ASTROPHYSIQUE INSTRUMENTALE
Examen 2010-2011 CORRECTION Session Janvier 2011

1.1 $f(h\nu/kT) = 1/(e^{h\nu/kT} - 1)$

1.2 $S = \pi D^2/4$; $\Omega = \pi 1.22^2 \lambda^2/(4D^2)$; $S\Omega = 0.92\,\lambda^2 \approx \lambda^2$

1.3 La puissance recue en W/Hz est obtenue en multipliant la fonction de CN par l'étendue de faisceau calculee precedemment, et en faisant intervenir l'efficacite η.

1.4 Approx de RJ : $B_\nu(T) \approx 2kT/\lambda^2$. En remplacant, on obtient le resultat.

1.5 $T_{SYS} = (T_1 - \beta T_2)/(\beta - 1)$; on obtient $T_{SYS} = 300 - 154 = 146\,K$.

1.6 Le terme au carre dans le DL de I fait apparaitre V^2, V_1^2 et $2V.V_1$. Ce dernier terme produit donne un produit de fonctions sinusoidales $\cos\omega \times \cos\omega_1$ qui peut s'ecrire comme une somme de termes en $\cos(\omega - \omega_1) + \cos(\omega + \omega_1))$

1.7 Il faut un SNR de 3 pour considerer la detection comme effective : $(3 \times 120)^2/0.01 = \Delta t \times 2\,10^5$; on obtient des temps de pose de 65 secondes.

1.8 On obtient le SNR de 3 sur une pose ; on effectue la meme pose sur le fond de ciel pour soustraction, ce qui fait chuter le SNR de $\sqrt{2}$. Il faut donc au total 4x65 soit 4 minutes et 20 secondes.

1.9 Une mesure du bruit crete a crete donne 50 mK c-c (attention a ne pas prendre en compte la raies moleculaire !). Cela donne un sigma de l'ordre de 10 a 15 mK. La raie HDO fait environ 50 mK. Le rapport SNR sur la raie est de l'ordre de 3 a 5. Il est bon de confirmer ce genre de mesure par un calcul theorique qui indique ou la raie est attendue !

1.10 Les canaux ont une largeur $\Delta V \approx 2$km/s. $\Delta V/c = \Delta\nu/\nu_o$, avec $\nu_o = 464\,10^9$Hz : $\Delta\nu \approx 300\,$kHz

1.11 Entre les centres des deux raies, on mesure 25 canaux pour un intervalle de frequence de pres de 7 MHz, ce qui donne bien $\Delta\nu \approx 300\,$kHz.

1.12 En ecrivant $T_{SYS} = \sigma_T\sqrt{\Delta\nu\Delta t}$, on obtient $T_{SYS} = 15\,10^{-3}\sqrt{3\,10^5 \times 1.8\,10^4} \approx 1100$K. Cette température de bruit est nettement superieure a celle connue sur un radiotelescope a 300GHz, mais la transparence atmospherique a 460 GHz est bien moins bonne, et donc la temperature systeme (qui integre la transparence atmospherique, donc l'emission parasite) est beaucoup moins bonne.

1.13 Si la temperature de bruit est dominee par l'atmosphere, en pointant a 30 degres du zenith, on augmente T_{SYS} de $1/\cos(30) = +15\%$, ce qui augmente le temps de pose necessaire de 30% ($\Delta t \propto 1.15^2$)

2.1 RON = 2 e pour une frequence de lecture (par pixel) de 100 kHz. N pixels $= 16.8\,10^6/(4 \times 10^5) = 42\,$sec.

2.2 $15\,\mu m/f_e$ = echelle focale ; on obtient 12.4 m de distance focale pour 0.25" / pixel. Le montage est tres ouvert optiquement, ce qui n'est pas trop grave pour un montage dans le visible. On peut echantillonner jusqu'a $\varpi = 0.5''$.

2.3 $hc/\lambda = 30\,10^{-20}$; $\Delta\nu = 1.17\,10^{14}$.

$$N(ph.s^{-1}) = \frac{2900\,10^{-26} \times 10^{-20.8/2.5} \times 50\,(m^2) \times 1.17\,10^{14}\,(Hz) \times 0.063\,(''^2)}{3\,10^{-19}} \approx 170$$

Pour une transmission de 0.5 et un rendement de 0.8, cela fait 70 electrons par pixel et par seconde. Il faut donc 4700 secondes environ (1h20m) pour saturer le detecteur. C'est un temps de pose qu'on peut imaginer utiliser sur une source faible (galaxie par exemple).

2.4 La PSF fait $\pi\,0.8^2 = 2'' == 32\,$pixels. En 1 seconde, il y a donc $\approx 70 \times 32 = 2160\,$e de fond de ciel sous la PSF Le calcul inverse pour 2160 e donne :

$$\frac{2160 \times 3\,10^{-19} \times 10^{26}}{0.4 \times 1(sec) \times 50(m^2) \times 1.17\,10^{14}(Hz)} = 2.8\,10^{-5}\mathrm{Jy} \;\rightarrow\; -2.5\log\frac{2.8, 10^{-5}}{2900} \approx 20.1$$

2.5 Il ya detection si SNR = 3, soit :

$$\frac{N}{\sqrt{N + N_B + N_D + n.RON}} = 3$$

en 5mn, le courant d'obs est negligeable, 32 pixels x RON^2 (4) donnent   120 , et le Nb d'e dus au ciel vaut $32 \times 70 \times 300 = 6.5\,10^5$. On peut supposer que tous les autres termes sous la racine sont donc negligeables devant le fond de ciel et on a $N \approx 3 \times \sqrt{6.5\,10^5} \approx 2400\,\mathrm{e}$ ($\ll 6.5\,10^5$...). On obtient un resultat analogue en resolvant l'eq du 2e degre : $N^2 - 9N - 5.8\,10^6 = 0$ et en ne gardant que la solution positive. Si 2160 e correspondent a R=20.1 (*en une seconde*), 2400 e (*en 5mn = 300 sec*) correspondent a $20.1 + 2.5\log(2160 \times 300/2400) \approx 26.2$, limite de detection a 3 sigma en 5mn, du fait du fond de ciel.

2.6 Pour des sources faibles, on est limite par le bruit de fond de ciel. Le signal augmente comme T et le bruit comme $\sqrt{T}$. SNR augmente donc comme $\sqrt{T}$, et il est equivalent de poser plus longtemps ou de co-additionner des poses. Autant choisir de co-additionner des poses. C'est lorsqu'on est limite par le bruit de lecture qu'il faut augmenter le temps de pose par image individuelle.

2.7 La source qui sature le detecteur en 5mn procure 320 000 electrons en 600 secondes, soit 533 e/sec sur le pixel central, ce qui fait environ 5330 electrons sous la PSF (pour un seeing de 0.8   3.2 px). Puisque 2000 e donnent R=20.1 (en 5 mn), 5300 e (en 5 mn)donnent 20.1 - 2.5log(5300/2000)   19.

2.8 Puisqu'on est proche de la saturation, la seule solution pour augmenter le SNR est de co-additionner des poses.