

Master-2 Astrophysique - INSTRUMENTATION

Examen 2004 - 2005 CORRECTION

-I-

0) Bande passante du filtre J en Hz : $\Delta\nu = c\Delta\lambda/\lambda^2 = 46.1 \cdot 10^{12}$ Hz.

1) Le flux correspondant à $m_{1\sigma}$ est :

$$F_1 = F_J^o \times 10^{-m_{1\sigma}/2.5} \text{ (Jy)}$$

Le nombre de photons correspondant est :

$$N_{1\sigma} = F_1 \times 10^{-26} \times S \times \Delta\nu \times 60/h\nu_J^o = 280 \text{ photons}$$

2) Le détecteur détecte $n_{e1} = N_{1\sigma} \times \tau \times \eta$ électrons, correspondant à un rapport signal/bruit égal à 1. Le nombre d'électrons détectés est donc

$$n_{e1} = 280 \times 0.2 \times 0.6 = 34 e$$

3) Le rapport signal sur bruit vaut :

$$S/N = \frac{n_{e1}}{\sqrt{n_{e1} + \sigma^2}} = 1$$

. Le problème consiste à trouver le bruit σ qui résoud cette équation pour signal = 34 électrons. On trouve $\sigma = 33.5 e$, avec un bruit de signal valant $\leq 6 e$. Donc on est dominé par le bruit de détecteur.

4) Pour une pose de 5 mn, le bruit de lecture est $\sigma = 34 e$; le signal vaut $S = 34 \times 5 = 170$. Le bruit sur la mesure vaut donc $N = \sqrt{S + \sigma^2} \approx 36$, et $S/N \approx 4.7$.

-II-

1) Si N est le nombre total d'électrons sous la PSF (donné par la magnitude de la source), l'amplitude A (en électrons / pixel) de la gaussienne se calcule comme $A \approx 0.9N/\varpi^2$. Pour N=280 électrons, (cf partie 1) et un seeing de FWHM = 4 pixels, on a : $A \approx 0.9 \times 280/16 \approx 16 e$ dans le pixel central.

2) A une distance égale à 2 fois le seeing, la fonction de gauss vaut $\exp(-8) = 3 \cdot 10^{-4}$. L'approximation paraît raisonnable.

3) La PSF est prise en compte sur $n_{\text{PSF}} \approx 50$ pixels ($\pi d^2/4$, avec $d=8$ pixels). Le bruit sous la PSF vaut $\sigma_{\text{PSF}} = \sigma \times \sqrt{n_{\text{PSF}}} \approx 240 e$. Pour avoir S/N=1, il faut une magnitude $m_{1\sigma}^{\text{PSF}} = m_{1\sigma} - 2.5 \log(240/34) = 25 - 2.1 = 22.9$. La magnitude correspondant à la PSF est plus faible (signal nécessaire plus fort) parce que la PSF est étalée sur plus de pixels et recupère donc plus de bruit.

-III-

1) le rapport de flux vaut $r = 10^{-0.4 \times (20-5)} = 10^{-6}$.

2) Module de distance à 100 pc : DM=5. L'histogramme est plat mais pour des magnitudes comprises entre 10 et 25.

3) Si la magnitude (PSF) à 1σ vaut 22.9, on détecte 10% des étoiles de magnitudes 22.9 et pratiquement plus aucune au delà, 60% des étoiles de magnitudes $22.9 - 2.5 \log(2) = 22.1$ et 95% des étoiles de magnitude $22.9 - 2.5 \log(3) = 21.7$ et en deçà.

4) En fait cette approche est très approximative et incomplète : elle n'explique pas comment on détecte une source. En pratique, une source est détectée si le signal sous la PSF vaut 3σ , mais on tient aussi compte d'informations complémentaires (comme la forme de la source, etc.). Une méthode de calcul de la complétude pourrait être de simuler des sources gaussiennes de magnitudes variables et de vérifier ensuite quelle proportion est détectée, pour un bruit donné, sans faire d'a priori sur les chances de détection.

5) L'histogramme augmente quasi exponentiellement lorsque la magnitude augmente car les étoiles de faible masse (faible magnitude) sont beaucoup plus nombreuses que les sources brillantes. L'histogramme est coupé brutalement à l'approche de la magnitude limite.

6) La limite de complétude est comprise entre 15 et 16, et la magnitude limite de l'ordre de 17.

-IV-

1) $1 \text{ arcsec}^2 = 25 \text{ pixels}$. Chaque pixel reçoit donc un flux correspondant à une magnitude $= 16 + 2.5 \log 25 = 19.5$. En une minute, le fond reçu est :

$$1520 \times 10^{-19.5/2.5} \times 10^{-26} \times 10 \times 46.08 \times 10^{12} \times 60 \times 0.2 \times 0.6 / 1.510^{-19} = 5320e$$

Le bruit du au signal de fond de ciel ($\sqrt{5320} = 73$) domine donc toute la mesure.