

Radio Astronomie Amateur: construisez un radio télescope micro ondes avec le RAL10AP

Flavio Falcinelli

RadioAstroLab s.r.l. 60019 Senigallia (AN) - Italy - Via Corvi, 96

Tel: +39 071 6608166 - Fax: +39 071 6612768

info@radioastrolab.it

www.radioastrolab.com

traduction française Jean Marie Polard F5VLB



La famille de récepteurs *RAL10* pour la radioastronomie amateur développée par *RadioAstroLab* a été enrichie avec le *RAL10AP*. Il est le plus petit radiomètre de la famille, est assemblé et prêt à utiliser, c'est le "grand frère" du *RAL10KIT*.

Cet outil utilise le module radiométrique *microRAL10* (le "cœur" du récepteur) avec l'alimentation et l'interface qui permet de communiquer avec un ordinateur, avec le logiciel d'acquisition *DataMicroRAL10*. La fonctionnalité supplémentaire (et unique) du *RAL10AP* est la sortie audio post-détection: quand elle est connectée à un amplificateur externe ou à une entrée audio PC, il est possible d'écouter les signaux détectés et leur suivi grâce à un logiciel téléchargeable gratuitement pour l'analyse de spectrogrammes.

La chaîne initiale du système de réception est réalisée avec des composants commerciaux du marché de la télévision par satellite, non inclus dans le forfait: il y a une grande liberté dans le choix d'une antenne à réflecteur parabolique avec son LNB et le câble coaxial pour la connexion au système.

Pour ceux qui veulent optimiser les performances du radio télescope, nous suggérons d'utiliser une unité extérieure *RAL10_LNB* thermiquement contrôlée et *RAL230ANT*, une antenne parabolique de 2,3 mètres de diamètre, l'unité extérieure peut être facilement installée sur des montures équatoriales couramment utilisés pour les observations astronomiques optiques ou sur les systèmes de rotation des antennes utilisées par les radioamateurs. L'expérimentateur sera en mesure de personnaliser et d'optimiser sa station de radioastronomie, notre catalogue comprend tous les accessoires nécessaires.

RadioAstroLab offre également un service de conseils et une production "ad hoc" des outils pour la radioastronomie amateur et pour les applications scientifiques en général. Le conseil peut consister en des modifications ou des personnalisations spécifiques demandées par les clients, ou à la conception et la production de systèmes pour la radio astronomie complets et des radiotélescopes amateurs et semi-professionnels. Ce service est offert pour les demandes de particuliers, mais aussi pour celles de groupes (tels que, par exemple, astronomes amateur ou radio amateurs), de groupes de travail scientifiques, des écoles et des universités, du gouvernement et des institutions de recherche privés, des musées et instituts scientifiques, ce genre d'organisations demande souvent des solutions personnalisées.

Dans ce document, nous décrivons comment construire un radiotélescope à l'aide du *RAL10AP* qui est la première approche à la radioastronomie.

Introduction

La construction de radio télescopes à micro-ondes simples et peu coûteux, fonctionnant dans la bande de fréquences 10-12 GHz, est maintenant grandement simplifiée si vous utilisez des systèmes et des composants ou des antennes du marché de la télévision par satellite, disponible partout à faible coût. Un instrument similaire permet une approche simple et immédiate à la radioastronomie et les acquisitions des techniques et des interprétations des mesures de base. Grâce au déploiement commercial du service de télévision par satellite ces composants sont facilement disponibles tels que les modules préamplificateurs à bas bruit, des convertisseurs (LNB: Low Noise Block). Dans ce large éventail de produits sont inclus les antennes à réflecteur parabolique disponibles en différentes tailles, complet avec le support mécanique pour le montage et l'orientation.

En utilisant une antenne commune pour la TV-SAT avec son unité extérieure spécifique LNB (avec son cornet) et les reliant à un *RAL10AP*, vous pouvez construire un radiomètre fonctionnant à 11.2 GHz pour l'étude du rayonnement thermique du soleil, la lune, et les radio sources les plus intenses, ayant une sensibilité essentiellement fonction de la taille de l'antenne utilisée. C'est un outil complet qui fournit également l'interface USB de communication avec un ordinateur, la sortie audio du signal détecté et le logiciel *DataMicroRAL10* pour l'acquisition automatique de données et de contrôle du récepteur.

