation

Les transformations de couleurs utilisées proviennent de Bessel (1983) et de Bessell & Brett (1988) pour les passages du système Johnson au système Cousins-CIT respectivement en visible et en infrarouge; et de Carpenter (2001) pour le données provenant de 2MASS.

Ces transformations pouvant être une source d'erreurs, elles sont décrites avec précision en annexe.

4 Correction du rougissement interstellaire

Certaines sources, notamment les géantes, supergéantes ou les étoiles O-B, sont situées à de grandes distances. Il est alors nécessaire de corriger la photométrie du rougissement interstellaire. la méthode peut différer suivant les sources bibliographiques.

- Barnes et al. (1978) : $E(B-V)$ est donné par les auteurs
- Mozurkewich et al. (2003) : A_V est donné par les auteurs
- Ségransan et al. (2003) : il s'agit ici des sources proches, la photométrie n'est pas atteinte par le rougissement interstellaire
- Andersen (1991) : $(B-V)_0$ est donné par l'auteur. $E(B-V)$ est calculé à partir de $(B-V)$ (Hipparcos, ESA 1997) et $(B-V)_0$.

relat.	domaine	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	rms $\Delta\theta/\theta$ (en %)
$\psi_I(I - J)$	[-0.2; 2.4]	0.3412554562	0.4149735570	0.5780231953	-0.03687291592	7.2
$\psi_I(I - J)$	[-0.3; 3.4]	0.360665083	0.249089003	0.112094752	0.0323343426	7.1
$\psi_J(J - H)$	[-0.1; 0.6]	0.3179209232	1.327258348	3.614361763	5.796453476	17.3
$\psi_J(J - K)$	[-0.2; 0.8]	0.3017810881	0.6995268464	0.02501036786	0.1643602103	9.7
$\psi_H(H - K)$	[-0.1; 0.24]	0.3909413815	2.143286705	0.1167003438	-10.90610600	12.5

Table 1: Coefficients des fits polynomiaux sous la forme $\psi_X(X - Y) = \sum_i a_i X - Y^i$. Le domaine donne les couleurs limites entre lesquelles le fit polynomial est valide.

Les magnitudes nécessaires pour les relations donnant le diamètre angulaire dans *SearcCal* objets faibles, sont ensuite corrigées à partir des rapport d'extinctions calculé par Fitzpatrick (1999).

$$A_I = 0.506A_V = 1.569E(B - V) \quad (1)$$

$$A_J = 0.270A_V = 0.837E(B - V) \quad (2)$$

$$A_H = 0.170A_V = 0.527E(B - V) \quad (3)$$

$$E(I - J) = 0.229A_V = 0.710E(B - V) \quad (4)$$

$$E(I - K) = 0.397A_V = 1.229E(B - V) \quad (5)$$

$$E(J - H) = 0.100A_V = 0.310E(B - V) \quad (6)$$

$$E(J - K) = 0.160A_V = 0.490E(B - V) \quad (7)$$

$$E(H - K) = 0.060A_V = 0.186E(B - V) \quad (8)$$

5 Relation diamètre angulaire - photométrie

Une fois ces transformations photométriques effectuées nous représentons l'estimateur :

$$\psi_X = \frac{\phi}{9.306 \cdot 10^{-m_X/5}} = \frac{D_*}{10^{(5-M_X)/5}} \quad (9)$$

en fonction de la couleur (X-Y).

Sont ainsi représentées sur la figure 1 et 2 les relations $\psi_I(I - J)$, $\psi_I(I - K)$, $\psi_J(J - H)$, $\psi_J(J - K)$ et $\psi_H(H - K)$.

Un polynome est fité par moindre carré, les coefficients sont donnés dans la table 1.

