

Travaux Pratiques L2

Radioastronomie

TP2 : Pointage

Ph. Salomé, J. Neveu

20 janvier 2016

L'objectif de ce TP est de caractériser deux aspects de l'antenne : la précision du pointage réalisé et l'efficacité de l'antenne. L'antenne pointe-elle précisément dans les directions demandées ou existe-t-il un décalage? La relation entre la puissance reçue et la température est-elle vérifiée, quelle est l'efficacité de l'antenne? Pour cela, nous allons nous appuyer des observations du Soleil.

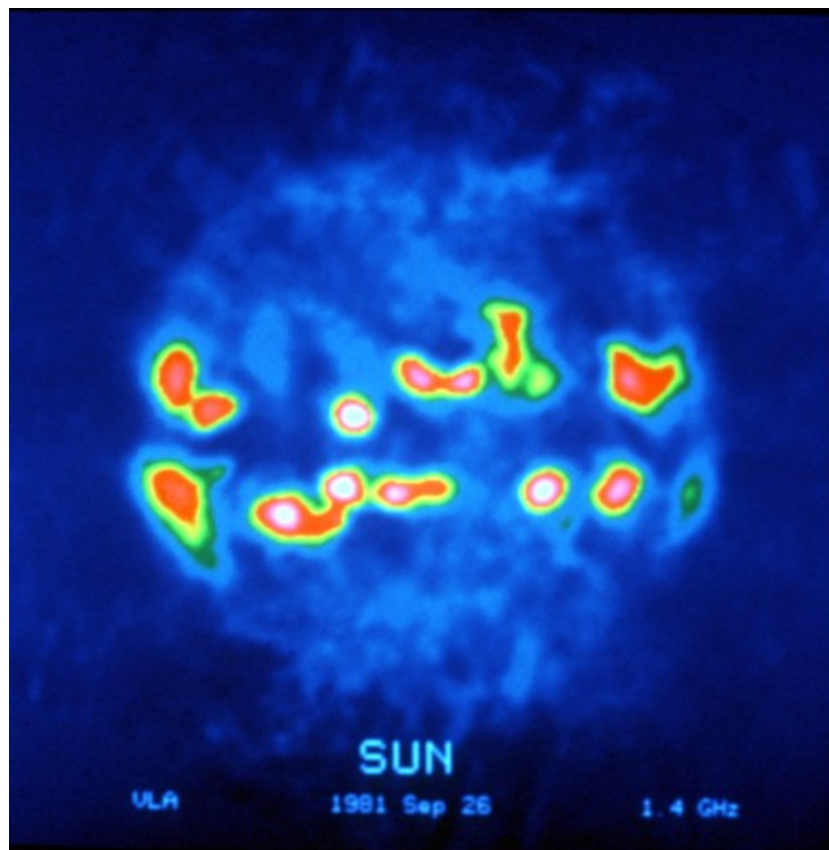


FIGURE 1 – Image courtesy of NRAO/AUI

1 Balayage autour du Soleil

Nous allons utiliser un fichier de commande, `sungaussAz2.cmd`, dont voici la description ci-dessous. En utilisant cette procédure, nous allons estimer les erreurs de pointage de l'antenne. Pour cela, nous allons effectuer un balayage horizontal (un scan en azimuth) puis un balayage vertical (scan en élévation) autour de la position du Soleil.

Description du fichier `sungaussAz2.cmd`. Remplacer les XXX par des valeurs adéquates.

Commandes	Effets
: freq XXXX X	Règle la fréquence centrale d'observation et la résolution en fréquence
: Sun	Dirige l'antenne vers le Soleil
: offset XX XX	Décale l'antenne pour faire la calibration sur le ciel
: noisecal	Calibre le détecteur en échelle de température
: offset 0 0	On remet le décalage introduit ligne 3 à zéro
: record sungaussAzXX.rad	Enregistrement du spectre dans le fichier <code>sungaussAzXX.rad</code>
: offset -20 0	On décale l'antenne de -20° en azimuth
:10	Enregistrement pendant 10 secondes
: offset -10 0	On ne décale plus l'antenne que de -10° en azimuth
:10	Enregistrement pendant 10 secondes
: etc...	
: offset 20 0	On décale l'antenne de $+20^\circ$ en azimuth
:10	Enregistrement pendant 10 secondes
: roff	Fin de l'enregistrement

NB : Bien respecter les : et les espaces ci-dessus.

