

ASTROPHYSIQUE INSTRUMENTALE Examen 2013-2014

Session Janvier 2014 - CORRECTION

- Filtre N : $\lambda_o \approx 10 \mu\text{m}$; $\Delta\lambda \approx 1 \mu\text{m}$; $h\nu_o \approx 1.9 \cdot 10^{-20} \text{ J}$; $F_o(m=0) \approx 37 \text{ Jy}$

1- Emission thermique [10]

1.1 Le grandissement du montage optique reste le meme si les pixels gardent la meme taille. Le champ de vue augmente.

1.2 $2 \text{ arcmin} \times 2 \text{ arcmin}$ environ

1.3 La taille physique du pixel est égale au produit de f_{eq} par l'échelle focale $\rightarrow f_{\text{eq}} = 30 \cdot 10^{-6} / (0.127 \times 4.85 \cdot 10^{-6}) = 48.7 \text{ m}$. Le système sera ouvert à $f/6$ (rapport f_{eq}/D).

1.4 $BE = S(\text{tel}) \times \Omega(0.127'') = 50 \times 3.8 \cdot 10^{-13} = 1.9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{sr}$

1.5 Pour une atmosphère froide et transparente, ces paramètres sont acceptables.

1.6 Pour que l'émission parasite puisse être considérée comme provenant du ciel uniquement, il faut que le montage optique soit tout d'abord refroidi, ce qui est indispensable pour observer à $10 \mu\text{m}$, et ne 'voie' pas autre chose que le ciel. On obtient ce résultat en réalisant une image de la pupille dans le train optique et en plaçant un diaphragme froid autour de cette image.

1.7 L'émission de fond de ciel est déterminée par les fluctuations de température, de quantité de vapeur d'eau, de la turbulence, par le déplacement global des masses d'air (vent), par les variations nocturnes à grande échelle, par la masse d'air à laquelle pointe le télescope, etc. En terme de temps, les variations à la seconde dépendent de la turbulence, du vent (qui peut atteindre plusieurs m/s). A la minute, il y a les variations un peu plus lentes des propriétés du montage optique et / ou du télescope ; heure par heure, on subit les variations nocturnes des propriétés de l'atmosphère ; jour et mois sont moins pertinents pour l'observateur, à part la statistique de la météo mais ce n'est pas un terme qu'on peut compenser en tempos réel... On doit mesurer le fond de ciel voisin par modulation à quelques Hertz.

1.8 On prendra un rendement quantique de 50%. Le flux donne la fonction B_λ en le divisant par π ($F_\lambda = \pi B_\lambda$). Chaque pixel voit donc une brillance de fond de ciel $B_\lambda \approx 3 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, ce qui correspond à $1.5 \cdot 10^9 \text{ e/sec}$ pour une étendue de faisceau de $1.9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{sr}$ et une largeur de bande de $1 \mu\text{m}$. Si on prend en compte l'émissivité de 0.8, cela porte le niveau à $1.2 \cdot 10^9 \text{ e/sec}$.

1.9 à mi dynamique, on stocke $N_S \approx 510^6 \text{ e}$ par pixel (essentiellement du au fond de ciel), ce qui correspond à un bruit statistique de l'ordre de 2200 e. On est donc loin au dessus du bruit du détecteur Aquarius qui peut être considéré comme parfait sur ce plan là.

1.10 Les détecteurs Aquarius peuvent donc être considérés comme parfaits du point de vue de la valeur du bruit de lecture.

1.11 Le niveau de fond est déterminé par l'étendue de faisceau vue par chaque pixel. Il augmente avec la surface (le diamètre D) du télescope : $N_B \propto D^2$. Il diminue si la résolution angulaire augmente.

1.12 $N_B \propto D^2 \times \lambda^2 / D^2 \approx \lambda^2$. A la limite de diffraction l'étendue de faisceau d'un pixel est sensiblement égale à λ^2 , indépendante du diamètre du télescope.

1.13 Pour une source ponctuelle, le signal augmente avec la surface et avec la résolution angulaire, contrairement à une source étendue. C'est donc pour les sources ponctuelles que les très grands télescopes sont imbattables.

1.14 Fréquence de lecture pixel $\approx 100 \text{ MHz} / 64 \approx 1.5 \text{ MHz}$

1.15 Pour coder toute la dynamique ($10^7/15$), il faut un peu plus de 18 bits.

2- Résolution angulaire [6]

2.1 Chaque pixel doit échantillonner $\lambda/2D$.

2.2 La théorie de formation des images à travers une atmosphère turbulente suivant le spectre de Kolmogorov prévoit qu'une source ponctuelle donne une image de profil en $\exp(x^{-5/2})$, proche de $\exp(x^{-2})$ ($x = \varpi/2$).