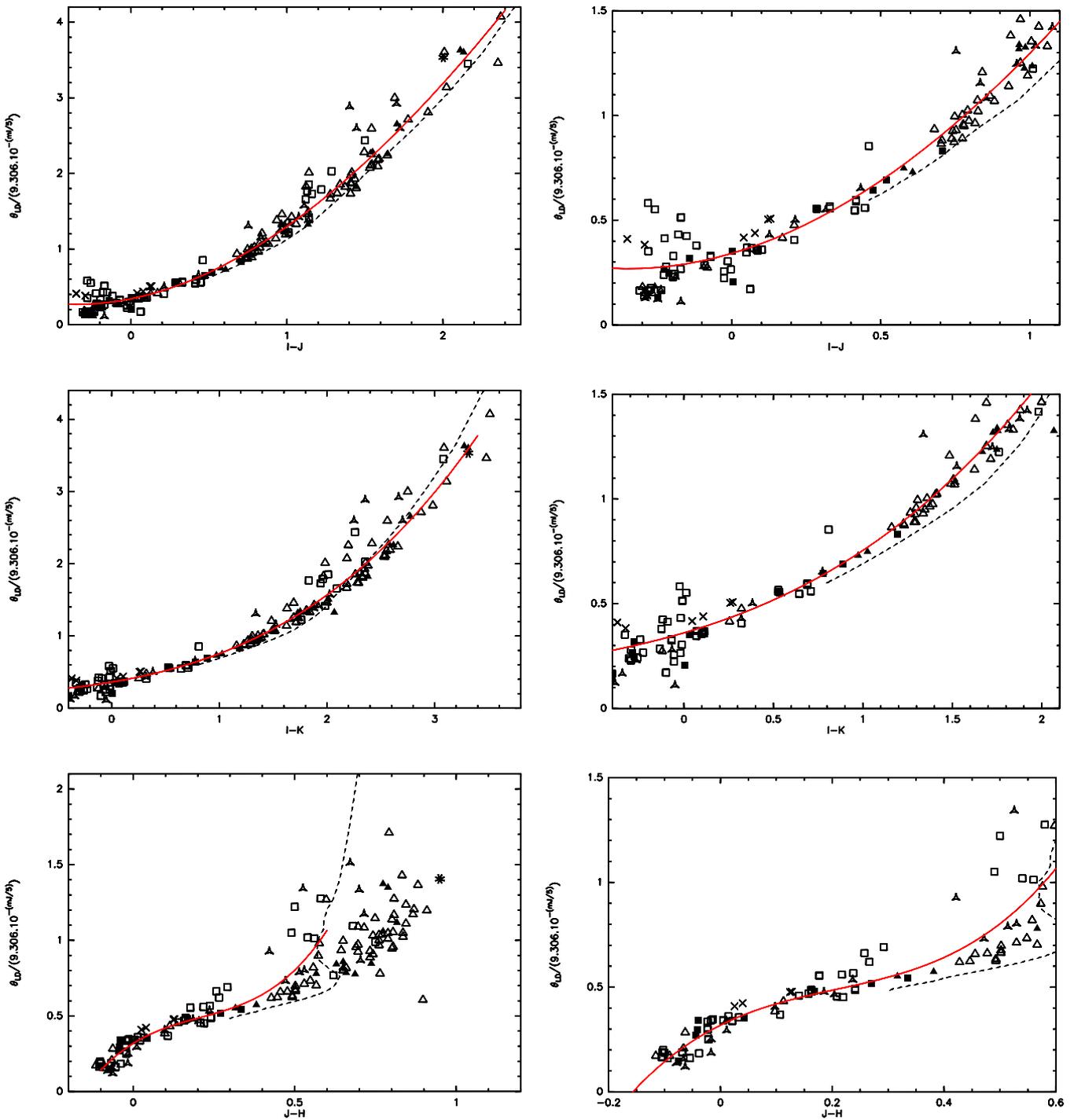


Figure 1: Estimateur du diamètre angulaire en fonction des indices photométriques. Les graphiques de gauche présentent tous les objets de notre compilation, ceux de droite sont un agrandissement sur les types spectraux les plus précoces. Les symboles sont : triangle convexe : classe luminosité I (supergéantes); triangle plein : classe luminosité II; triangle vide : classe de luminosité III (géantes); carré plein : classe luminosité IV; carré vide : classe luminosité V (naines); croix : objets métalliques; étoiles : étoiles carbonées. En rouge est représenté notre polynôme, et en pointillé le tracé de Baraffe et al. (1998)

