

RAMEAU observe à 10 GHz l'éclipse partielle de Soleil du 3 octobre 2005 à Orsay.

Hervé Dole

En préparant les observations de l'éclipse partielle de Soleil, des astrophysiciens d'Orsay n'ont même pas daigné regarder les prévisions météorologiques. Et pour cause : ils allaient tester pour la première fois sur le terrain un nouveau radiotélescope destiné à l'enseignement, insensible à la couverture nuageuse puisqu'observant à une fréquence de 10 GHz. L'observation radio de l'éclipse partielle était destinée à mieux connaître l'instrument (sa sensibilité, son opérabilité), et surtout à initier le public nombreux et les étudiants à une autre approche des observations. Récit d'une grande première pédagogique.

Vous avez dit radioastronomie ?

La radioastronomie est la branche de l'astrophysique qui s'intéresse aux observations dans le domaine spectral des ondes radio, s'étendant traditionnellement au delà de 1 mm de longueur d'onde. Entre 1 millimètre et 1 centimètre de longueur d'onde, on parle de radioastronomie millimétrique, puis centimétrique, métrique etc... L'atmosphère étant essentiellement transparente aux ondes radio, il est possible d'observer de jour comme de nuit dans ce domaine spectral. En radioastronomie centimétrique, la situation est encore plus favorable : les nuages et la pluie fine affectent à peine le signal radio. Les plus grands radiotélescopes du monde, parmi lesquels le Very Large Array (VLA, New Mexico, USA), le Green Bank Telescope (GBT, West Virginia, USA), et les radiotélescope de Arecibo (Porto Rico), Nançay (Cher), de Parkes et Narrabri (Australie), observent ainsi quelle que soit la couverture nuageuse, de jour comme de nuit. De dimensions impressionnantes (plusieurs dizaines de mètres, plusieurs centaines parfois), ces télescopes sont équipés de récepteurs très sensibles, grâce à une électronique spécifique refroidie à des températures cryogéniques, de typiquement quelques Kelvins. L'intérêt scientifique d'observer en radio est multiples : raies d'émission des atomes ou molécules (comètes, nuages moléculaires, régions de formation d'étoiles, autres galaxies), émission continue non thermique (activité solaire, satellites de planètes géantes, poussière dans la Galaxie, rémanences de supernovae, pulsars, gaz des amas de galaxies) ou thermique (étoiles, fond cosmologique micro-onde (ou 3K)).

La radioastronomie est, en raison des moyens techniques à mettre en œuvre et de l'expertise nécessaire, réservée aux professionnels lorsqu'il s'agit de détecter de faibles signaux dans notre Système Solaire, notre Galaxie ou dans les galaxies lointaines. Elle n'est cependant pas inaccessible aux amateurs : la détection en radio de l'émission du Soleil, de la Lune, de Jupiter, et des pluies d'étoiles filantes est parfaitement accessible avec peu de moyens. De nombreuses expériences simples sont connues, comme par exemple celle avec deux antennes TV Yagi (antennes « râteau ») reliées à un récepteur 600MHz (0.5 mètre de longueur d'onde) qui permettent d'observer les franges d'interférence sur le Soleil et ainsi d'en déduire son diamètre, ou encore celle de la détection de météores avec une petite antenne et un poste FM. Enfin, certains groupes amateurs motivés construisent et utilisent des installations dignes de véritables observatoires, avec des antennes paraboliques de plus de 10 mètres par exemple ; les liens entre les communautés de radioamateurs et d'astronomes amateurs est souvent fructueuse.

A l'automne 2004, l'Université Paris-Sud 11 lançait auprès de ses enseignants-chercheurs un appel d'offre « Bonus Qualité Pédagogique » pour financer de nouveaux enseignements. Je voulais proposer avec quelques collègues de l'Institut d'Astrophysique Spatiale (1) de nouveaux TP de Licence liés à un enseignement pratique de

l'astrophysique. Nous avons d'abord pensé à un système optique (téléscope et caméra CCD), puis à un système millimétrique (petite antenne et bolomètre refroidi). Nous avons finalement convergé vers un système centimétrique, qui cumulait à nos yeux de nombreux avantages : simplicité technique et de maintenance, faible coût, grande capacité d'accueil des étudiants, et utilisation possible en journée et quelles que soient les conditions météorologiques. Ainsi était né le projet de radiotélescope à Orsay, nommé RAMEAU : Réseau d'Antennes Micro-ondes pour l'Enseignement de l'Astrophysique à l'Université Paris-Sud 11 (2). Le projet est financé et la nouvelle option d'astrophysique expérimentale ouvrira en janvier 2006 (3). Elle proposera à 20 étudiants de Licence 2 une approche expérimentale de l'optique physique, de la thermodynamique et du traitement du signal dans un contexte astrophysique.