Question1 ()

Quelle fréquence allez-vous choisir ? Où se trouve le Soleil par rapport au plan Galactique ? Est-ce gênant ?

Les instructions ci-dessous sont écrites pour le scan en azimuth, celles spécifiques au scan en élévation sont indiquées entre parenthèses.

1. Ouvrir `sungaussAz2.cmd` (`sungaussEl2.cmd`) avec un éditeur de texte et à ligne correspondante donner un nom explicite au fichier de sortie.
2. Exécuter `sungaussAz2.cmd` (`sungaussEl2.cmd`) en cliquant sur le bouton `Rcmdff` de SRT puis dans l'invite de commande en bas taper `sungaussAz2.cmd` (`sungaussEl2.cmd`). L'antenne exécute les instructions données par le fichier, et vous pouvez suivre l'évolution de la mesure par le spectre instantané noir.
3. Une fois le scan terminé, ouvrir un terminal et exécuter les commandes suivantes :
 - (a) `cp nom_du_fichier_de_sortie.rad ../SRT/rad/` : copie le fichier de sortie dans le répertoire d'analyse.
 - (b) `emacs pointingAzPs.py & (emacs pointingElPs.py &)` : éditer le fichier pour indiquer au programme le nom du fichier à lire.
 - (c) `python pointingAzPs.py (python pointingElPs.py)` : le lobe solaire est ajusté par une gaussienne et les résultats s'affichent dans un graphique : estimer l'erreur de pointage que l'on fait en azimuth (puis en élévation).

Vous pouvez tester la pertinence de cette correction en modifiant la ligne "offset 0 0" du fichier de commande par les valeurs que vous avez trouvées et en répétant l'opération ci-dessus. Normalement la gaussienne devrait cette fois être centrée en zéro.

Question2 ()

Quelle est la taille angulaire en degrés du Soleil dans le ciel ?

Question3 ()

Comparer le diamètre de l'antenne et la longueur d'onde étudiée. Commenter. On définit le lobe de l'antenne par :

$$\Omega_A = \frac{\pi}{4}\theta^2 = \frac{\pi}{4}(\lambda/D)^2 \sim (\lambda/D)^2 \quad (1.1)$$

Question4 ()

Grâce au graphique obtenu précédemment, mesurer le diamètre angulaire du faisceau reçu par l'antenne. Comparer à la taille du Soleil dans le ciel. Commenter.

2 Efficacité de l'antenne

L'antenne utilisée n'est pas un instrument idéal. Il existe de nombreuses causes qui font perdre de l'intensité au signal. On désigne par η l'efficacité de l'antenne ($\eta < 1$). La température mesurée par l'antenne n'est donc pas la température directement reliée à l'approximation de Rayleigh-Jeans : elle est en fait celle mesurée par une antenne qui collecterait η fois moins de signal.

$$\eta = \eta_A \cdot \eta_{\text{bloquage}} \cdot \eta_{\text{autres}} \quad (2.1)$$

Chacune de ces efficacités est typiquement de l'ordre de 0.8. Ceci donne une efficacité globale de l'antenne de l'ordre de 40%.

Le paramètre η s'introduit comme une correction à la surface collectrice de l'antenne : notre antenne imparfaite de surface A_g est équivalente à une antenne parfaite de surface plus petite $\eta \times A_g$.

$$T_A = \frac{S\eta_A A_g}{2k_B} \quad (2.2)$$

Question5 ()

Grâce à la mesure précédente, en faisant l'approximation que la taille du Soleil est négligeable devant celle du faisceau reçu, la formule 2.7 est valable. Mesurer la température maximale atteinte par le signal, et en déduire l'efficacité η de notre antenne sachant que le flux solaire attendu est $S = 5,4 \times 10^{-21} \text{ J/m}^2$.