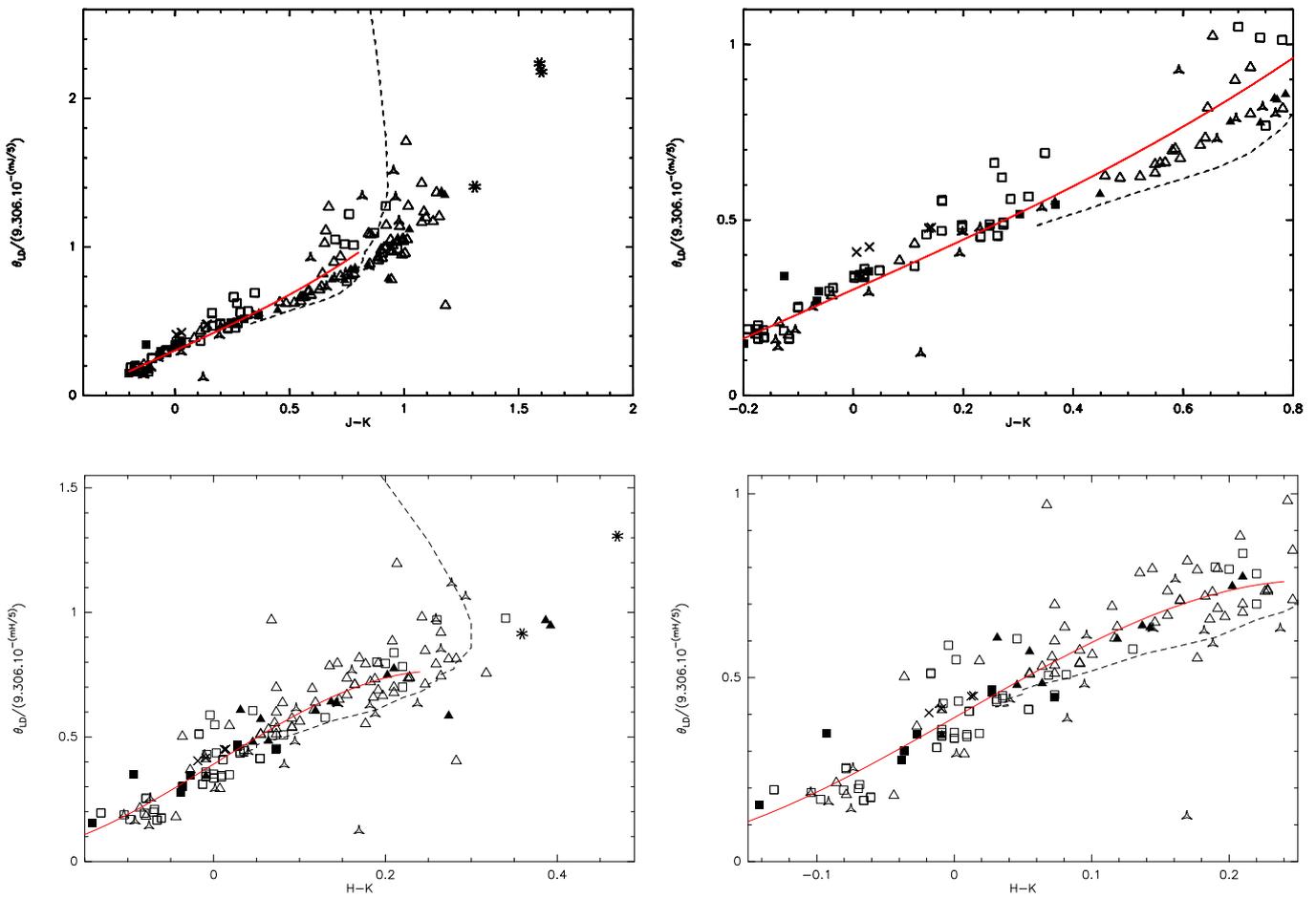


Figure 2: Même légende que pour la figure 1

6 Précisions et cohérence des relations

6.1 Précisions et dépendance en la classe de luminosité

Les erreurs sont calculées à partir des données Ségransan et al. (2003) et Mozurkewich et al. (2003). Les diamètres angulaires θ_{cal} sont calculés à partir de la photométrie Cousins-CIT des objets, et des relations $\psi_X(X - Y)$. Ils sont ensuite comparés aux diamètres mesurés θ_{obs} . Dans la figure 3 $\Delta\theta = \theta_{calc} - \theta_{obs}$ et $\Delta\theta/\theta$ sont représentés en fonction de la couleur. Les histogrammes de la figure 4 représentent les distributions des erreurs relatives $\Delta\theta/\theta$, à partir desquelles le rms est calculé et donné dans la table 1.