L'utilisateur doit seulement connecter les composants selon les instructions fournies, fournir une source d'énergie et assembler le système dans un boîtier: le radio télescope est prêt à commencer les observations. La construction et le développement de cet outil pourrait être abordée avec succès par les étudiants, radio amateurs et les amateurs de radioastronomie, et ainsi leur permettre d'obtenir des résultats immédiats.

Comme la longueur d'onde est courte, il est relativement simple de construire des radio télescopes amateurs avec de bonnes fonctionnalités et une résolution acceptable. Bien que dans cette gamme de fréquence les sources radio ne sont pas particulièrement intenses (à l'exclusion du Soleil et de la Lune), la sensibilité du système est renforcée par la large bande passante utilisée et l'influence réduite des perturbations artificielles: le radiotélescope peut être installé sur le toit ou le jardin de la maison dans une

zone urbaine. Les satellites géostationnaires peuvent aussi être des sources d'interférence, vous pouvez les éviter sans limiter la portée de l'observation, car leur position est fixe et connue. Comme nous le verrons, la capacité de surveiller le signal audio détecté en utilisant l'un des programmes gratuits téléchargés pour l'analyse des spectrogrammes, vous permet de vérifier la présence de signaux d'interférence radio d'origine artificielle.

Pour son économie et praticité le *RALIOAP* représente le meilleur point de départ pour les fans qui veulent aborder le monde de l'astronomie amateur observant le ciel avec une approche différente par rapport à la traditionnelle voie optique.

Le récepteur: comment fonctionne un radiomètre Total-Power (puissance totale).

Le radiomètre est un récepteur à micro-ondes très sensible et calibré, utilisé pour mesurer la température associée au signal intercepté par l'antenne, car tout objet naturel émet du bruit en fonction de sa température et de ses caractéristiques physiques.

En radiométrie il est commode d'exprimer la puissance en termes de température équivalente: selon la loi de Rayleigh-Jeans, qui s'applique aux fréquences micro-ondes, il est toujours possible de déterminer la température (appelée température de brillance) d'un corps noir qui rayonne la même puissance que l'énergie dissipée par une résistance de terminaison connectée à l'antenne (température de l'antenne) de réception. Considérant une antenne idéale "voyant" un objet caractérisé par une température de brillance donnée, on peut exprimer la puissance du signal mesuré à partir de l'antenne comme étant celui de la température de l'antenne. L'objectif de la mesure radiométrique consiste à dériver la température de brillance de l'objet à partir de la température de l'antenne avec une résolution et une précision suffisante.

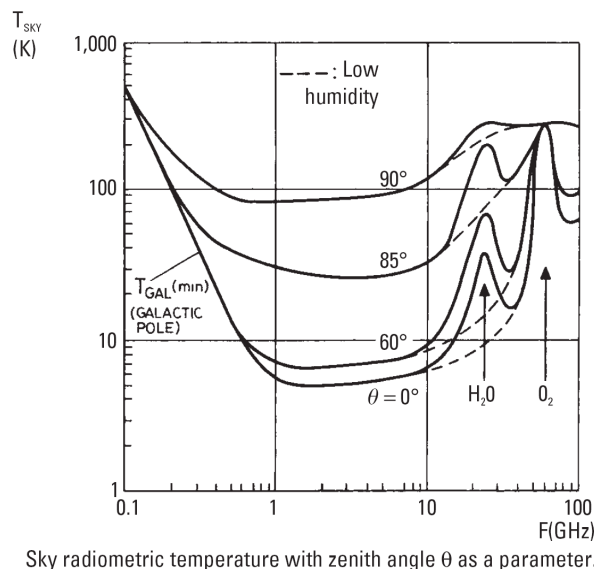


Fig. 1: Température de brillance du ciel en fonction de la fréquence et de l'angle d'élévation de l'antenne.