RAMEAU consistera en 10 petits radiotélescopes de 80 cm de diamètre observant à 10 GHz (soit 3 cm de longueur d'onde) et montés en duo sur 5 montures motorisées 2 axes et pilotables par ordinateur. Ils observeront le Soleil et la Lune seulement. Une onzième antenne, d'un diamètre de 1m80, complétera le réseau et permettra des observations de notre Galaxie et de quelques sources extragalactiques puissantes. RAMEAU est l'exemple type de la vertueuse relation entre enseignement supérieur et recherche : ce sont en effet les expériences des chercheurs qui ont abouti à la définition du projet scientifique, pour le plus grand bénéfice des étudiants à venir, nous l'espérons.

Avant de commander le matériel de RAMEAU et afin de valider par des tests certains choix techniques, j'ai fabriqué avec mes collègues, amis (4) et membres d'Aphélie (5) un prototype, appelé RAMEAU0 (prononcer « Rameau zéro »). C'est avec ce radiotélescope prototype que nous avons observé l'éclipse du 3 octobre 2005. RAMEAU0 peut être considéré comme un radiotélescope amateur vu le faible coût et le matériel employé. Le développement de RAMEAU a aussi largement bénéficié de l'aide et des conseils d'astronomes amateurs et de radioamateurs; en particulier, Bertrand Flouret, qui a conçu et développé ce système de radiotélescope 10 GHz, nous a constamment aidé et conseillé tout au long du projet.

Description du Radiotélescope RAMEAU0

RAMEAU0 est une antenne de 80cm avec un seul récepteur sensible à la puissance totale. En d'autres termes, RAMEAU0 n'a qu'un seul pixel, mais ce pixel unique peut mesurer la puissance totale incidente. RAMEAU0 est globalement composé de matériel grand public de réception TV satellite, et comprend 6 éléments :

- 1- L'antenne est une parabole hors axe (« offset » disent les vendeurs) en acier de 80 cm de diamètre ; on peut en trouver à 30 Euros.
- 2- Au foyer de la parabole se trouve le récepteur (une « tête » disent les vendeurs), un LNB (Low Noise Block) classique à 0.3dB de réception TV satellite, sensible aux fréquences voisines de 10 GHz, soit 3 cm de longueur d'onde ; on en trouve à 10 Euros. Le rôle du LNB est de filtrer le signal incident pour ne laisser passer que les fréquences autour de 10 GHz, puis de mélanger ce signal avec un signal généré par un oscillateur local, afin d'abaisser la fréquence jusque vers 1 GHz. En effet, il est difficile de transmettre dans des câbles coaxiaux du signal à très haute fréquence comme 10 GHz. L'idée est d'effectuer un changement de fréquence pour permettre une transmission du signal plus aisée. Enfin, le LNB amplifie le signal.
- 3- Une dizaine de mètres de câble coaxial est nécessaire, et relie le LNB au détecteur.
- 4- Le détecteur est un simple dispositif appelé SatFinder, ou Satellite Finder, coûtant une dizaine d'Euros, et qui détecte le signal vers 1 GHz. En pratique, il faut utiliser un modèle de SatFinder le plus simple possible, i.e. sans LEDs de détection du signal 22kHz, car ces modèles modulent en

- fréquence le signal. Les modèles les plus simples codent le signal en tension, ce qui est beaucoup plus pratique.
- 5- Le SatFinder et le LNB sont alimenté avec du courant continu, de tension entre 13 et 17 Volts, selon la polarisation choisie. L'idéal est de disposer d'une alimentation stabilisée (coûtant environ 60 Euros), mais il est possible d'utiliser des piles ou de petits transformateurs, même si le signal risque d'être moins stable. Nous utilisons une alimentation 13.6V stabilisée, modèle de base, avec un petit filtre passe-bas (bobine maison) pour empêcher le signal haute fréquence de retourner vers l'alimentation.
 - 6- Il faut ensuite fixer la parabole sur le pied de votre choix pour permettre son pointage sur le Soleil, la Lune mais aussi sur le sol pour l'étalonnage.

Avec ce système bon marché (environ un centaine d'Euros) il est possible de détecter simplement l'émission thermique et non thermique du Soleil. Il faut pointer le sol et régler le gain du SatFinder pour que l'aiguille dévie jusqu'au niveau 3 ou 4. Il faut ensuite pointer le ciel sans source connue, et vérifier que l'aiguille ne dépasse pas la graduation 1. Enfin, l'aiguille du SatFinder dévie significativement (au-delà de la graduation 8) quand l'antenne est pointée sur le Soleil. Evidemment, ce système est particulièrement sensible ... aux satellites géostationnaires, qui deviennent ainsi la principale source de bruit ! Nos premières observations dans cette configuration ont été effectuées en Mars 2005 sur une petite monture équatoriale (Figure 1). Cependant, le couple engendré par la taille de l'antenne (qui n'est pas très lourde) et son encombrement rendait le maniement et le pointage extrêmement pénible. Nous avons donc plus tard préféré la solution de la monture altazimutale.

Comment être certain de bien pointer le Soleil, et non pas un satellite géostationnaire ? Il suffit de maintenir l'antenne fixe par rapport au sol, et de suivre l'évolution du signal avec le temps. En effet, la rotation terrestre engendre un mouvement apparent du Soleil : en attendant environ 10 minutes, le Soleil « sort » du lobe de l'instrument et le signal décroît. Cette observation s'appelle un transit. S'il s'agit d'un satellite géostationnaire, le signal restera constant, par définition.