On a donc le facteur de conversion :

$$\frac{S_\nu}{T_A} = 0.69 \text{ mK/Jy} \quad (2.6)$$

Question6 ()

A titre d'illustration, η_A , l'efficacité liée à la qualité de surface de l'antenne s'écrit (Formule de Ruze) :

$$\eta_A = \eta_{A0} e^{-\frac{(4\pi\sigma)^2}{\lambda}} \quad (2.7)$$

Pour obtenir une efficacité de 45%, avec $\eta_{A0}=0.6$, calculer la précision nécessaire dans la définition de la surface de l'antenne. C'est σ qui donne la taille des défauts de surface maximum acceptés.

Question7 ()

Quelle est la température du Soleil mesurée par l'antenne de 2.3m ? Quelle est la température attendue (cf la figure ci-dessous) ?

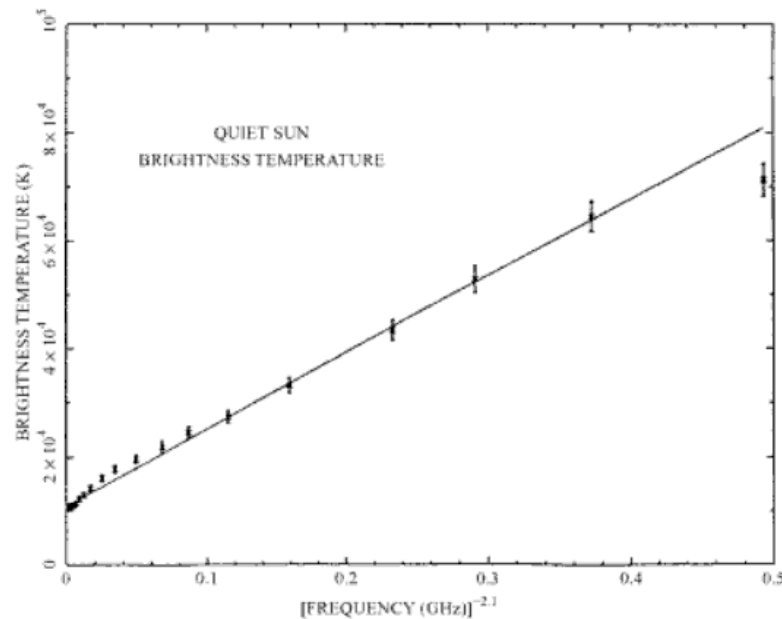


Figure 11.3. The brightness temperature at the centre of the Sun plotted against $\nu_{\text{GHz}}^{-2.1}$, which follows the frequency dependence of the optical depth of the corona (Zirin *et al.* 1991).

Question8 ()

Lorsqu'une source est non-résolue, alors la température d'antenne T_a mesurée est bien plus petite que la température de brillance de la source T_b . En effet, nous avons vu que la densité spectrale de flux mesurée par un radio-télescope était la température de brillance intégrée sur la surface de la source :

$$S_\nu = \frac{2k\nu^2}{c^2} \int T_b d\Omega \quad \text{W.m}^{-2}.\text{Hz}^{-1} \quad (2.8)$$

On aura donc

$$T_A \Omega_A = T_b \Omega_{\text{source}} \quad (2.9)$$

et donc

$$T_b = T_A \frac{\Omega_A}{\Omega_{\text{source}}} \quad (2.10)$$

On a par ailleurs :

$$T_{\text{mb}} \Omega_{\text{mb}} = T_A \Omega_A \quad (2.11)$$

avec Ω_{mb} la taille du lobe primaire que vous avez mesuré lors du pointage et Ω_A , la fonction du lobe, intégrée sur les 2π str avants. T_{mb} est la température mesurée dans le lobe principal et T_A la température mesurée dans les 2π str avants. Ceci s'écrit aussi :

$$T_{\text{mb}} B_{\text{eff}} = T_A F_{\text{eff}} \quad (2.12)$$

où on supposera ici : $B_{\text{eff}} \sim 0.7$, la 'beam efficiency' et $F_{\text{eff}} \sim 0.8$ la forward efficiency. Exprimer Ω_{source} en fonction de Ω_{mb} , B_{eff} et F_{eff} qui sont connus.