En radioastronomie le signal reçu est proportionnel à la puissance du rayonnement dans la bande passante de l'instrument, et à la température de brillance de la région de ciel "vu" par le lobe de l'antenne. Le radiomètre se comporte comme un thermomètre qui mesure la température de bruit équivalente du signal céleste observé. Notre radio télescope, fonctionnant à la fréquence de 11.2 GHz, il détecte une

température à très faible bruit (en raison du rayonnement fossile environ 3 K), en général de l'ordre de 6 à 10 K (le ciel froid) qui correspond à la plus basse température mesurable à partir de l'instrument et prend en compte les pertes instrumentales (Fig.1), si l'antenne est orientée vers une région de ciel clair et sec, où les sources de radio sont absentes (atmosphère claire, avec l'absorption atmosphérique négligeable - la figure 2.). Si l'orientation de l'antenne est maintenue à 15°-20° au-dessus de l'horizon, loin du Soleil et de la Lune, nous pouvons supposer une température d'antenne entre quelques degrés et quelques dizaines de degrés (dû principalement à ses lobes secondaires). En pointant l'antenne vers le sol, la température monte à des valeurs de l'ordre de 300° K aussi fonction des lobes secondaires.

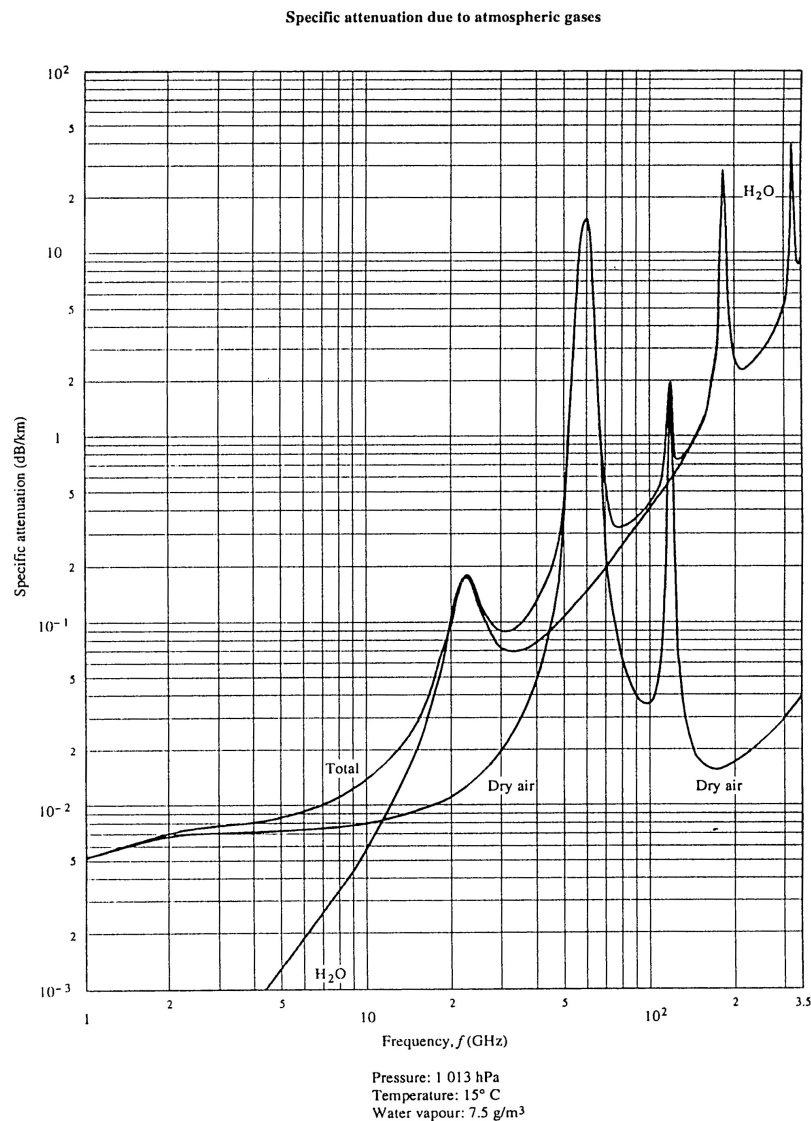


Fig. 2: Atténuation du fait des propriétés d'absorption du gaz présent dans l'atmosphère.

