

# Master-2 Astrophysique - INSTRUMENTATION

Examen 2005 - 2006 31 janvier 2006 Durée 2 Heures

## CORRECTION

### Rapport signal / bruit en comptage de photons

Les calculs des questions 1) et 2) sont des calculs classiques de statistique.

3) Signal =  $n$  ; bruit =  $\sqrt{n}$  ;  $SN_p = \sqrt{n}$ .

4)  $n_e = \eta n$  ; en électrons le signal est donc  $n_e = \eta n$  et le bruit  $\sqrt{n_e} = \sqrt{\eta n}$ . Donc  $SN_e = \sqrt{\eta n}$ . Le rapport s/n est dégradé du facteur  $\sqrt{\eta}$ .

5) le PM bleu est celui dont la courbe de sensibilité est meilleure dans le bleu ; l'autre est le rouge. Les longueurs d'onde de coupure (à 50%) sont respectivement 680 et 860 nm (à 20 nm près). à 500nm, le rendement quantique est estimé à 45%.  $SN_e = \sqrt{10^4 \times 0.1 \times 0.45} = 21.2$

6) à 725 nm le rendement quantique tombe à 0.1%. Le rapport s/n devient :  $SN_e = \sqrt{10^4 \times 0.1 \times 0.001} = 1$ .

7) le signal est toujours  $n_e$ . Lors de l'opération de soustraction, les bruits s'ajoutent quadratiquement. Le bruit devient donc  $\sqrt{n_e + d + d}$ . le rapport s/n devient alors celui de l'équation 1.

8) on remplace  $n_e$  par  $\eta n$ .

9) 1.6fA correspond à  $10^4$  e/s ; le PM rouge a  $\eta(880 \text{ nm}) \approx 1\%$  ; le signal est  $n_e = 5 \times 10^4 \times 1 \times 0.01 = 500$  ; le bruit est  $\sqrt{500 + 20000} = 143$  le s/n est de 3.5.

10) si  $\eta$  est doublé, le s/n passe à 6.9 ; si d est doublé, le s/n tombe à 2.5. Dans ce domaine de valeurs, l'influence du rendement quantique est prédominante.

11) le NEP est le plus petit signal détectable ; c'est le signal équivalent au bruit, ou encore le signal pour lequel le rapport s/n = 1.

12) en écrivant s/n = 1 dans l'équation 1, on obtient  $n_e^2 = n_e + 2d$  d'où l'on tire l'équation demandée en remplaçant  $n_e$  par  $\eta n$ .

13) le nombre d d'électrons intégré pendant une pose est facilement plus élevé que 1/8 d'électron. L'approximation est donc correcte. L'équation admet 2 solutions :  $X = \frac{1 \pm \sqrt{1+8d}}{2}$ . L'approximation sert 2 fois et la solution positive est  $\eta n \approx \sqrt{2d}$ .

14)  $NEP = \frac{nhc}{\lambda t_{int}} \propto 1/\lambda$  ;  $n = \frac{2d}{\eta}$ .

15) 1.6 fA pendant une seconde donne 10000 électrons. On a donc :  $NEP (W) = \sqrt{20000} hc/\eta \lambda = 2.8 \times 10^{-16} / \lambda (\mu\text{m})$

16) Pour  $\lambda = 500, 600, 700, 800$  nm ;  $\eta = 12, 15, 16, 15\%$  ;  $NEP = 4.7, 3.1, 2.5, 2.3 \times 10^{-16}$  W. Le NEP augmente avec  $\lambda$  car les photons sont de moins en moins énergétiques.

17) Le NEP dépend de  $t_{int}$  comme  $1/\sqrt{t_{int}}$ . Si  $t_{int} \times 2$ , le NEP est diminué de  $\approx 40\%$  (facteur  $1/\sqrt{2}$ ).

18) Le NEP varie comme  $1/\eta$ . Plus  $\eta$  augmente et plus la puissance nécessaire pour égaler un bruit donné diminue.

19) La réponse en A/W et le rendement quantique sont reliés :  $R_{A/W} = 0.8 \eta \lambda_{\mu\text{m}}$ . On lit les valeurs de  $\eta$  sur la figure et on en déduit la courbe demandée.