On définit le filling factor (facteur de remplissage) comme étant la fraction la surface observée par l'antenne qui est effectivement occupée par la source. Calculer alors le facteur de remplissage pour notre antenne de 2.3m qui observe le Soleil de diamètre angulaire optique 0.5° . Quel est le diamètre attendu à 21cm ? Retrouver la température de brillance équivalente du Soleil à 21cm.

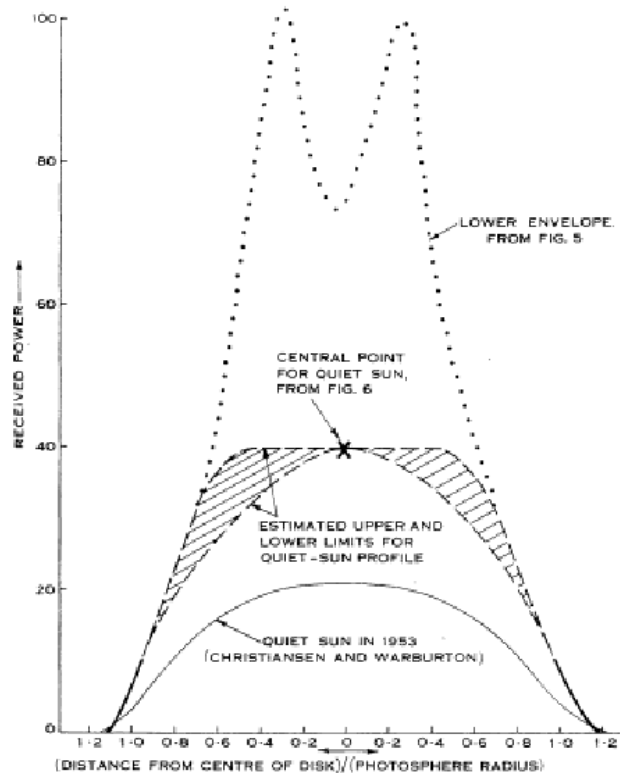


Fig. 7.—The quiet-Sun profile for $\theta=0^\circ$. For comparison, the corresponding sunspot-minimum profile (Christiansen and Warburton 1955) is drawn on the same scale.

FIGURE 2 – Labrum et al. (1960). Sun profile at 1.4 GHz.

3 Estimation du temps de pose (facultatif)

L'émission de l'hydrogène galactique est relativement faible. Il convient donc tout d'abord d'estimer combien de temps on a besoin de pointer sur une région de la galaxie pour obtenir une bonne mesure du pic Doppler à 21 cm.

Pour cela on va utiliser le fichier de commande bruit.cmd

Question9 ()

Le bruit accompagnant une mesure est aléatoire : selon les scans on n'a donc pas la même valeur de T_{sys} . Cependant, on peut remédier à cela en moyennant dans le temps sur plusieurs mesures. La dispersion va alors diminuer. Pour voir cela on va tracer la dispersion de T_{sys} ou son erreur en fonction du temps d'acquisition.

1. Ouvrir bruit.cmd avec un éditeur de texte et à ligne correspondante donner un nom explicite au fichier de sortie.

2. Exécuter `bruit.cmd` en cliquant sur le bouton `Rcmdfl` de SRT puis dans l'invite de commande en bas taper `bruit.cmd`. L'antenne exécute les instructions données par le fichier, et vous pouvez suivre l'évolution de la mesure par le spectre instantané noir.
3. Une fois le scan terminé, ouvrir un terminal et exécuter les commandes suivantes :
 - (a) `cp nom_du_fichier_de_sortie.rad ../SRT/rad/` : copie le fichier de sortie dans le répertoire d'analyse.
 - (b) `emacs bruit.py &` : éditer le fichier pour indiquer au programme le nom du fichier à lire.
 - (c) `python bruit.py`

A-t-on une courbe en $1/\sqrt{t}$ ou en $1/t$?