Le radiomètre à micro-ondes le plus simple (figure 3) comprend une antenne connectée à un amplificateur à faible bruit (LNA: Low Noise Amplifier) suivi d'un détecteur à caractéristique quadratique. L'information utile pour l'astronomie radio est la puissance associée au signal reçu (puissance qui est proportionnelle au carré du signal reçu): le dispositif qui assure cette fonction est le

détecteur, généralement réalisé avec une diode fonctionnant dans la zone de sa courbe caractéristique de la réponse quadratique. Afin de réduire la contribution des fluctuations statistiques du bruit détecté, et donc optimiser la sensibilité du système de réception, on la fait suivre d'un bloc intégrateur (filtre passe-bas) qui calcule la moyenne temporelle du signal détecté en fonction d'une constante de temps donnée.

Le radiomètre qui vient d'être décrit est appelé récepteur à puissance totale car il mesure la puissance totale associée au signal reçu par l'antenne et le bruit généré par le système. Le signal de sortie de l'intégrateur se présente comme un composant quasi-continu en raison de la contribution de bruit du système avec de faibles variations (d'amplitude très inférieure à celle de la composante stationnaire) due aux sources radio qui transitent devant le lobe de l'antenne. L'utilisation d'un circuit différentiel de post-détection, et si les paramètres de réception sont stables, il est possible de mesurer uniquement les changements de puissance dus à la radiation provenant de l'objet "pointé" par le lobe de réception, "effaçant" la composante quasi continue du bruit du système de réception: tel est le but du signal de remise à zéro de la ligne de base représentée sur la Fig. 3.

Le principal problème des observations de radioastronomie est lié au facteur d'instabilité de l'amplification du récepteur par rapport aux changements de température: vous pouvez observer les dérives sur la composante quasi-continue qui est détectée et qui brouille l'instrument, annulant partiellement l'action de compensation de la ligne de base. Ces fluctuations sont indiscernables des "variations utiles" du signal. Si la chaîne de réception amplifie considérablement, et en raison de l'instabilité, il est facile d'observer des fluctuations dans le signal de sortie de manière à constituer une limite pratique à la valeur maximale utilisée pour l'amplification. Ce problème peut être partiellement résolu, avec des résultats satisfaisants dans les applications amateurs, en stabilisant thermiquement le récepteur et l'unité extérieure (LNB: Low Noise Block) située au point focal de l'antenne, l'endroit le plus soumis aux variations de la température quotidienne.

Spécialement conçu à cet effet l'unité *RAL10_LNB*, est disponible sur demande: le dispositif, installé au point focal de l'antenne, peut être connecté par un câble coaxial TV-SAT à tous les récepteurs de la famille *RAL10*. L'unité, construite dans une boîte robuste en aluminium isolé, est stabilisée thermiquement avec un régulateur interne: un câble électrique (distinct du câble coaxial) fournir la puissance de basse tension (12 V) pour le circuit de stabilisation. L'utilisateur peut choisir ou pas d'alimenter le circuit de stabilisation thermique lorsque les observations nécessitent une grande précision.

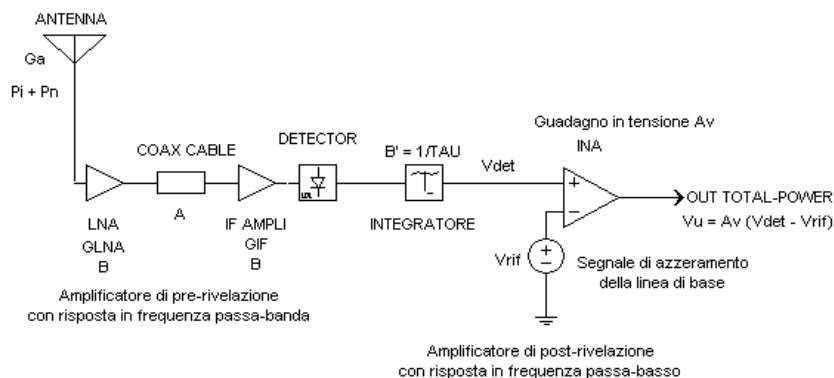


Fig. 3: Schéma simplifié d'un radiomètre puissance totale.