Les mesures de Andersen (1991) sont également représentées dans la figure 3 avec des symboles plus petits. La dispersion des erreurs testées par ces mesures est plus importante que pour les autres sources. Plusieurs causes en sont à la source : la photométrie est une photométrie jointe des couples serrées et elle est appliquée à des objets isolés; la méthode de calcul de E(B-V) des ces sources est moins propres que dans le cas des autres références. La représentation de ces mesures Andersen (1991) est donc uniquement indicative, elle est utile pour comparer les localisations des erreurs en fonction des classes de luminosité.

6.1.1 Précisions

$\psi_I(I - J)$, $\psi_I(I - K)$, et $\psi_J(J - K)$ permettent de reconstruire les diamètres avec des précisions meilleures que 10%. $\psi_J(J - H)$ et $\psi_H(H - K)$ assurent une moins bonne précision, mais qui reste tolérable (12 et 17%).

6.1.2 Dépendance en la classe de luminosité

Les 5 relations semblent peu, si ce n'est pas, dépendantes de la classe de luminosité pour l'essentiel de la séquence spectrale (de O à K). A partir de mi-K il est par contre bien visible que $\psi_I(I - K)$, $\psi_J(J - H)$ et $\psi_J(J - K)$ sont très dépendantes de la classe de luminosité. Des biais dans la valeur du diamètre calculée existent alors en fonction de la classe de luminosité et peuvent atteindre $\sim 20 - 30\%$. Il sera nécessaire d'attirer l'attention de l'utilisateur sur ce point : **"L'utilisation de ces relations introduit des biais de détermination du diamètre angulaire pour les objets plus tardifs que mi-K. Ces biais de l'ordre de 20% dépendent de la classe de luminosité et peuvent être corrigés une fois la classe de luminosité du calibrateur connue."**

$\psi_I(I - J)$ est également légèrement atteint par cet effet, mais à un niveau plus faible.

$\psi_H(H - K)$ semble insensible à la classe de luminosité.

6.2 Cohérence

Pour tester la cohérence entre elles des 5 relations, les tables photométriques donnant les couleurs des étoiles en fonction de leur type spectral (JMMC-MEM-2600-0006) sont utilisées. Les diamètres angulaires sont calculés pour ces couleurs et pour I=0 (J et H étant déduit des tables). Pour chaque type spectral les diamètres déduites des 5 relations sont comparées entre elles dans la figure 5.

Il est ainsi prouvé que les relations sont cohérentes entre elles avec des différences de détermination des diamètres angulaires inférieurs à 10% pour un type spectral (et une classe de luminosité) donné. La cohérence devient moins bonne pour les types spectraux tardifs (à nouveau cela est du à la dépendance de certaines relations à la classe de luminosité) ou les plus précoces (où les relations sont les moins bien contraintes à cause du peu de points de mesures).