Voici deux anecdotes sur RAMEAU0. La première : notre toute première observation en Février 2005 s'est effectuée vers midi, et le hasard avait fait que le Soleil se situait dans la même région du ciel que de nombreux satellites géostationnaires. J'avais cru à une détection facile du Soleil. Après réflexion avec mes collègues, nous avons de nouveau fait la mesure : la source radio n'avait pas bougé dans le ciel, alors que le Soleil n'y était plus. Nous avons donc détecté un satellite géostationnaire, et pas le Soleil ! La deuxième : quelques semaines plus tard, nous avons enfin détecté le Soleil, alors que la vallée était sous un brouillard très épais. Nous avons utilisé la bonne méthode : pointage approximatif, recherche du signal maximum, puis attente de 10 minutes. Et le signal a disparu : c'était donc bien le Soleil qui transitait dans l'instrument. Notre première détection radio a donc eu lieu alors que l'on ne voyait absolument pas le Soleil en visible.



Figure 1. RAMEAU0 observe le Soleil pour la première fois en Mars 2005. Il n'y avait pas d'acquisition sur PC dans cette configuration, et nous utilisons une monture équatoriale, peu pratique.

Ce système simple ne permet cependant pas de faire des mesures précises, car il n'y a pas d'enregistrement du signal. Il est donc nécessaire de numériser le signal sortant du SatFinder vers un ordinateur. Deux nouveaux éléments apparaissent : le SatFinder modifié et la carte d'acquisition.

- 1- Il faut modifier légèrement le SatFinder afin de lui ajouter une sortie électrique. Il suffit de dessouder le « buzzer » (dispositif sonore assez énervant) et de brancher une prise de sortie, par exemple BNC. Dans la mesure où le signal alimentant le buzzer est en général compris entre 0 et +10 Volts, il convient d'ajouter deux résistances de 64KOhms pour faire un pont diviseur par deux, de sorte que le signal de sortie est compris entre 0 et +5V, ce qui est compatible avec les cartes d'acquisition bon marché.
- 2- Le signal de sortie du SatFinder modifié doit être numérisé par une carte d'acquisition sur un ordinateur. La carte meilleur marché est la ADC-10 fabriquée par PICO (6), et revendue en France sur le web à partir de 80 Euros environ. Elle code sur 8 bits (i.e. sur $2^8=256$ niveaux) des signaux d'entrée compris entre 0 et +5V. Les avantages de cette carte, outre son prix, sont 1) de proposer un logiciel d'acquisition clé en main pour Windows, ainsi que des drivers pour Linux et 2) de se brancher sur le port parallèle des PC, permettant ainsi d'utiliser facilement un ordinateur portable et/ou de bureau.

Le système est maintenant complet (Figure 2), et permet de faire des mesures. Cet aspect est essentiel, car la mesure du bruit et l'étalonnage sont possibles, transformant un petit montage amusant en un véritable instrument de mesure, même s'il faut garder à l'esprit que le niveau de bruit est assez élevé et la stabilité assez mauvaise. Il importe de pouvoir quantifier toutes ces grandeurs.



Figure 2. Première mesure avec le système complet RAMEAU0 en Août 2005. L'acquisition s'effectue sur le PC dans le bureau. Noter que nous avons opté pour une monture altazimutale, plus simple d'utilisation.

Opérations

Nous avons vu qu'il était facile d'observer un transit du Soleil dans le lobe de l'instrument. La mesure complète va comprendre également l'étalonnage et l'estimation du bruit. Intéressons-nous d'abord au transit, puis au facteur de dilution du lobe, et enfin à l'étalonnage et au bruit.

Commençons par un peu d'optique. Quelle est la taille du lobe de RAMEAU0 ? Le critère classique indique que la largeur à mi-hauteur (ou Full Width at Half Maximum, FWHM) du lobe est donnée par λ/D , où λ est la longueur d'onde d'observation et D le diamètre du télescope. Pour RAMEAU, $\lambda=3\text{cm}$ et $D=80\text{cm}$. Le lobe a donc une FWHM de l'ordre de 2.15 degrés. Noter que cette valeur est proche de celle donnée par le critère de Rayleigh et qui donne le rayon entre le maximum et le premier zéro de la fonction d'Airy, et qui vaut $1.22 \lambda/D$. Le Soleil ayant un diamètre apparent de l'ordre de 30 minutes d'arc, on peut « remplir » le lobe de Rameau par 16 Soleils (le rapport des rayons au carré).

