

ASTROPHYSIQUE INSTRUMENTALE
Examen 2007-08 Session janvier 2007

SANS DOCUMENTS - UNE PAGE A4 RECTO-VERSO AUTORISEE - DUREE 2 HEURES

les 3 parties sont indépendantes. A l'intérieur d'une partie donnée, les questions peuvent la plupart du temps être traitées indépendamment. Il est conseillé de lire le sujet en entier, même rapidement, avant de démarrer.

CONSTANTES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES

σ_S	$= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$	Constante de Stefan
k	$= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$	Constante de Boltzman
h	$= 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$	Constante de Planck
e	$= 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	Charge de l'électron
c	$= 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	Vitesse de la lumière dans le vide
$1 M_\odot$	$= 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	masse solaire

BANDES PHOTOMÉTRIQUES DU VISIBLE ET DU PROCHE IR

Bande	V	R	I	J	H	K	L	M
$\lambda_o(\mu\text{m})$	0.55	0.7	0.9	1.25	1.65	2.2	3.8	4.8
$\Delta\nu(\text{THz})$	97.2	54.5	46.1					
Flux ref (Jy)	3810	2880	2240	1520	980	620	280	153
Temps de cohérence (ms)						50	100	140
Paramètre r_o (cm)						30	50	70

I- Tri d'images et rapport signal / Bruit

On s'intéresse au processus de *Lucky Imaging* (Law et al., 2007) qui consiste à recentrer pour les co-additionner des images en sélectionnant une certaine proportion des $x\%$ meilleures avant co-addition. Sur une source ponctuelle, les variations de seeing au fil des images entraînent des variations d'amplitude au pic. La distribution de ces variations est représentée sur la figure 1, qui donne l'intensité du pic obtenu sur les $x\%$ meilleures ($x = 1, 10, 50, 100\%$) images de la série. L'intensité est normalisée par rapport à l'intensité obtenue en triant les 1% meilleures images.

Un exemple du résultat de la méthode est donné sur la figure 2 qui montre le résultat comparé entre une co-addition recentrée

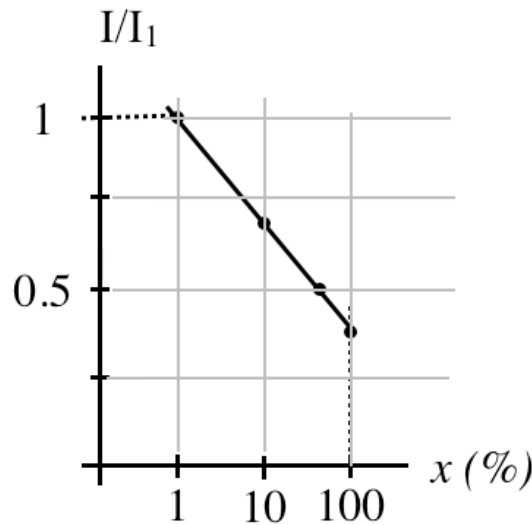


Figure 1: Variation de l'intensité du pic des sources ponctuelles après coaddition d'images en fonction de la proportion de meilleurs images retenues, normalisé au résultat obtenu en triant 1% des meilleures images.

sans tri (à gauche) et une co-addition sur les 10% meilleures images.

1- A partir de la figure 2, commentez en quelques mots l'intérêt de la méthode en indiquant sur quels paramètres de la mesure finale elle permet de gagner

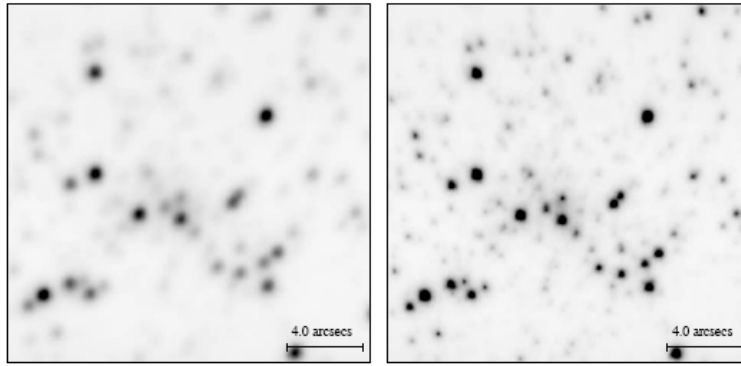


Figure 2: Comparaison entre co-addition sans tri (gauche) et avec tri des 10% meilleures images (droite).

