

ASTROPHYSIQUE INSTRUMENTALE
Examen 2009-2010 Session Décembre 2009

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

Les 2 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.

PRESENTATION NOTEE SUR 1 POINT. le bareme est indiqué.

CONSTANTES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES

σ_S	$= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$	Constante de Stefan
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

BANDES PHOTOMÉTRIQUES DU VISIBLE ET DU PROCHE IR

Bande	V	R	I	J	H	K	L	M
$\lambda_o(\mu m)$	0.55	0.7	0.9	1.25	1.65	2.2	3.8	4.8
$\Delta\nu(\text{THz})$	97.2	54.5	81.5	40.1	41.9	21.1		
Flux ref (Jy)	3810	2880	2240	1520	980	620	280	153
Paramètre de Fried r_o (cm)	10					50	90	130
Energie d'un photon (10^{-20} J)					11.4	8.5	5.2	

On rappelle que la relation entre la valeur au pic A et l'intégrale sous la courbe F d'une gaussienne de largeur à mi hauteur ϖ est :

$$A \approx \frac{F}{\varpi^2}$$

A est exprimé en électrons/pixel (ou ADU/pixel) ; F en électrons (ou ADU) ; ϖ^2 est en (surface de) pixel.

I- Observations à haute énergie [7]

Pour simplifier, on considère dans cet exercice que dans tous les cas pratiques d'observation à haute énergie (X et γ), on détecte un photon incident par son interaction avec un milieu matériel (gaz et fils, semiconducteur, etc.) provoquant un "coup" qui arrache des électrons (*electron cloud*) qui sont ensuite lus et comptés par un dispositif électronique connecté au détecteur. On supposera également que le nombre N d'électrons collectés pour chaque "coup" est directement proportionnel à l'énergie E du photon incident.

1) Justifiez cette dernière hypothèse et indiquez comment elle permet d'envisager la spectroscopie des photons γ sans dispositif dispersif.

Le comptage des électrons lus dans un pixel du détecteur prend un certain temps, déterminé par les performances de l'électronique. La correspondance $E(N)$ décrite ci-dessus suppose qu'on analyse le nuage électronique dans un temps Δt inférieur à l'intervalle de temps d'arrivée entre 2 photons. Si deux photons d'énergie E_1 et E_2 tombent dans le même pixel avant lecture, on lira un seul événement d'énergie $E = E_1 + E_2$. C'est le phénomène d'"empilement" des photons (*pile-up*).

2) Si $\Delta t = 0.5$ seconde, pour quel flux de photons par pixel se manifeste le phénomène de pile-up ? On suppose que l'on considère des photons de 1 keV collectés par le satellite XMM, avec une surface collectrice $S_{\text{XMM}} = 1500 \text{ cm}^2$; A quel flux (en W.m^{-2}) correspond la limite de pile-up ?

On suppose que la source observée a un spectre $F_o(E)$ (en photon/s/m²) uniforme sur la plage de sensibilité des instruments d'XMM (0.1 - 10 keV). On suppose que F_o est supérieur à la limite de pile-up.

3) Quelle est l'influence du pile-up sur le spectre mesuré de la source ?

4) Quelle est l'influence du pile-up sur le niveau de flux mesuré à une énergie donnée ? en déduire l'influence du pile-up sur la forme mesurée de la PSF d'une source brillante.

5) Sur la figure 1, indiquer quel est à votre avis l'image de PSF qui montre le plus fort effet de pile-up ? Expliquer la forme de l'image obtenue.

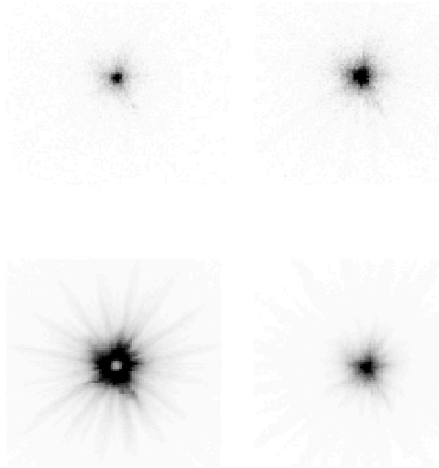


Figure 1: PSF de l'instrument EPIC sur le satellite XMM avec différents niveaux de pile-up

La "fraction de pile-up" f_p est la proportion de coups mesurés par le système quand il y a intervention d'un phénomène de pile-up.

6) f_p est-elle $>$ ou $<$ 1 ?

Sur la figure 2 où l'on compare la fraction de pile-up entre l'instrument ACIS sur le satellite Chandra et EPIC sur XMM, indiquez l'instrument qui vous semble le plus lent à réagir au phénomène de pile-up.

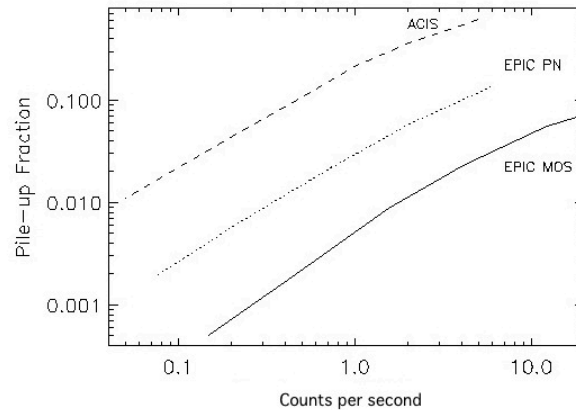


Figure 2: Fraction de pile-up pour divers instruments (ACIS : Chandra ; EPIC : XMM).