A quel rayonnement est sensible RAMEAU ? Dans le cas du Soleil calme, il est sensible à son émission thermique de corps noir vers 6000K, mais également à l'émission de la couronne. Dans le cas du Soleil actif, il est également sensible aux processus non thermiques (éruptions et éjections par exemple). Faisons l'approximation que, observé à 3 cm, le Soleil est un corps noir. L'étalonnage de RAMEAU s'effectue en pointant une source de température connue, idéalement un corps noir. La source la plus simple reste le sol, de température d'environ 300K. La nature du sol et son ensoleillement jouent beaucoup, et il convient de faire beaucoup de tests pour comprendre l'émission radio du sol à proximité de l'antenne (Figure 3). Il suffit donc de pointer l'antenne complètement vers le sol, et de mesurer le signal. Pour étalonner le signal solaire, il suffit de faire une règle de trois, sans oublier le facteur 16 car le sol remplit tout le lobe de l'instrument, alors que le Soleil n'en remplit qu'une fraction.



Figure 3. Tentatives de pointage sur le sol, lors d'un séjour à la station de Radioastronomie de Nançay (Cher) en Juillet 2005, par l'auteur et Bertrand Flouret (dont l'aide est déterminante au succès du projet). A l'issue de ce test, la fixation et l'orientation de l'antenne ont complètement été repensées. (Photo : P. Audureau)

La Figure 4 montre le résultat d'une mesure complète. Le signal du SatFinder (en Volts) est représenté en fonction du temps (en ms). De 800 à 1000s (flèche bleue), l'antenne pointe le fond du ciel. D'environ 1000 à 1080s (flèche verte), l'antenne pointe le sol et la tension mesurée est de l'ordre de 3.5V. Entre 1080 et environ 1280s (flèche noire), nous avons essayé de pointer l'antenne proche du Soleil, sommes passés plusieurs fois dessus, et avons serré les vis de la monture, d'où ce signal sans cohérence. Le Soleil transite dans le lobe de l'instrument de 1280s à environ 2045s (flèches rouges), et forme une magnifique courbe gaussienne. Un collègue est brièvement passé devant l'antenne vers 1410s, et a provoqué une chute de signal momentanée. De 2045s à 2115s, le fond du ciel est observé. Au-delà de 2115s, nous avons repointé le sol. De cette courbe nous pouvons tirer plusieurs résultats.

Tout d'abord le transit du Soleil dure environ 765s. Si on prend la largeur à mi-hauteur (FWHM), on mesure 600s (soit 10 minutes). Une source ponctuelle de déclinaison inférieure en valeur absolue à 23 degrés parcourt sur le ciel un angle de 2.15 degrés (notre lobe) en 516s environ. Si on ajoute 30 minutes d'arc correspondantes au diamètre approximatif du Soleil, le transit doit durer 636s environ. L'ordre de grandeur est correct : le disque du Soleil met environ 10 minutes pour traverser le lobe du télescope.

Ensuite, le sol de température approximée à 300K est mesuré à 3.53+/-0.01V (vers 1050s). Le maximum du transit est mesuré à 4.90+/-0.02 V (120s de mesure autour de 1650s). La durée du maximum est de 120s. En tenant compte du facteur de dilution, nous obtenons pour cette mesure sur le Soleil une température de brillance de $4.90 * 300 / 3.53 * 16$, soit **6663 +/- 50 K**. L'incertitude est inférieure à 1%. L'accord avec la température effective du Soleil est excellent.

Cependant, les incertitudes sont bien plus grandes que le pourcent présenté. Il y a d'abord la température du sol qui n'est pas connue avec exactitude : il peut y avoir par exemple des réflexions parasites du ciel, ou une partie plus chaude qu'une autre. Il y a également la stabilité du système. Après 2200s, alors que l'antenne pointe le sol, nous avons noté une dérive systématique de 5% (de 3.53 à 3.35V) en seulement 5 minutes. Nous estimons (très approximativement pour l'instant) que la précision de nos mesures est *au mieux* de 10%. C'est néanmoins satisfaisant vu le matériel employé. Nous allons poursuivre nos efforts de caractérisation du bruit, et tenter de le minimiser, par exemple en protégeant le LNB du rayonnement solaire et en maintenant la SatFinder à température constante, dans le but d'assurer une meilleure stabilité.