2- Quelle intensité au pic obtient-on en additionnant toutes les images sans en trier aucune ? On note N le nombre total d'images de la série, et SNR_{100} le rapport signal à bruit obtenu en additionnant toutes les images sans les trier.

Pour simplifier, on suppose que la mesure est limitée par un bruit constant par image.

3- Calculer, en fonction de SNR_{100} le rapport signal/bruit obtenu si on trie la meilleure moitié des images ? Si on trie les 10 % meilleures ? Les 1 % meilleures ?

4- Conclure sur la question précédente selon qu'on privilégie le rapport signal/bruit ou la qualité d'image au final.

II- Rougir et Dérougir

La présence de poussières interstellaires a pour effet de rougir le rayonnement reçu d'étoiles éloignées. La figure 3 donne la variation de la section efficace de la poussière interstellaires entre les bandes V et K.

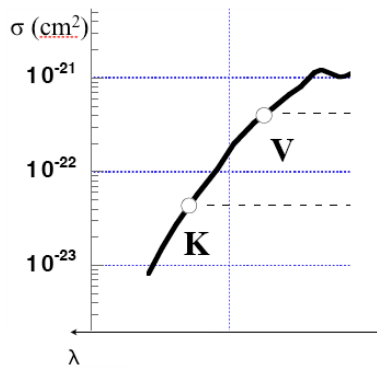


Figure 3: Section Efficace (en cm^2) de la poussière interstellaires de la bande V ($0.55 \mu\text{m}$) à la bande K ($2.2 \mu\text{m}$).

0 Qu'appelle t-on rougissement du rayonnement ?

1- Montrer que le coefficient d'absorption α (qui intervient dans l'équation de transfert $dI = -\alpha I ds$) du milieu traversé est 10 fois plus fort dans la bande V que dans la bande K.

2- Proposer une interprétation physique de cet effet.

Si I_{V_o} est l'intensité du rayonnement avant absorption dans la bande V (respectivement I_{K_o}), on note $A_V = -2.5 \log(I_V/I_{V_o})$ le terme d'absorption (en magnitude). le logarithme utilisé ici est le logarithme décimal.

3- Montrer qu'on a alors $A_K = A_V/10$.

En pratique, on utilisera par la suite la table de valeurs publiées par Rieke & Lebofski (1985) dans le proche infrarouge : $A_J/A_V = 0.28$; $A_H/A_V = 0.17$; $A_K/A_V = 0.11$.

On travaille maintenant sur le diagramme couleur-couleur J-H/H-K d'un ensemble d'étoiles observées à travers un nuage de poussières interstellaire. On utilisera la figure 5 où on a porté la position des étoiles de la séquence principale. Cette figure (feuille séparée) est à rendre avec la copie.

4- On considère une étoile de magnitudes non rougies V_o, J_o, H_o, K_o , vue à travers une absorption $A_V = 5$. Calculer les magnitudes V, J, H, K de l'étoile après rougissement. Calculer également le rougissement $J - H$ et $H - K$ (indices de couleur) subi par l'étoile dans le proche infrarouge.

5- Tracer sur le diagramme 5 le vecteur qui trace le rougissement d'une étoile K7 à travers une absorption $A_V = 10$, depuis la séquence principale. A quelle longueur (en cm) cela correspond-il ?

On considère maintenant un objet correspondant au point de mesure $M(0.9; 1.9)$ dans le diagramme de la figure 5 après rougissement. On suppose que l'étoile appartient à la séquence principale et on souhaite estimer son type spectral ST et son rougissement A_V .

6- Proposer une solution au problème posé (estimation de ST et mesure de A_V). La solution est-elle unique ? Pourquoi ?

7- Les indices de couleur permettent-ils de remonter à la distance de la source ? Quelle information supplémentaire la connaissance de A_V apporte-t-elle sur ce point ? Expliquez.