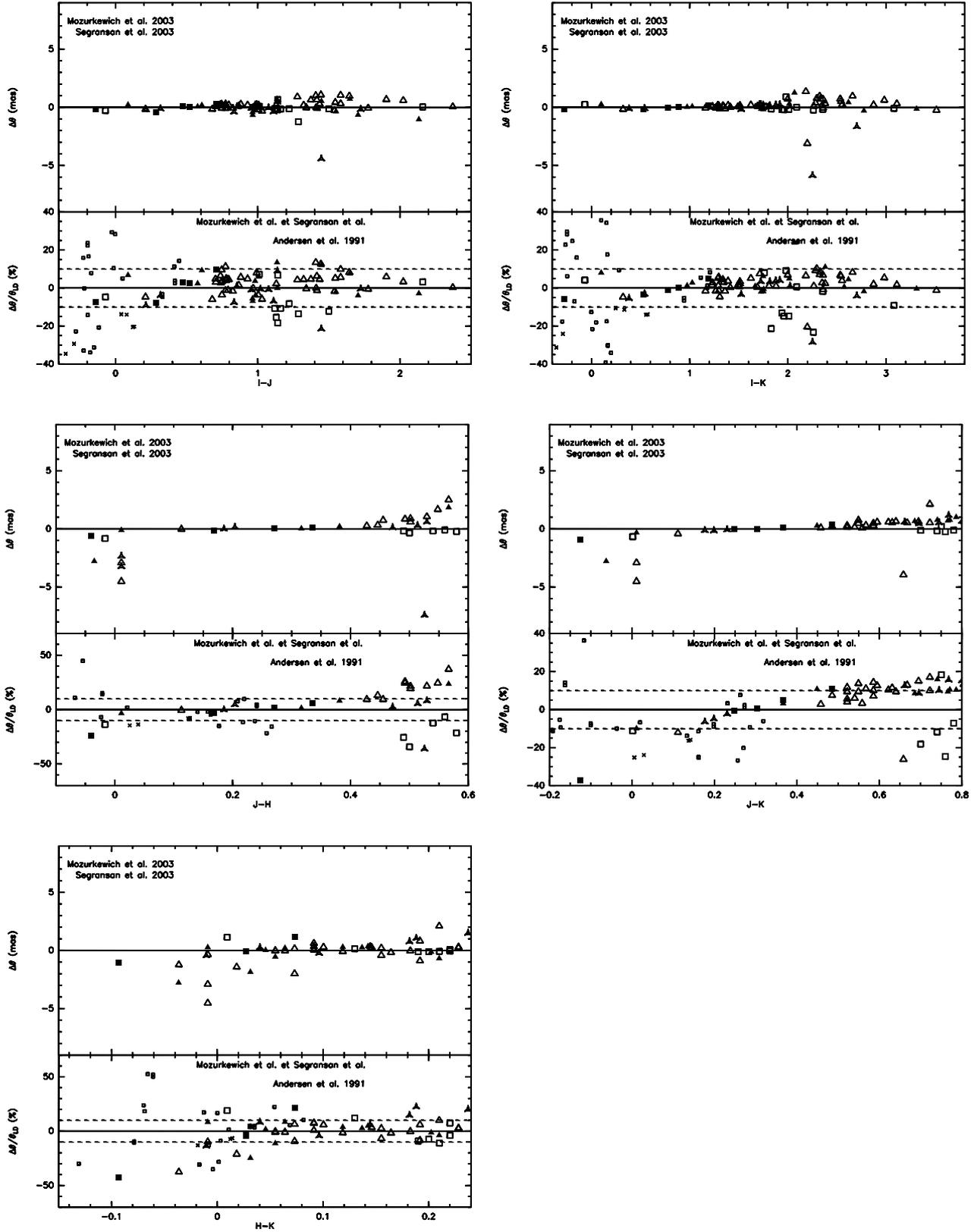


Figure 3: (O-C) absolus et relatifs calculés à partir de $\psi_I(I - J)$, $\psi_I(I - K)$, $\psi_J(J - H)$, $\psi_J(J - K)$ et $\psi_H(H - K)$. $\Delta\theta = \theta_{calc} - \theta_{obs}$. Les pointillées représentent les limites $\pm 10\%$. Les mesures de Andersen (1991) sont représentées dans la figure des (O-C) relatifs avec des symboles plus petits, il est impossible de les indiquer dans le graphique des (O-C) absolus car ce sont des mesures de diamètres stellaires et non de diamètres angulaires.