RAMEAU OBSERVE LE SOLEIL A 10GHZ

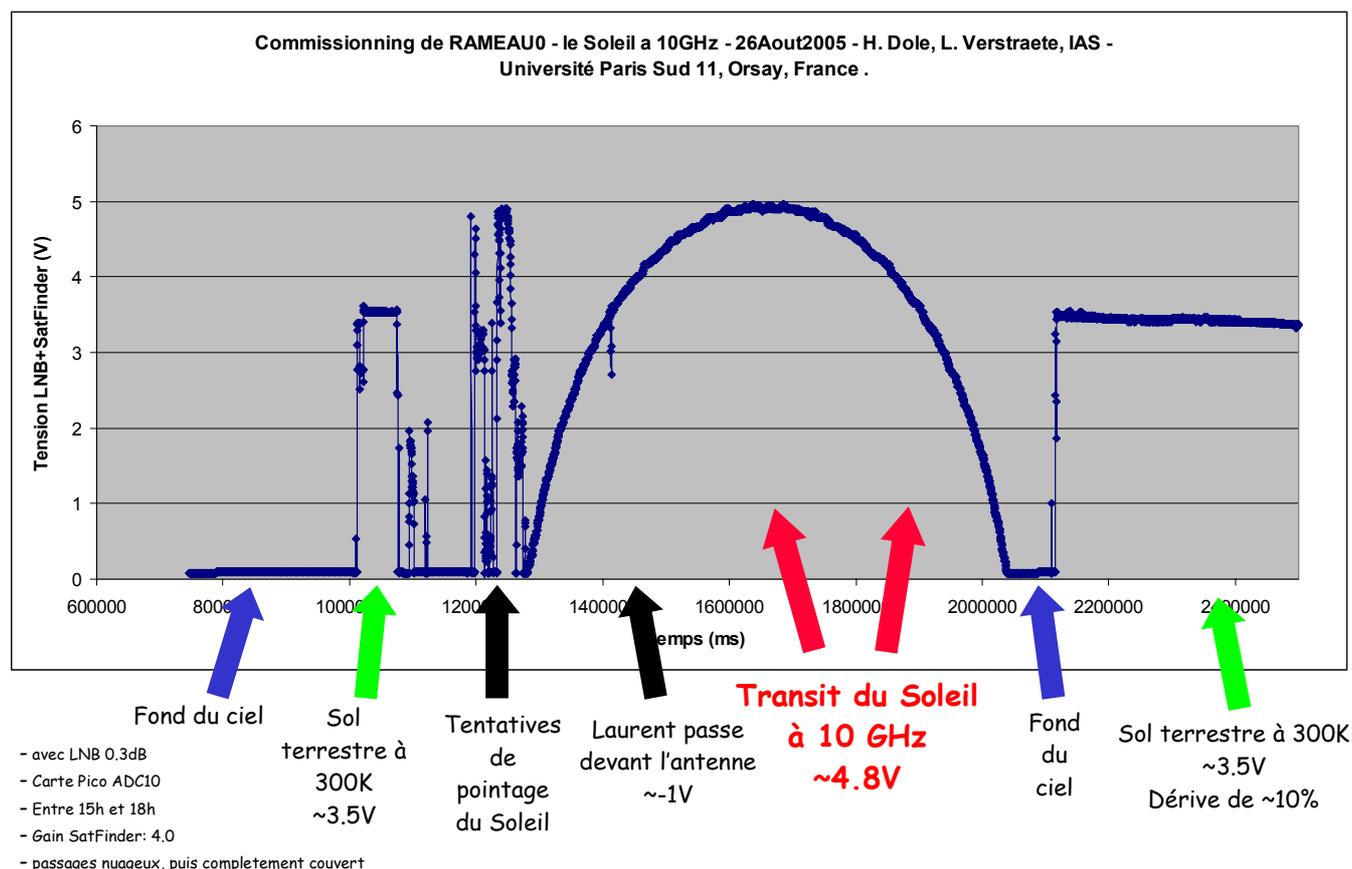


Figure 4. Résultats de la première mesure de RAMEAU0 en Août 2005.

Observation de l'éclipse du 3 octobre 2005

Nous avons décidé de profiter de l'éclipse de Soleil, partielle depuis Orsay, pour effectuer notre second test sur le ciel, et le premier hors du laboratoire. J'ai co-organisé avec Pierre Lauginie un grand site d'observation publique sur le campus de la faculté d'Orsay. Les membres de l'association ALCOR (7) et d'autres personnes sont venus avec leurs télescopes optiques avec filtres. ALCOR a distribué des paires de lunettes spéciales éclipse. Le but de l'observation avec RAMEAU0 était multiple. Nous voulions tout d'abord informer le public et les étudiants de l'existence de RAMEAU et de son intérêt, mais aussi proposer de suivre en direct cette démonstration d'observation radio du phénomène, même sous les nuages. Le public est venu très nombreux pendant la matinée. Les explications de Laurent Verstraete et de moi-même étaient bien suivies, et d'incessantes questions affluaient. Le public était fasciné par les transits en direct du Soleil dans le lobe de l'instrument (Figures 5, 6 et 7). Nous avons eu quelques petits passages nuageux, juste de quoi démontrer au public l'intérêt d'une telle observation radio sous les nuages, sans pour autant compromettre le plaisir de

chacun à observer l'éclipse dans le visible. Cette opération a donc été un succès pédagogique, et elle nous a montré que l'astrophysique expérimentale plaisait beaucoup au public.



Figure 5. Le matin de l'éclipse, vers 09h30, le public arrive doucement et reste intrigué par RAMEAU0.



Figure 6. Le système d'acquisition de RAMEAU0 : l'antenne et LNB (arrière-plan), alimentation et SatFinder (à gauche), carte d'acquisition (cachée) et PC (à droite).



Figure 7. Vers le maximum de l'éclipse, le public se presse derrière les télescopes optiques et derrière RAMEAU.
(Photo : N. Globus).