On s'interroge maintenant sur la distance à laquelle peut se trouver la source observée. Une méthode consiste à considérer en parallèle du diagramme couleur-couleur, un diagramme magnitude-couleur (CMD, cf. figure 6-b), équivalent d'un diagramme HR) de la même séquence principale, tracé en magnitude absolue $M = m - DM$.

8- Retracer sur la partie a) du diagramme figure 6 les 2 solutions trouvées précédemment. Montrer que pour chacune de ces solutions possibles, l'utilisation du diagramme CMD permet d'ajouter une information sur la distance de la source via son module de distance $DM = 5 \log(d_{pc}) - 5$. Donner les deux valeurs de DM et de la distance correspondante pour les deux solutions. La figure (feuille séparée) est à rendre avec la copie.

9- La source visée est située dans la direction du nuage moléculaire du Taureau (140 pc) ; Quel est le type spectral le plus probable de cette source ?

III- Performances de CCD

L'entreprise e2V a publié en 2007 des données préliminaires sur un nouveau CCD dont les caractéristiques sont indiquées ci-après (figure 4).

On se propose de déterminer quelques unes des performances de ce nouveau détecteur, en supposant qu'il est utilisé à 173 K, au foyer d'un télescope de 4 m, dans la bande photométrique R du visible ($h\nu(R) \approx 3 \cdot 10^{-19}$ J).

1- Deux types de CCD sont disponibles : BB ou ER1 ; quel type de CCD choisirez-vous ?

2- Déterminer la capacité (pF) de l'étage de sortie.

3- Déterminer le NEP et la détectivité D de ce détecteur lorsqu'on effectue des poses de 1 seconde. Si on effectue des poses de 1 seconde, on peut considérer que la bande passante du système électronique d'acquisition est de 1 Hz. Déterminer alors la détectivité réduite D^* .

4- A partir des données constructeur, déterminer la magnitude R atteinte à 3σ en 5 mn de temps de pose. On détaillera les calculs et les hypothèses avec soin.

5- Quel sera le champ de vue du détecteur si l'ouverture du foyer est de $f/4$?

6- En combien de temps le détecteur sera-t-il saturé par le courant d'obscurité ? Conclusion.

SUMMARY PERFORMANCE (TYPICAL)

Number of pixels	4096(H) x 4112(V)
Pixel Size	15 μm square
Image area	61.4 mm x 61.4 mm
Outputs	4
Package size	63.00 x 69.00 mm
Package format	Silicon Carbide with two flexi connectors
Focal plane height, above base	15.0 mm
Height tolerance	$\pm 10 \mu\text{m}$
Connectors	Two 37 way micro-D
Flatness	<20 μm (Peak to Valley)
Amplifier Sensitivity	7 $\mu\text{V/e}$
Readout noise	5 electrons at 1MHz 2 electrons at 50kHz
Maximum pixel data rate	3 MHz
Charge storage (pixel full well)	350,000 electrons
Dark signal	3 electrons/pixel/hour (at -100°C)