7) Si on suppose que la fraction de pile-up devient pénalisante à partir de 5%, calculer le flux maximum observable pour des photons de 1 keV, par pixel, sans dégradation pour l'instrument ACIS (surface collectrice de Chandra = 0.04 m^2) ; pour l'instrument EPIC MOS. NB. On calculera le ce flux en $\text{erg}/\text{cm}^2/\text{sec}$.

II - Fonction de transfert télescope - instrument [12]

On souhaite évaluer la transmission τ de l'atmosphère, du télescope et de l'instrument dans le cas de l'imageur infrarouge ISAAC au VLT. On considère que l'on observe une source ponctuelle de magnitude $K=17$ sous un seeing $\varpi = 0.8''$. On fait des poses de $T_{\text{int}} = 10 \text{ sec}$.

0) A partir des données dans le tableau ci-dessus, vérifier que le seeing est bien donné pour la bande K et pas V.

1) Exprimer le flux F_K (en Jy) reçu de la source dans la bande K en fonction de sa magnitude et du flux de référence à $2.2 \mu\text{m}$.

- 2) Connaissant les paramètres du télescope et du filtre K (tableau ci-dessus), en prenant en compte tous les autres paramètres qui vous semblent pertinents (et en particulier la transmission τ du système), donner l'expression littérale du nombre N_e d'électrons obtenus sous la PSF depuis la source de magnitude K.
- 3) Effectuer le calcul numérique pour $\tau = 0.1$ et un rendement quantique $\eta = 0.8$. En quoi le seeing intervient-il dans vos calculs ?
- 4) Le simulateur ISAAC de l'ESO donne les résultats suivants pour une source de magnitude K=17 (figure 3) : Comparez ces résultats à votre estimation du nombre d'électrons détectés. Quel paramètre de votre calcul pouvez-

Total exposure time	:	10.9640 seconds
Number of detector integrations (decimal value)	:	1.10 DCR
Signal-to-noise	:	20.00
Number of pixels for PSF area	:	93.00 pixels
Total number of e- in PSF area (object only)	:	39885.29 e-
Total number of e- in PSF area (object only, 1-DIT)	:	36378.43 e-/DIT
Sky bkg. value with sky lines (e/pixel, 1DIT)	:	35011.04 e-/pixel/DIT
Max. intensity at central pixel per DIT (e-, object+sky)	:	36079.42 e-/DIT
Detector saturation (e-)	:	180000 e-
Detector Readout Noise	:	10.00 e-/pixel/DIT
Plate scale in arcsec/pixel	:	0.15 arcsec/pixel

Figure 3: Résultats de simulation ETC sur l'instrument ISAAC au VLT

vous ajuster ?

En pratique, le simulateur de l'ESO fournit l'efficacité du système global sous forme graphique (figure 4) :

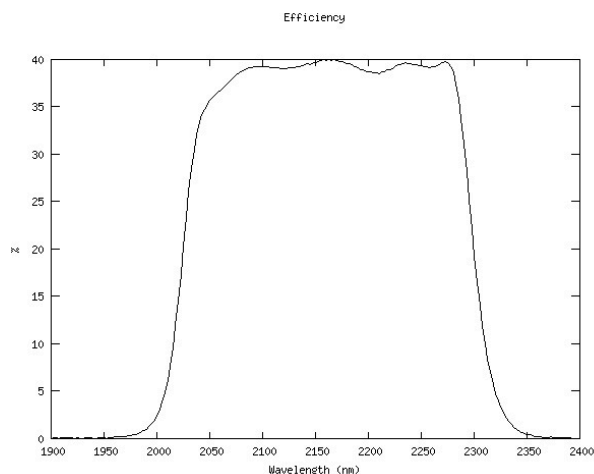


Figure 4: Efficacité globale du système ISAAC telle que fournie par le logiciel ETC de l'ESO.

- 5) Utilisez la courbe ci-dessus pour ré-évaluer la bande passante et l'énergie des photons permettant d'obtenir le nombre N_e . Quelle transmission globale obtenez-vous finalement ? Conclusion.
- 6) Donnez l'expression du rapport signal sur bruit SNR sous la PSF par pose de 10 secondes. Indiquer quel bruit (statistique ou de lecture), domine. Pourquoi n'obtient-on pas tout à fait SNR=20 ?
- 7) Estimez le signal dans le pixel central. Que devient cette valeur si on double le temps de pose ?
- 8) Quel temps de pose maximum pourra-t-on utiliser avant saturation ? Quel est le paramètre dominant dans cette limitation : Source, fond de ciel, courant d'obscurité ?
- 9) **Question subsidiaire** : quelle magnitude peut-on détecter avec un rapport signal sur bruit = 3 en posant pendant $T_{\max}/2$? Pourquoi se pose-t-on la question pour $T_{\max}/2$?