

ASTROPHYSIQUE INSTRUMENTALE Examen 2013-2014

Session Janvier 2014

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

Les différents exercices sont indépendants. A l'intérieur d'une partie donnée, les questions peuvent souvent être traitées indépendamment. Il est conseillé de parcourir le sujet en entier, même rapidement, avant de démarrer. Enfin, il est recommandé de rédiger et d'indiquer comment vous envisagez d'aborder chaque question posée, avant de poser des équations.

PRESENTATION NOTEE SUR 1 POINT. Un bareme indicatif est mentionné.

CONSTANTES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES

σ_S	$= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$	Const. Stefan	1 AU	$= 150 \cdot 10^6 \text{ km}$	Unité Astronomique
k	$= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$	Const. Boltzman	1 M_\odot	$= 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	Masse solaire
h	$= 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$	Const. Planck	1 L_\odot	$= 3.86 \cdot 10^{26} \text{ W}$	L Solaire
e	$= 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	Charge électron	1 R_\odot	$= 7 \cdot 10^8 \text{ m}$	R Solaire
c	$= 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	vitesse lumière	1 pc	$= 3.1 \cdot 10^{16} \text{ m}$	parsec
ϵ_o	$= 8.84 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$	Permittivité vide	1 an (moyen)	$= 3.16 \cdot 10^7 \text{ s}$	année moyenne
G	$= 6.7 \cdot 10^{-11} \text{ J.m.kg}^{-2}$	Const. Gravitation	1 AL	$= 9.5 \cdot 10^{15} \text{ m}$	Année Lumière
m_p	$= 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	Masse proton	T_\odot	$= 6000 \text{ K}$	T surface soleil

- 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]

En mai 2012, la mise à niveau du détecteur de l'instrument VISIR (sensible à $10 \mu\text{m}$) sur UT3 a démarré. Elle visera à remplacer un détecteur BIB 256×256 par des détecteurs de type Aquarius 1024×1024 avec des pixels de taille $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$, une capacité totale de 10^7 e , et un bruit de lecture de 200-300 e.

L'échelle focale par pixel ne changera pas : 0.127 arcsec / pixel

- 1.1 Qu'est-ce que cela implique sur le montage optique de l'instrument ?
- 1.2 Quel sera le champ de vue de VISIR avec les nouveaux détecteurs ?
- 1.3 Quelle sera la focale équivalente f_{eq} du nouveau système ? Quelle en sera l'ouverture ?
- 1.4 Quelle est l'étendue de faisceau vue par chaque pixel du détecteur ?

On suppose que le flux parasite à $10 \mu\text{m}$ ne provient que de l'émission de fond de ciel, considéré comme un corps gris d'émissivité $\epsilon = 0.8$ et de température 250 K.

- 1.5 Commentez le choix de ces paramètres pour décrire l'émission atmosphérique.
- 1.6 Indiquez rapidement quelle caractéristique du montage instrumental peut permettre de se placer effectivement dans les conditions supposées.
- 1.7 Indiquez comment varie à votre avis avec le temps l'émission de fond de ciel dans le modèle ci-dessus selon les échelles suivantes : seconde, minute, heure, jour, mois, en indiquant les raisons physiques qui peuvent être à l'origine des variations concernées. A quelle fréquence doit-on mesurer l'émission du fond de ciel pour pouvoir la compenser ?
- 1.8 Donner une estimation du fond de ciel (en électron / seconde) vu par chaque pixel du détecteur si on observe avec un filtre centré à $10 \mu\text{m}$ et de largeur $1 \mu\text{m}$. Pour ne pas se lancer dans des calculs fastidieux, on pourra estimer la brillance du fond en considérant que le flux F_λ d'un corps noir de 250 K à $10 \mu\text{m}$ est de l'ordre de $10 \text{ W}.\mu\text{m}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

- 1.9 En déduire le bruit de lecture en deçà duquel le détecteur pourra être considéré comme parfait si on travaille à mi-dynamique.

1.10 Les détecteurs Aquarius sont donnés pour un bruit de lecture de 200 à 300 électrons ; conclusion.

1.11 Indiquez comment varie le niveau de background avec le diamètre du télescope ? Avec la résolution angulaire par pixel ?