Nous décrivons brièvement les caractéristiques du module radiométrique qui est au cœur du système. La figure 4 montre un schéma de principe du radio télescope avec un *RAL10AP*. Pour simplifier, le circuit d'alimentation et de sortie audio post-détection ne sont pas représentés. Vous pouvez voir les trois sections

principales du récepteur: la première est le LNB (Low Noise Block) qui amplifie le signal reçu et le convertit dans la bande de fréquence FI [950-2150] MHz standard de la réception de la télévision par satellite. Cet appareil est un produit commercial, habituellement fourni avec l'antenne et les supports mécaniques nécessaires pour le montage. Le gain en puissance de l'unité est de l'ordre de 50-60 dB, avec un facteur de bruit typique compris entre 0,3 et 1 dB. Pour ceux qui veulent optimiser les performances des radiotélescopes, nous vous conseillons d'utiliser l'unité extérieure *RAL10_LNB*, équipé d'un contrôle automatique qui stabilise la température interne.

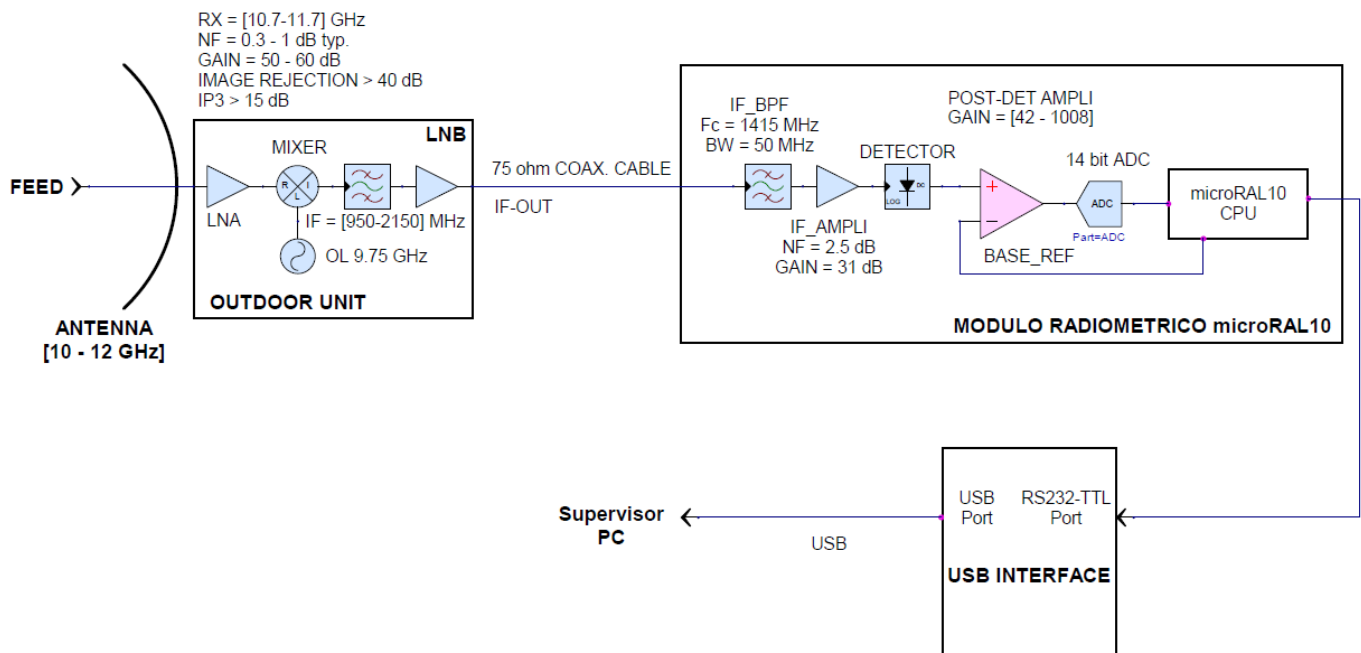


Fig. 4: L'unité extérieure LNB (avec alimentation) est installée au foyer du réflecteur parabolique: un câble coaxial de 75 Ω TV-SAT relie l'unité extérieure avec le *RAL10AP* qui communique avec le PC (sur lequel vous avez installé le logiciel *DataMicroRAL10*) à travers une interface USB. Le système utilise un protocole de communication propriétaire. Dans le schéma les circuits audio de sortie d'alimentation et de post-détection ne sont pas représentés. Le récepteur *RAL10AP* ne comprend pas l'antenne, l'unité extérieure LNB avec alimentation et le câble coaxial de 75 Ω TV-SAT.

Le signal à la fréquence intermédiaire (FI) est appliqué au module radiométrique qui fournit un filtrage (avec une largeur de bande de 50 MHz centrée sur la fréquence de 1415 MHz), amplifie la puissance reçue et mesure le signal. Une sortie audio auxiliaire est disponible, utile pour la surveillance des caractéristiques du signal détecté: ce signal, appliqué à l'entrée audio d'un ordinateur, peut être amplifié et écouté, ainsi que des études dans le domaine de fréquence, en utilisant l'un des nombreux programmes logiciel gratuit téléchargeable pour l'analyse des spectrogrammes. Etant donné que la sortie audio est prise après l'amplificateur de post-détection, son niveau est fonction du niveau de l'étalonnage radiométrique de la ligne de base. Figue. 9 montre un exemple d'utilisation de la sortie audio (pas exactement de la radio astronomie, mais utile pour identifier les interférences artificielles potentiels). Cette caractéristique est une caractéristique spécifique du *RAL10AP*.