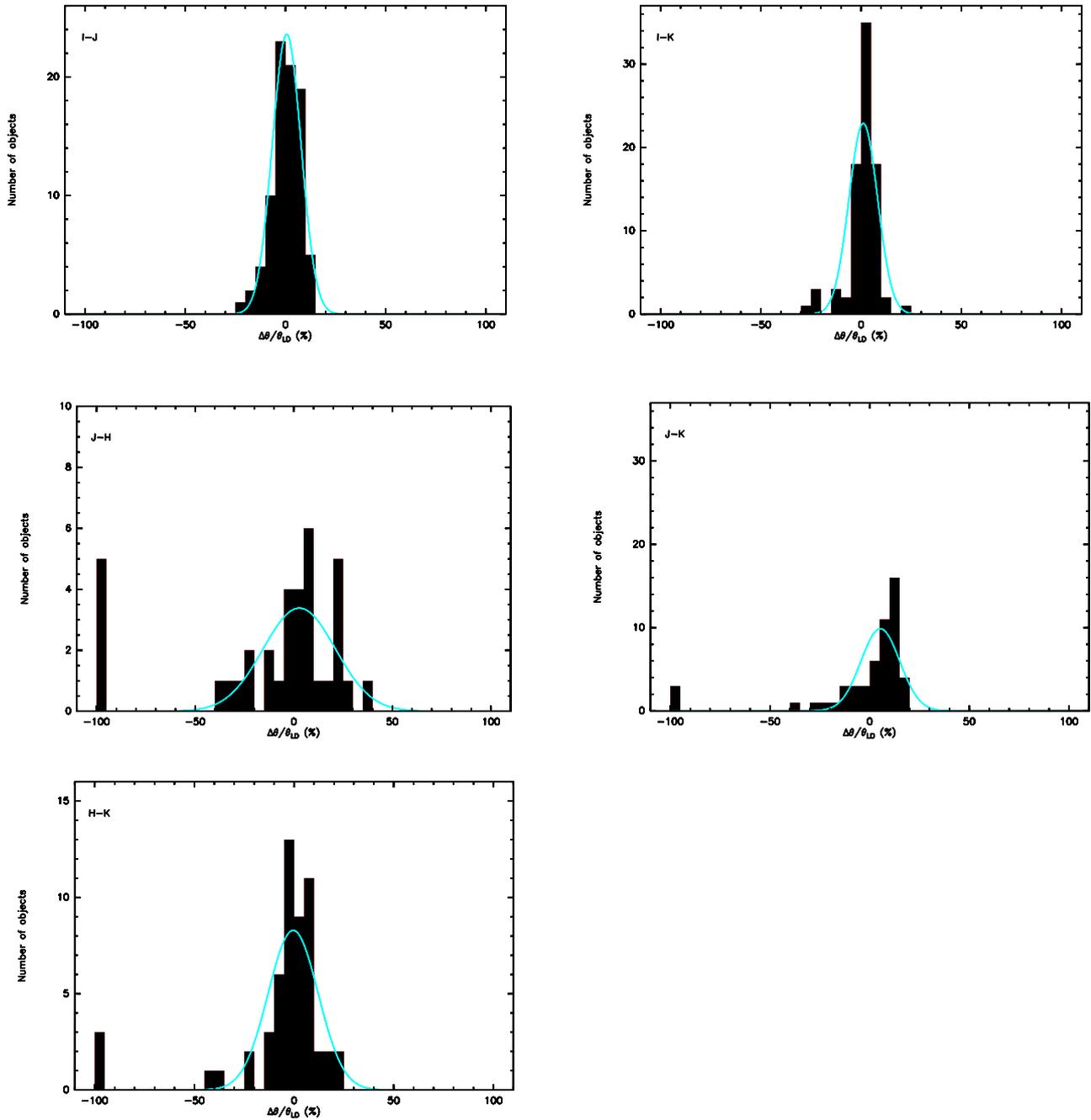


Figure 4: Histogrammes des (O-C) relatifs. Un fit gaussien y est superposé et fournit la valeur de la dispersion des (O-C).