Nous avons mesuré une vingtaine de transits du Soleil durant l'éclipse partielle. Quelques problèmes techniques sont intervenus : deux coupures de courant (deux personnes se sont pris les pieds dans les rallonges...), l'exposition du SatFinder en plein Soleil durant la première heure et demi (découverte bien tardivement, cf. Figure 6). Toujours avant le maximum, nous n'avons pas effectué suffisamment de mesures du sol pour l'étalonnage (Figure 8). Vers le maximum et ensuite, tout a été nominal : SatFinder protégé de la lumière directe du Soleil, pas de coupure, étalonnages fréquents (tous les 2 transits). Pour une première sortie de RAMEAU0, nous sommes plutôt satisfaits de son comportement et des opérations.

Le résultat de nos observations se résume à la Figure 9, qui représente en fonction du temps (en minutes, par rapport aux maximum de l'éclipse de 11h01 locales) la température de brillance vue par le récepteur, exprimée en Kelvins. Les courbes représentent les transits ou portions de transit du Soleil devant l'instrument fixe, et qui a été re-pointé à la main à chaque fois. Le maximum de chaque transit nous donne la puissance totale reçue du Soleil. Pour interpréter ces données, il faut regarder l'évolution du maximum de chaque transit. Après nettoyage des données (i.e. en enlevant les mesures d'étalonnage, de pointage, et les 2 transits avortés pour cause de mauvais pointage), nous avons gardé 10 transits avant $t=-15$ minutes avant le maximum de l'éclipse ; pendant cette période, nous avons enregistré 5 étalonnages sur le sol, irrégulièrement espacés. Après $t=-15$ minutes, nous avons enregistré 10 autres transits, avec 6 étalonnages bien réguliers. Les données ne sont pas correctement étalonnées avant $t=-15$ minutes. Nous nous en sommes rendus compte lors des mesures, car les (trop rares) pointages sur le sol donnaient des valeurs incohérentes entre elles, variant d'un facteur deux. Nous n'avons pas pu analyser en temps réel ce problème à cause des conditions d'observation ; malgré la très bonne ambiance et bien que très sympathique, l'affluence du public ne favorise pas la réflexion et la résolution d'un tel problème ! Notre tentative d'explication à ce problème d'étalonnage est que le SatFinder exposé au Soleil direct pendant environ 1 heure est devenu instable et a beaucoup dévié.

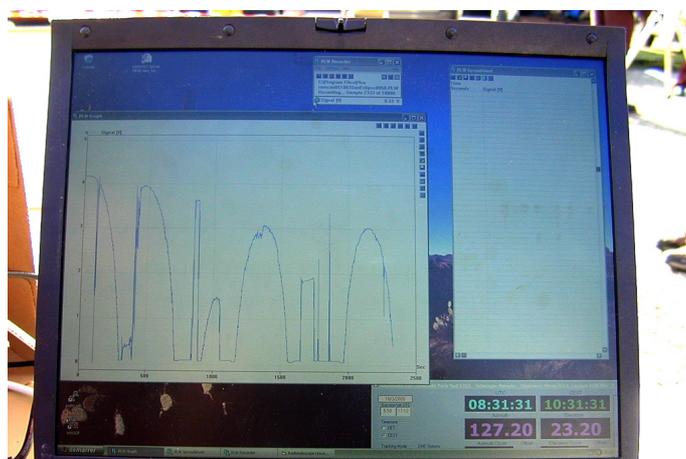


Figure 8. Copie d'écran à 10h31, soit 32 minutes avant le maximum. Le logiciel PicoLog Recorder montre les transits du Soleil depuis 09h00 (courbes gaussiennes), avec les pointages d'étalonnage sur le sol (courbes pseudo rectangulaires).

Tout s'est stabilisé ensuite : les fréquentes mesures d'étalonnage sont cohérentes entre elles, à des niveaux de 6%. Nous mesurons une température de brillance de $1060 \pm 40\text{K}$ et $1430 \pm 50\text{K}$ environ 10 minutes et 4 minutes avant le maximum de l'éclipse, respectivement. Notre étalonnage en temps n'est pas absolu et peut avoir quelques minutes de décalage ; il est cependant troublant que notre minimum d'intensité soit mesuré une dizaine de minutes avant le maximum de l'éclipse. Une explication possible est la présence d'une région active sur le Soleil et qui, masquée un peu avant le maximum, pourrait créer un « minimum radio » décalé temporairement avec le minimum de signal optique. La suite de nos mesures est satisfaisante : la température observée croît d'environ 12K par minute, pour atteindre $8800 \pm 40\text{K}$, environ 70 minutes après le maximum.