Un amplificateur de post-détection ajuste le niveau du signal détecté à la dynamique d'acquisition du convertisseur analogique-numérique (ADC avec une résolution de 14 bits) qui "numérise" les informations radiométriques. Ce dernier bloc, géré par un microcontrôleur, génère un décalage de la ligne

de base radiométrique (le signal V_{ref} Fig. 3) programmable, calcule la moyenne d'un nombre établi d'échantillons et forme le paquet de données série qui sera transmis à l'unité centrale. La dernière étape est l'interface USB qui gère la communication avec le PC sur lequel le logiciel *DataMicroRAL10* sera installé pour le contrôle de l'acquisition et de l'instrument. Le processeur exécute les fonctions critiques du traitement et de commande en minimisant le nombre de composants électroniques externes et permet de maximiser la flexibilité du système en plus de la possibilité de programmer les paramètres de fonctionnement de l'instrument. L'utilisation d'un module spécialement conçu pour les observations de radioastronomie, qui intègre toutes les fonctionnalités d'un récepteur radiométrique, assure à l'expérimentateur des performances sûres et reproductibles.

En supposant que vous utilisez un LNB de bonne qualité (comme le *RAL10 LNB*), avec un facteur de bruit de l'ordre de 0.3 dB et un gain moyen de 55 dB, vous obtenez une température de bruit équivalente du récepteur de l'ordre de 21 K et un gain de puissance de la chaîne de fréquence radio de l'ordre de 75 dB. Comme vous le verrez, ces avantages sont suffisants pour mettre en œuvre un radio télescope amateur en mesure d'observer les sources radio les plus intenses dans la bande 10-12 GHz. La sensibilité du récepteur va dépendre des caractéristiques de l'antenne qui est le collecteur du rayonnement cosmique, tandis que les excursions thermiques influencent la stabilité et la reproductibilité de la mesure.

L'utilisation d'antennes avec une grande surface efficace est une condition indispensable pour les observations de radioastronomie: il n'y a pas de limite quant à la taille de l'antenne utilisable, à l'exception des facteurs économiques, de l'espace, et l'installation liée à la structure de soutien et de système de motorisation de pointage. Ce sont les domaines où l'imagination et l'habileté de l'expérimentateur sont cruciaux pour définir les performances de l'appareil et peuvent faire la différence entre une installation et l'autre. Même si avec l'aide du *RAL10AP* on assure les exigences minimales pour le radiotélescope, le travail d'optimisation de votre système avec un bon choix et l'installation de pièces RF critiques (antenne, cornet et LNB), la mise en œuvre de techniques qui minimisent les effets négatifs des gammes de température, vous donne des avantages dans la performance de l'instrument.