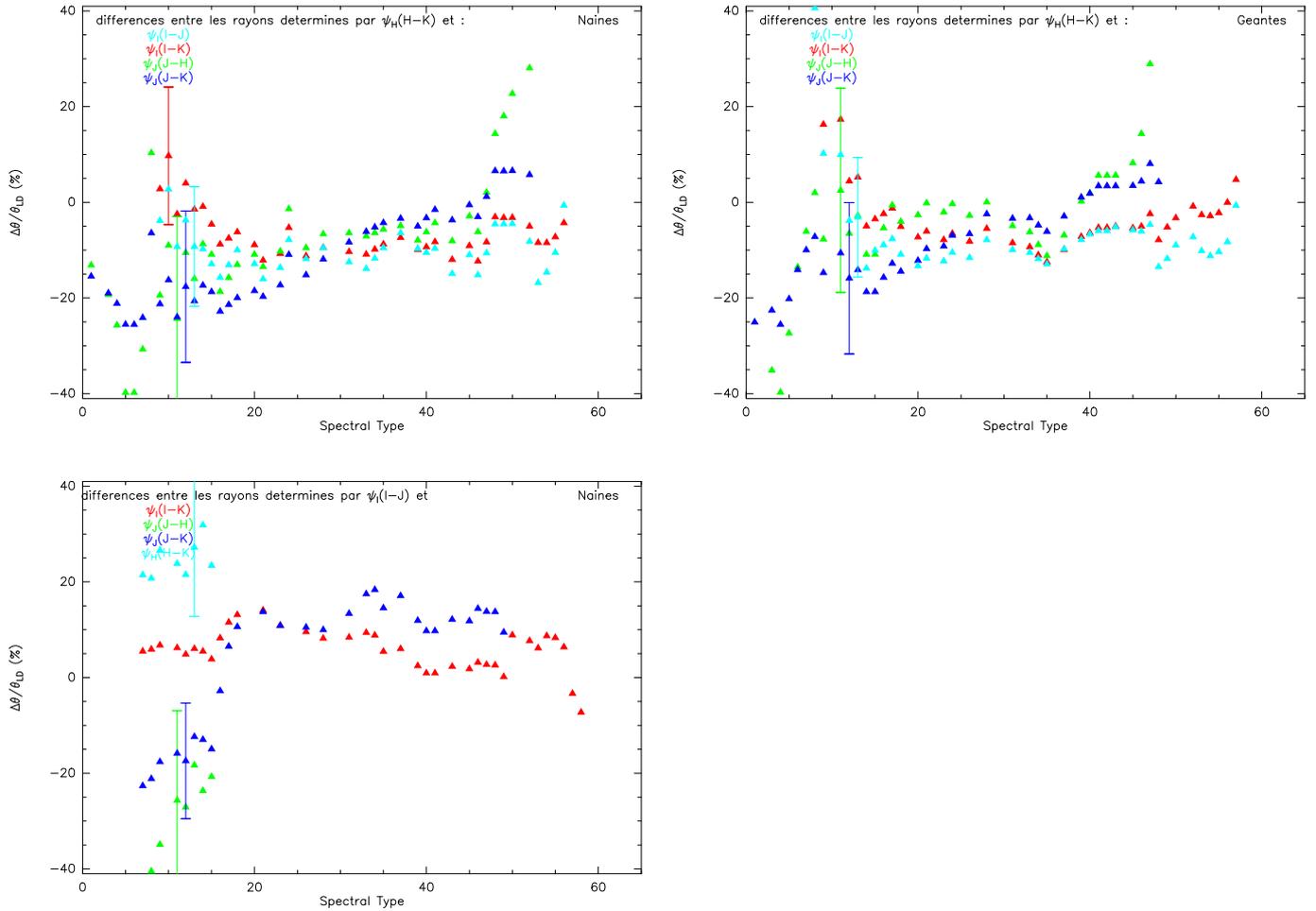


Figure 5: Cohérence interne des relations. Les diamètres angulaires sont calculés pour des étoiles ayant les couleurs données dans les tables photométriques (en cousins) JMMC-MEM-2600-0006, à partir de $\psi_I(I-J)$, $\psi_I(I-K)$, $\psi_J(J-H)$, $\psi_J(J-K)$ et $\psi_H(H-K)$. Les différences relatives entre les rayons déterminés sont représentés en fonction du type spectral pour les 3 classes de luminosités. Le codage du type spectral est donné dans la table 2.

Type spectral	code
O5 à O9	1 - 5
B0 à B9	6 - 15
A0 à A9	16 - 25
F0 à F8	26 - 34
G0 à G9	35 - 44
K0 à K7	45 - 52
M0 à M8	53 - 61

Table 2: Codage du type spectral utilisé dans la figure 5

A Annexes : equations de transformation de couleurs

Les transformations photométriques pouvant être une source d'erreurs, il est ici décrit en détails le passage des données brutes aux données utilisées directement pour la détermination des relations liant la photométrie aux diamètres angulaires.

A.1 $\Psi_I(I - J)$

A.1.1 Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)

I-J

La transformation $(I - J)_J$ en $(I - J)_c$ n'est pas directe et nécessite une décomposition sur plusieurs couleurs :

$$(I - J) = (V - K) - (V - R) - (R - I) - (J - K) \quad (10)$$

avec les transformations :

Si $(V - R)_J < 1.21$ (Bessell 1983) :

$$(V - R)_c = 0.715(V - R)_J - 0.02 \quad (11)$$

Si $(V - R)_J > 1.21$ (Bessell 1983) :
pour les naines :

$$(V - R)_c = 0.6(V - R)_J + 0.12 \quad (12)$$

pour les géantes :

$$(V - R)_c = 0.5(V - R)_J + 0.24 \quad (13)$$

Si $(R - I)_J < 0.63$ (Bessell 1983) :

$$(R - I)_c = 0.84(R - I)_J + 0.035 \quad (14)$$

Si $(R - I)_J > 0.63$ (Bessell 1983) :

$$(R - I)_c = 1.045(R - I)_J - 0.094 \quad (15)$$

Bessell & Brett (1988) :

$$(V - K)_{cit} = 0.992(V - K)_J + 0.03 \quad (16)$$

$$(J - K)_{cit} = 0.912(J - K)_J + 0.011 \quad (17)$$

m_I

$$m_I = m_V - (V - R)_c - (R - I)_c \quad (18)$$

$(V - R)_c$ et $(R - I)_c$ provenant des equations 11 à 15

A.1.2 Andersen(1991)