Entre la phase non-éclipsée et le maximum de l'éclipse, nous mesurons une variation d'un facteur 8.3 ± 0.4 à 10 GHz sur la puissance reçue. Cela correspondrait à une « obscurité radio » de l'ordre de 88% ($1 - 1/8.3$). Par « obscurité radio » nous entendons le rapport du flux pendant le maximum de l'éclipse avec le flux avant l'éclipse : $1 - [\text{flux pendant éclipse} / \text{flux après éclipse}]$. Cette valeur est à comparer à la variation de flux visible reçu. La grandeur de l'éclipse de 0.701 à Paris, et son obscurité de l'ordre de 60%. Dans le visible, on s'attend à un rapport de flux mesuré de l'ordre de $1/(1-0.6)=2.5$ entre la phase non-éclipsée et éclipsée. La différence est significative entre l'obscurité visible et radio. Une explication possible est que l'émission radio 10 GHz est dominée ce jour-là par une petite région du Soleil ; quand celle-ci est éclipsée, le flux solaire radio décroît d'autant, augmentant ainsi l'« obscurité radio ». Un autre argument est en faveur de la présence d'une région active ce jour : notre étalonnage donne environ 8800K pour la température de brillance du Soleil, contre environ 6000K quelques semaines plus tôt. Bertrand Flouret, de la station de Radioastronomie de Nançay, nous a confirmé depuis l'existence d'une petite zone active.

Enfin, nous pouvons donner une limite inférieure sur la taille de la source d'émission radio pendant l'éclipse. Nous avons déjà vu que la durée du transit nous renseigne sur la taille de la source de rayonnement. Vers les instants du maximum, nous mesurons que les transits ne durent que 1.80 minutes (figure 10), contre 10 minutes sans éclipse. Nous en déduisons que la taille angulaire de la région émettrice est 5.5 fois plus petite que le Soleil, soit environ 6 minutes d'arc. Cette estimation reste imprécise, car même une source ponctuelle transiterait dans le lobe de l'instrument en environ 8.6 minutes. Notre transit au maximum de l'éclipse très court de 1.80 minutes n'est donc pas un vrai transit, il correspond probablement à la partie supérieure d'un transit ; la partie inférieure n'est pas détectée probablement par manque de sensibilité.