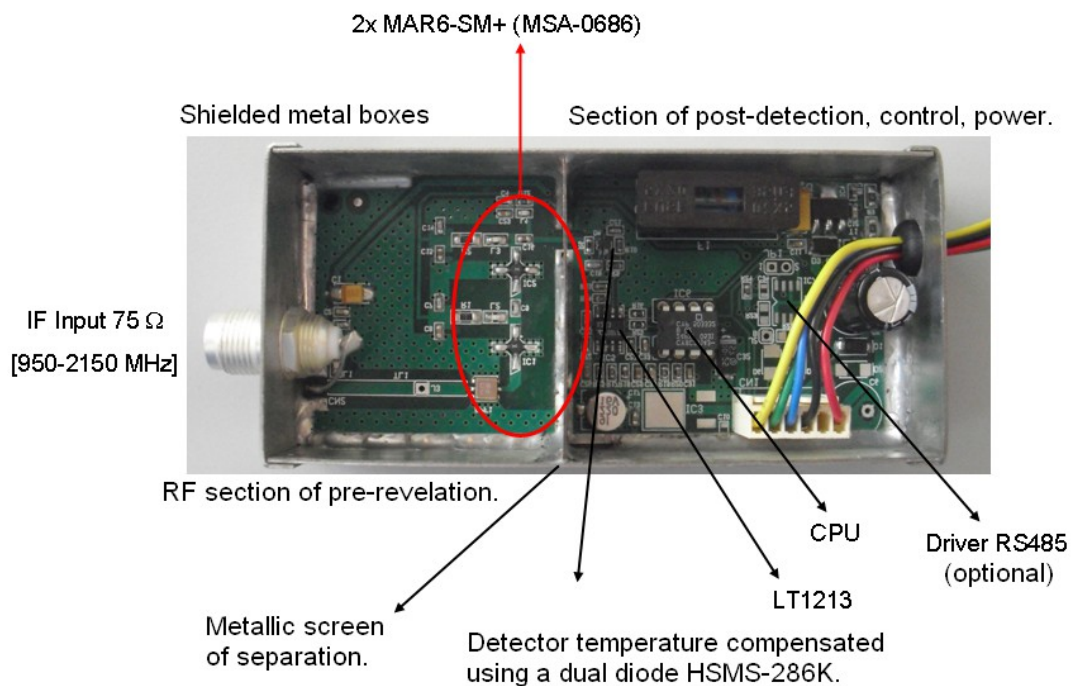


Fig. 5: Les pièces internes du module de *microRAL10* radiométrique, le cœur du *RAL10AP*.



Fig. 6: Vue avant et arrière du *RAL10AP*: vous voyez (à gauche) connecteur pour le 12 VDC alimentation principale, le porte-fusible et leds pour indiquer l'état de l'alimentation principale et de l'alimentation de l'unité extérieure LNB via le câble coaxial (les leds seront éteintes lorsque le fusible respectif est brûlé), la sortie post-détection audio (BF-OUT) et le port USB (type B) pour transférer les données acquises vers le PC (avec des LED qui indiquent la direction du flux de données). Sur le panneau arrière, un connecteur 'F' pour le signal d'entrée (IN RF) provenant de l'unité externe LNB. L'alimentation indiquée sur les photos n'est pas comprise dans le forfait et est disponible sur demande.

Le RAL10AP a été conçu pour réaliser les performances suivantes:

1. Récepteur comprenant un filtre passe-bande, amplificateur FI, détecteur à caractéristique quadratique (compensé en température), amplificateur post-détection avec gain programmable, le décalage programmable et constante d'intégration, acquisition du signal radio avec une résolution ADC 14 bits, microcontrôleur pour la gestion de l'appareil et pour la communication série. Alimentation du LNB à travers le câble coaxial pet possibilité de commutation sur deux niveaux différents de tension (environ 12.75 V et 17.25 V), ainsi vous pouvez sélectionner la polarisation souhaitée à la réception (horizontale ou verticale).
2. Fréquence centrale et bande passante d'entrée compatible avec la fréquence radio astronomique protégée de 1420 MHz ainsi que les valeurs de la norme FI de la télévision par satellite. Définir et limiter la bande passante du récepteur est important pour assurer la répétabilité des performances

et minimiser les effets des interférences externes (les fréquences proches du 1420 MHz devraient être assez libres d'émissions parce réservées pour la recherche de radioastronomie). La fréquence de réception du radiotélescope sera 11.2 GHz en utilisant un LNB standard avec oscillateur local à 9,75 GHz.

