

Radiométrie Solaire : Mesurer la Température du Soleil avec une Parabole

A. Abbache, M. Hanine, A. Senterre – Université Libre de Bruxelles

Intérêt Pédagogique

Ce projet propose de mesurer la température de la chromosphère solaire à l'aide de matériel de réception satellite (antenne TV, SDR). Il permet d'illustrer concrètement piliers du programme de physique :

- **Thermodynamique** : Le concept de corps noir et le transfert thermique.
- **Ondes & Optique** : La réflexion sur un miroir parabolique, les ondes électromagnétiques et les changements de fréquence.
- **Électricité** : Le bruit thermique et l'amplification de signaux faibles.

1. Que mesure-t-on exactement ?

Habituellement, on associe le Soleil à une température de surface d'environ 5778 K (la photosphère, qui émet la lumière visible). Cependant, notre dispositif n'observe pas la lumière visible, mais les **micro-ondes** (fréquences de 10 à 15 GHz, longueurs d'onde de 2 à 3 cm).

À ces fréquences, la photosphère est opaque. Le rayonnement que nous captons provient de la couche supérieure : la **chromosphère**. L'objectif est de mesurer la "température de brillance" de ce plasma solaire.

2. Comment relier l'onde à la température ?

Pour que l'expérience fonctionne, il faut prouver que la puissance du signal reçu par l'antenne est proportionnelle à la température du Soleil. Cela repose sur deux théorèmes fondamentaux :

Rigueur Physique & Modélisation

A. L'approximation de Rayleigh-Jeans (Astrophysique)

Le rayonnement thermique du Soleil est régi par la loi de Planck. Aux fréquences micro-ondes et aux températures considérées, l'énergie du photon est négligeable face à l'énergie thermique ($h\nu \ll k_B T$). Un développement limité au premier ordre de la loi de Planck donne la loi de Rayleigh-Jeans :

$$B_{RJ}(\nu, T) = \frac{2k_B T \nu^2}{c^2}$$

Conséquence : La puissance émise est strictement proportionnelle à la température T .

B. Le théorème de Johnson-Nyquist (Électronique)

Le rayonnement collecté induit un bruit thermique dans l'antenne. La puissance électrique P disponible aux bornes de l'antenne, sur une bande passante $\Delta\nu$, est modélisée par une "température d'antenne" T_A :

$$P = G \cdot k_B T_A \Delta\nu$$

Où G est le gain du système et k_B la constante de Boltzmann.

Conséquence : La puissance électrique mesurée par notre ordinateur est directement proportionnelle à la température de la source pointée.

3. Le Dispositif Expérimental

Le système est une chaîne de conversion et d'amplification.

- **La Parabole (60 cm)** : Elle agit comme un entonnoir à ondes. Par sa géométrie, tous les rayons parallèles se concentrent en un point unique (le foyer), ce qui amplifie passivement le signal.
- **Le LNB (Low Noise Block)** : Placé au foyer, c'est le cœur du système. Il capte l'onde électromagnétique, l'amplifie (car le signal solaire est noyé dans le bruit) et *abaisse sa fréquence* pour qu'elle puisse voyager dans le câble coaxial sans se perdre.
- **Le SDR (Software Defined Radio)** : Une petite clé USB qui numérise le signal analogique reçu pour l'analyser sur ordinateur.

4. Protocole : Comment trouver la température ?

Puisque nous ne connaissons ni le gain exact de notre amplificateur (G), ni la température de bruit générée par nos propres composants électroniques (T_{sys}), nous devons procéder à une **calibration par comparaison**.

Étape 1 : La Calibration (Points Chaud et Froid)

Nous mesurons la puissance reçue en pointant deux sources de températures connues :

1. Le **sol** (Point chaud) : Agit comme un corps noir à température ambiante ($T_{sol} \approx 300$ K). Cela donne une puissance P_{sol} .
2. Le **ciel zénithal** (Point froid) : Très peu de rayonnement ($T_{ciel} \approx 10 - 20$ K). Cela donne une puissance P_{ciel} .

En posant un système d'équations, nous pouvons isoler et annuler les inconnues matérielles pour trouver la température de bruit intrinsèque de notre système :

$$T_{sys} = \frac{P_{ciel}T_{sol} - P_{sol}T_{ciel}}{P_{sol} - P_{ciel}}$$

et nous procédons de manière similaire pour déterminer la température du soleil en utilisant une température de référence et un système de 2 équations.

Étape 2 : La Mesure Solaire (Méthode de la Dérive)

Au lieu d'essayer de suivre le Soleil manuellement (ce qui serait imprécis), nous orientons l'antenne sur la trajectoire prévue du Soleil et nous la laissons fixe.

Grâce à la rotation de la Terre, le Soleil va traverser de lui-même le champ de vision de l'antenne. L'ordinateur enregistre alors un "pic" de puissance en forme de cloche (courbe de Gauss). En comparant l'amplitude de ce pic avec nos mesures de calibration, nous déduisons la température de brillance de la chromosphère solaire !