Typical QE at -100°C

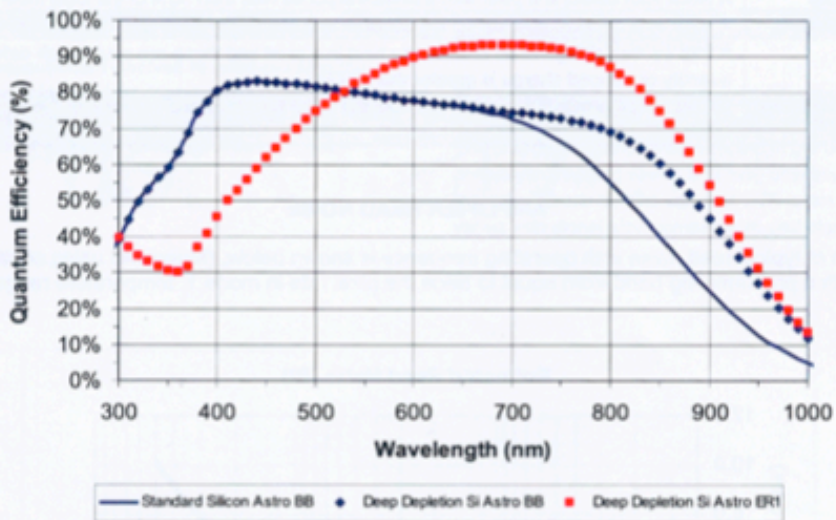


Figure 4: Performances du nouveau CCD e2V publiées en 2007

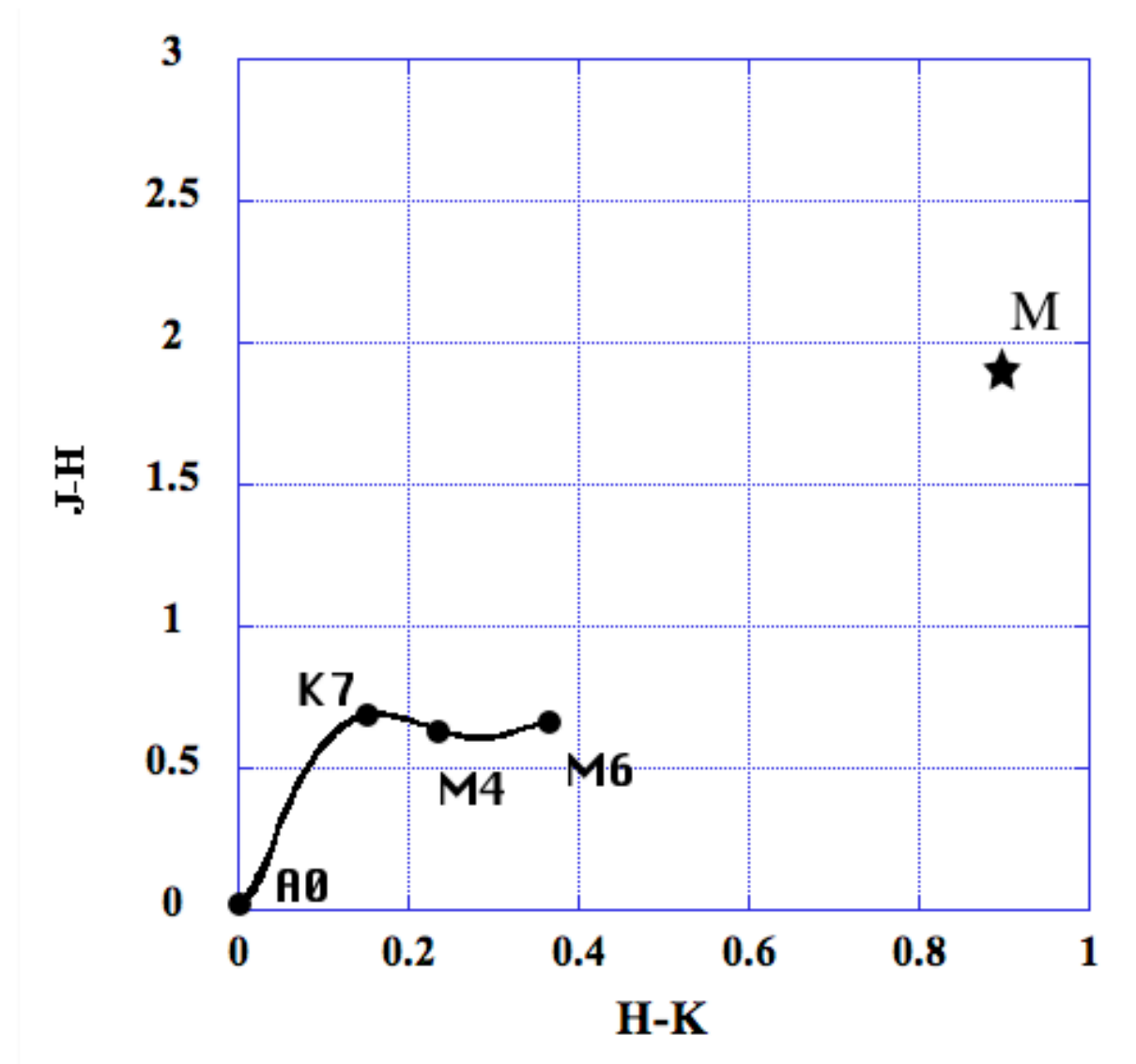


Figure 5: Diagramme couleur-couleur générique J-H/H-K. La courbe trace la position des indices de couleur des étoiles de la séquence principale, du type A0 ($J - H = H - K = 0$) jusqu'au type M6. A RENDRE AVEC LA COPIE