2.3 $\varpi = \lambda/r_o = \lambda/D \times D/r_o = \sqrt{N}\lambda/D$.

2.4 Si on est limité par le bruit de lecture, $SNR \propto 1/\varpi^2$; par le bruit de photons : $SNR \propto 1/\varpi$.

2.5 Augmentation de la résolution angulaire accessible et augmentation du SNR.

Quels sont alors selon vous les deux principaux avantages apportés par l'utilisation de l'optique adaptative ?

2.6 Si le rapport signal/bruit est égal à 20 sur le pixel central de la PSF, quelle est sa valeur à 5 pixels du centre pour un seeing de $0.9''$?

On considère maintenant une image partiellement corrigée par l'optique adaptative. L'image d'une source ponctuelle est constituée d'un pic (approximation gaussienne) de largeur λ/D superposé à un halo (approximation gaussienne) de largeur λ/r_o (figure 1).

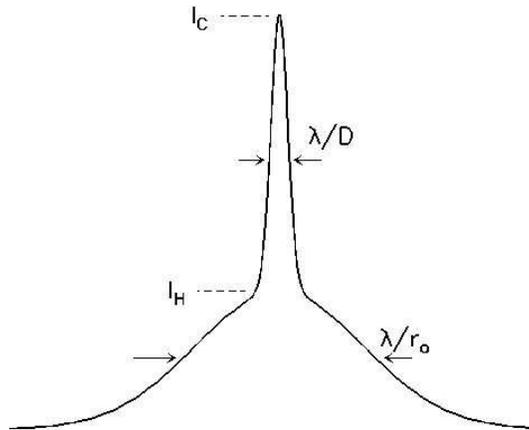


Figure 1: PSF de source ponctuelle partiellement corrigée par l'optique adaptative

On définit le rapport de Strehl Sr comme le rapport entre l'énergie lumineuse contenue dans le pic central sur l'énergie totale (pic central + halo résiduel) ; on définit le contraste C comme le rapport de l'intensité au pic I_C sur l'intensité du Halo I_H .

2.7 Justifiez la définition du contraste ci-dessus.

2.8 Démonstration effectuée dans le poly.

3- Rapport Signal à Bruit [3]

On considère les résultats de simulation de performances de l'imagerie SUSI sur le NTT (diamètre 3.50 m à La Silla) :

```
Source geometry: Seeing limited
  Magnitude      : 23 mag
  Magnitude band: I
Sky Conditions
  Days from new moon: 3
  Sky Brightness  : 18.8 mag/arcsec2
  Airmass         : 1.6
  Seeing          : 0.8 arcsec
Instrument Setup
  Filter : Z
  Detector CCD#455 in fast read mode with binning 1
```

Spatial distribution	:	Point source
Probability of realisation of seeing	:	38.095 %
Exposure time	:	4998.350 seconds
Signal to Noise over the PSF area	:	20.000
Number of pixels for PSF area	:	304.000 pixels
Plate scale	:	0.081 arcsec / pixel
Electrons in the PSF area (object only)	:	28965.901 e-
Sky background value	:	6768.581 e-/pixel
Read-out noise level	:	6.000 e-/bin
Peak pixel value (object+sky)	:	7032.112 e-
Detector dark current	:	0.100 e-/pixel/hour
Detector saturation level	:	120000.000 e-
Signal to noise at central pixel	:	3.135

3.1 Sous la PSF : signal = 28966 ; bruit = $\sqrt{28966 + 304 \text{ (pixels)} \times 6769 + 304 \times 36 \text{ (RON)}}$. SNR = 20
 Au pic : signal = 7032 - 6769 ; bruit = $\sqrt{7032 + 36}$; SNR = 3.14

3.2 Le calcul sous la PSF implique beaucoup plus d'électrons donc un résultat statistiquement bien plus significatif.

3.3 Le bruit de fond domine, ce qui semble normal pour une observation à long temps de pose dans la bande Z (1 μm),

3.4 Si le seeing se dégrade, le signal reste constant et le bruit augmente comme le nombre de pixels impliqués sous la PSF.
 Le $\text{SNR}(2'') = \text{SNR}(0.8'') / (2/0.8)^2 = 3.2$