1.12 En déduire que si on observe à la limite de diffraction, le niveau de fond parasite par pixel ne dépend plus du diamètre du télescope utilisé.

1.13 En conclure pour quel type de sources (ponctuelle ou étendue) l'utilisation des très grands télescopes est sans concurrence à 10 microns ?

Le détecteur Aquarius permet de stocker de l'ordre de 10^7 électrons par pixel. La vitesse de lecture est telle que l'on peut lire 100 images par seconde.

1.14 Sachant qu'il y a 64 sorties en parallèle, quelle est la fréquence avec laquelle on lit chaque pixel du détecteur ?

1.15 Si le gain du système est de 15 e/ADU, sur combien de bits faut-il convertir le signal en sortie ?

2- Résolution angulaire [6]

On observe une source ponctuelle produisant sur un détecteur un flux total F (en électrons). L'échantillonnage du plan focal est calculé de telle sorte que l'on puisse obtenir des images à la limite de diffraction.

2.1 Donner l'échelle focale en arcsec/pixel pour des observations effectuées à la longueur d'onde λ sur un télescope de diamètre D .

• Dans un premier cas, la qualité d'image est limitée par le seeing dans des conditions de turbulence correspondant à $(D/r_o)^2 = N$ (r_o paramètre de Fried, N : nombre de cellules de turbulence sur la pupille). On note ϖ la largeur à mi-hauteur de la tache de seeing (FWHM).

2.2 Justifiez rapidement que l'on puisse considérer la forme de la PSF comme une gaussienne de largeur à mi hauteur égale à ϖ .

2.3 Pour un nombre N de cellules de turbulence donné, exprimer la valeur de ϖ en fonction de la limite de diffraction du télescope D/λ .

2.4 Indiquer comment varie en fonction de ϖ le rapport signal/bruit par pixel au centre de la PSF lorsqu'on est limité : par le bruit de lecture σ ? par le bruit de photons ?

Dans chacun des cas ci-dessus, que gagne t-on lorsque la turbulence s'améliore et que le nombre de cellules de cohérence sur la pupille passe de N à $N/2$?

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

2.6 On suppose que l'image est échantillonnée à 3 pixels par tache de seeing. Si le rapport signal/bruit est égal à 20 sur le pixel central de la PSF, quelle est sa valeur à 3 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).

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 Montrez que le contraste peut s'exprimer comme

$$C = \frac{Sr}{1 - Sr} \cdot N^2 \quad (1)$$

On utilisera en la justifiant rapidement l'approximation $F \approx A \cdot \varpi^2$ qui donne le flux F sous une gaussienne en fonction de son amplitude A et de sa largeur à mi-hauteur ϖ .

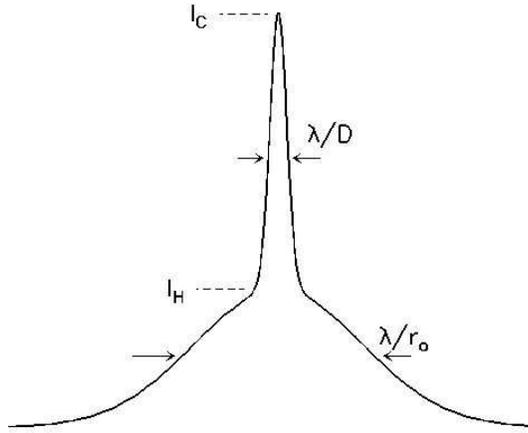


Figure 1: PSF de source ponctuelle partiellement corrigée par l'optique adaptative

3- Rapport Signal à Bruit [3]

On considère les résultats de simulation de performances de l'imageur 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 Vérifier la valeur SNR_{PSF} du SNR sous la PSF et au pixel central SNR_{pic} en explicitant bien les expressions littérales et la signification physique des différents termes intervenant dans le calcul, ainsi que les approximations éventuelles réalisées.

3.2 Pourquoi a-t-on $SNR_{pic} < SNR_{PSF}$?

3.3 Quel est le terme de bruit dominant ? Cela vous semble-t-il normal ?

3.4 Calculer SNR_{PSF} pour un seeing de 2 arcsec.