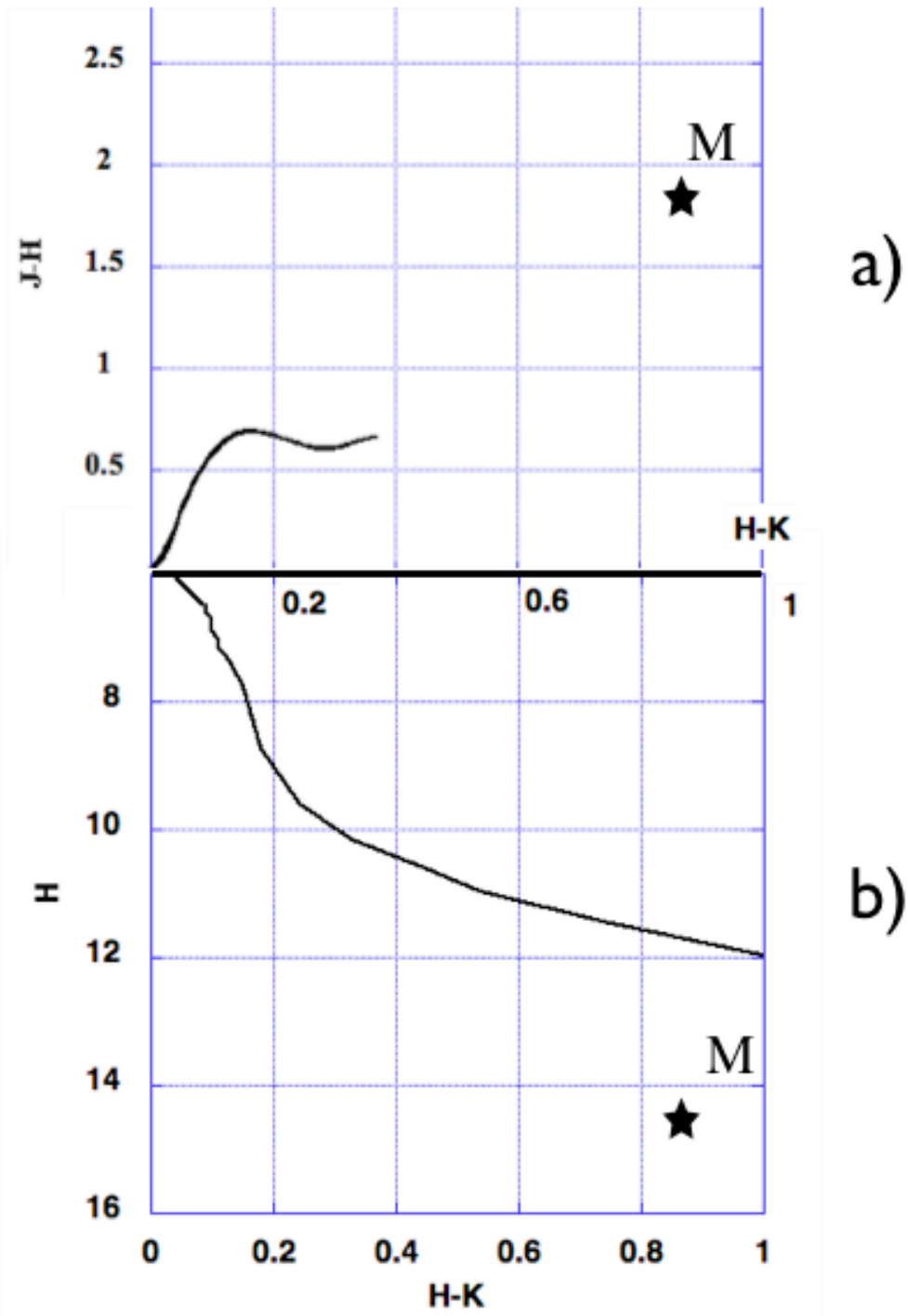


Figure 6: Diagramme couleur-couleur J-H/H-K combiné avec un diagramme Couleur-magnitude H/H-K. A RENDRE AVEC LA COPIE