I-J

I provient de V et (V-I) directement en cousins, J est obtenu à partir de la photométrie 2MASS : Carpenter 2001 :

$$K_{cit} = K_{2mass} + 0.024 \quad (19)$$

$$(J - K)_{cit} = 0.947(J - K)_{2mass} + 0.012 \quad (20)$$

$$\Rightarrow J_{cit} = 0.947J_{2mass} + 0.053K_{2mass} + 0.036 \quad (21)$$

m_I

I provient de V et (V-I) directement en cousins.

A.2 $\Psi_J(I - K)$

A.2.1 Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)

I-K

La transformation $(I - K)_J$ en $(I - K)_c$ n'est pas directe et nécessite une décomposition sur plusieurs couleurs :

$$(I - K) = (V - K) - (V - R) - (R - I) \quad (22)$$

les transformations 11 à 16 étant utilisées pour obtenir $(V - R)_c$, $(R - I)_c$ et $(V - K)_{cit}$.

m_I

$$m_I = m_V - (V - R)_c - (R - I)_c \quad (23)$$

$(V - R)_c$ et $(R - I)_c$ provenant des equations 11 à 15

A.2.2 Andersen(1991)

I-K

I provient de V et (V-I) directement en cousins, K est obtenu à partir de la photométrie 2MASS : Carpenter 2001 :

$$K_{cit} = K_{2mass} + 0.024 \quad (24)$$

m_I

I provient de V et (V-I) directement en cousins.

A.3 $\Psi_J(J - H)$

A.3.1 Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)

J-H

Bessel et Brett (1988) :

$$(J - H)_{cit} = 0.926(J - H)_J - 0.005 \quad (25)$$

m_J

m_J provient de m_V et de $(V - J)_{cit}$ obtenu comme suit (Bessell & Brett 1988) :

$$(V - K)_{cit} - 0.992(V - K)_J + 0.03 \quad (26)$$

$$(J - K)_{cit} = 0.912(J - K)_J + 0.011 \quad (27)$$

$$\Rightarrow (V - J)_{cit} = 0.992(V - K)_J - 0.912(J - K)_J + 0.019 \quad (28)$$

A.3.2 Andersen(1991)

J-H

Carpenter (2001)

$$(J - H)_{cit} = 0.929(J - H)_{2mass} + 0.040 \quad (29)$$

m_J

Calculé avec l'équation 39.

A.4 $\Psi_J(J - K)$

A.4.1 Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)

J-K

Bessel et Brett (1988) :

$$(J - K)_{cit} = 0.912(J - K)_J + 0.011 \quad (30)$$

m_J

m_J provient de m_V et de (V-J)_{cit} obtenu avec l'équation 35.

A.4.2 Andersen(1991)

J-K

Carpenter (2001)

$$(J - K)_{cit} = 0.947(J - K)_{2mass} + 0.012 \quad (31)$$

m_J

Calculé avec l'équation 39.

A.5 $\Psi_H(H - K)$

A.5.1 Barnes et al. (1978) et Mozurkewich et al. (2003)

H-K

Bessel et Brett (1988) :

$$(H - K)_{cit} = 0.912(H - K)_J + 0.009 \quad (32)$$

m_H

m_H provient de m_V et de (V-H)_{cit} obtenu comme suit (Bessell & Brett 1988) :

$$(V - K)_{cit} - 0.992(V - K)_J + 0.03 \quad (33)$$

$$(H - K)_{cit} = 0.912(H - K)_J - 0.009 \quad (34)$$

$$\Rightarrow (V - H)_{cit} = 0.992(V - K)_J - 0.912(H - K)_J + 0.021 \quad (35)$$

A.5.2 Andersen(1991)

H-K

Carpenter (2001)

$$(H - K)_{cit} = 0.975(H - K)_{2mass} - 0.027 \quad (36)$$

mH

Carpenter 2001 :

$$K_{cit} = K_{2mass} + 0.024 \quad (37)$$

$$(H - K)_{cit} = 0.975(H - K)_{2mass} - 0.027 \quad (38)$$

$$\Rightarrow H_{cit} = 0.975H_{2mass} + 0.025K_{2mass} - 0.003 \quad (39)$$