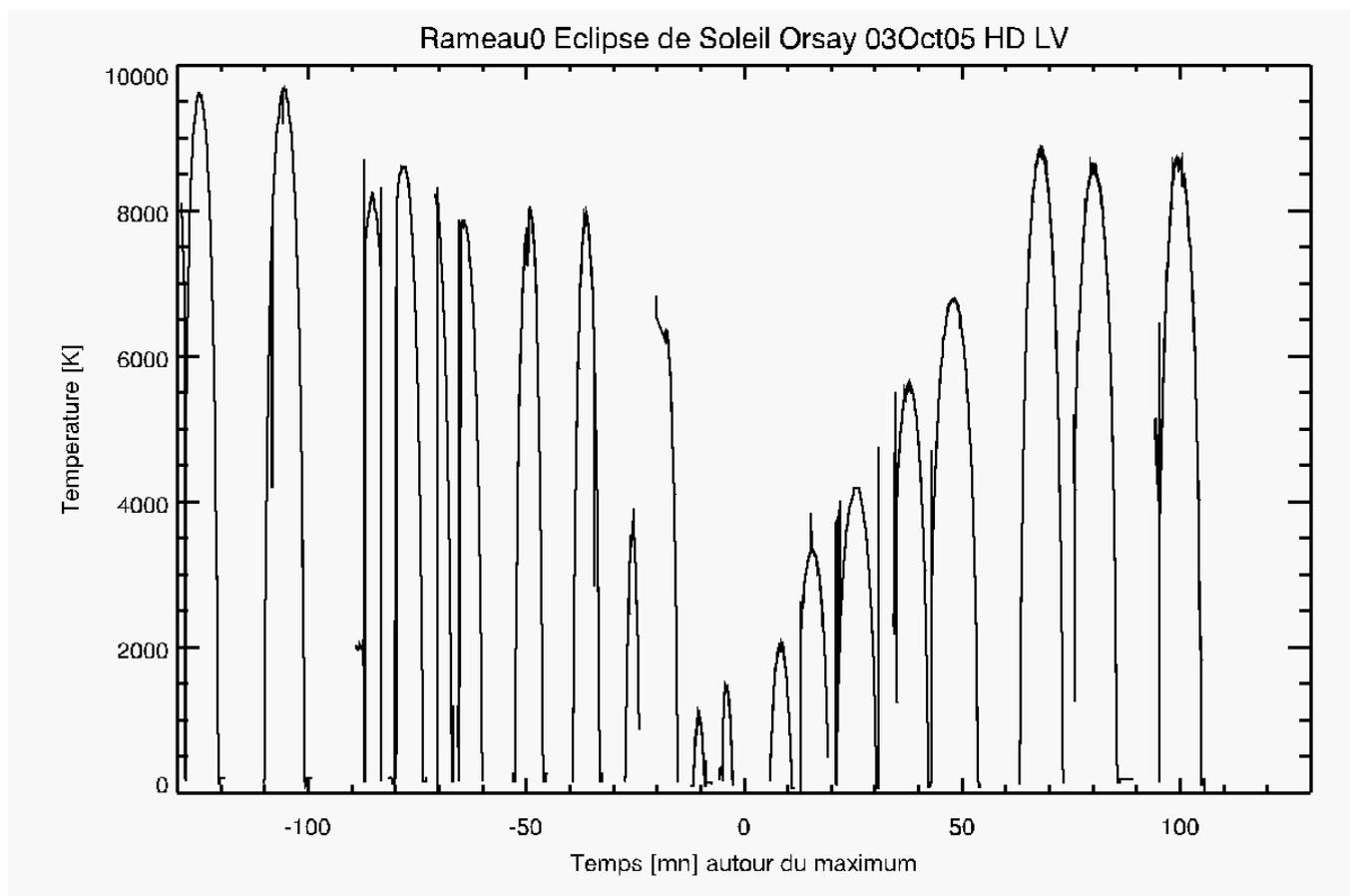


Figure 9. Résultat final et étalonné de l'observation de l'éclipse partielle avec RAMEAU0. Des problèmes d'étalonnage durant la première phase de l'éclipse rendent les résultats non pertinents. En revanche, du maximum jusqu'à la fin de l'éclipse, l'étalonnage régulier a permis des mesures de qualité, montrant bien la variation de puissance reçue au sol.

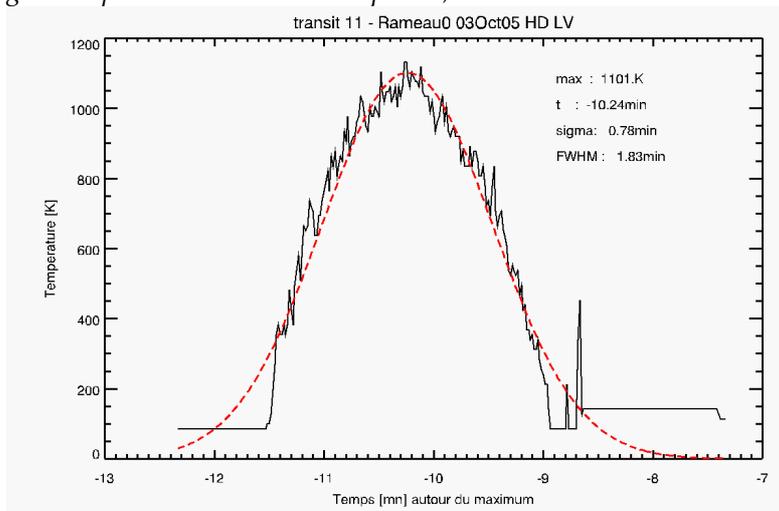


Figure 10. Zoom sur le transit 11, le plus faible, proche du maximum de l'éclipse. Un ajustement gaussien (tiret) est effectué, et donne la valeur de la largeur à mi-hauteur.

Conclusions

RAMEAU0 est un radiotélescope à faible coût qui observe le Soleil à 10 GHz (soit 3cm). Après quelques tests préliminaires, nous avons observé le 3 octobre 2005 l'éclipse de Soleil, partielle à Orsay. Malgré quelques problèmes d'étalonnage lors de la première partie de l'éclipse, les mesures ont bien fonctionné ensuite grâce à l'électronique qui s'est stabilisée et grâce aux mesures d'étalonnage sur le sol plus fréquentes (tous les 1/4h environ). Nous mesurons sur le Soleil un facteur 7 de variation dans le flux reçu entre le maximum de l'éclipse et après l'éclipse, et mettons en évidence la variation de taille angulaire de la source émettrice. Nous déduisons aussi la présence d'une région active sur le Soleil au moment de l'éclipse. Cette observation, très simple techniquement, montre qu'il est possible et facile d'obtenir des résultats quantitatifs. La construction d'un tel radiotélescope, la prise de mesures et l'analyse des résultats peuvent constituer des projets scientifiques et pédagogiques intéressants à tous les niveaux : du collègue au Doctorat. Ainsi l'Université Paris-Sud 11 proposera en 2006 des travaux pratiques d'Astrophysique Expérimentale en Licence, avec dix radiotélescopes similaires à RAMEAU0. D'autres structures, en particulier les associations d'astronomie amateur, peuvent aussi facilement tenter l'expérience des observations radio à 10 GHz.

Notes & Liens

- (1) Institut d'Astrophysique Spatiale <http://www.ias.u-psud.fr>
- (2) Radiotélescope RAMEAU <http://lully.as.arizona.edu/~hdole/enseignement/rameau>
- (3) Astrophysique Expérimentale <http://www.lmd.u-psud.fr/licence/sts/Modules/Phys243.html>
- (4) Site de Bertrand Flouret <http://astrosurf.com/radioastro/>
- (5) Aphélie <http://www.astrosurf.org/aphelie>
- (6) Cartes d'acquisition Pico <http://www.picotech.com/>
- (7) Association ALCOR <http://astro.alcor.orsay.free.fr>

Hervé Dole est astrophysicien, Maître de Conférences à l'Institut d'Astrophysique Spatiale, Université Paris-Sud 11. Sauf mention contraire, les photos sont de l'auteur. L'auteur remercie chaleureusement Pierre Lauginie, Laurent Verstraete et Vincent Ezratti pour l'organisation réussie des observations publiques de l'éclipse. Il remercie également ses collègues, personnels de l'Université et amis impliqués dans RAMEAU et qui oeuvrent pour son succès.