3. Très faible consommation d'énergie, la modularité, la compacité, l'économie (Fig. 5).

Comme le montre la Fig. 6, le signal du LNB est appliqué au (RF IN) Connecteur coaxial 'F': le récepteur acquiert et traite le signal reçu par l'antenne et transmet les données radiométriques à l'ordinateur par l'intermédiaire du port USB. Une analyse plus poussée sur le signal audio de la post-détection sont possibles en connectant la sortie BF-OUT (avec un câble audio stéréo standard avec mini-jack connecteurs de 3,5 mm, non compris dans le forfait) à l'entrée audio de l'ordinateur qui permet également d'écouter le "bruit détecté". La figure. 9 montre un exemple d'utilisation de la sortie audio, pas exactement de la radioastronomie, mais utile pour identifier les interférences artificielles potentiels.

Le connecteur pour l'alimentation externe 12 VDC a le terminal central relié à la borne positive (+) et la borne externe connecté à la borne négative (-GND) de la tension d'alimentation. Le *RAL10AP* comprend deux fusibles de protection (interruption signalé par la LED) pour l'alimentation principale et pour un LNB (unité extérieure alimentée à travers le câble coaxial).

AVERTISSEMENT: raccordez l'unité extérieure LNB et le récepteur *RAL10AP* hors tension et lorsque le câble d'alimentation n'est pas branché sur le secteur. Avant d'allumer l'instrument, pour éviter d'endommager le bloc d'alimentation, vérifiez l'absence de courts-circuits entre le blindage externe du câble coaxial et le noyau interne. Un fusible (avec LED signalant l'interruption) protège le *RAL10AP* contre les courts-circuits accidentels.

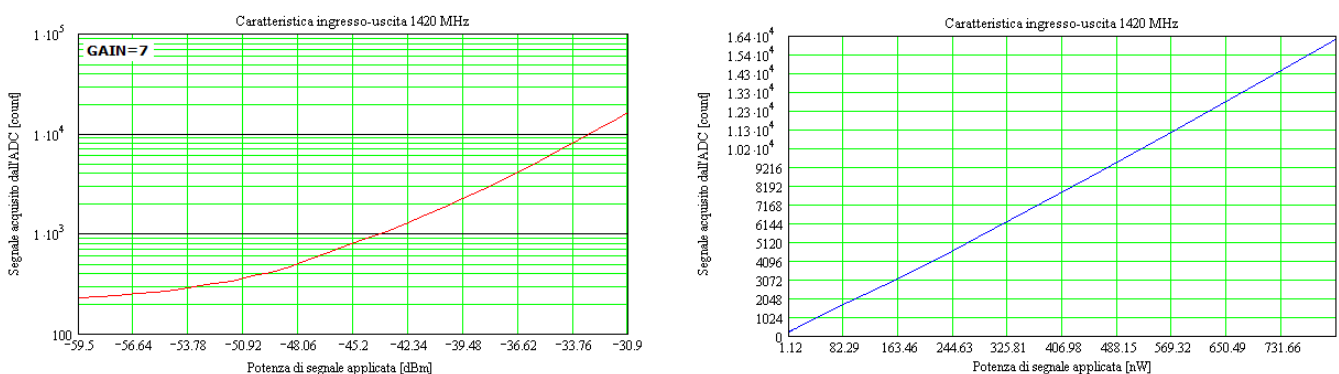


Fig. 7: Caractéristiques d'entrée-sortie du radiomètre obtenues en laboratoire avec un gain post-détection Gain=7 (tension sur les gains égal à 168). L'axe des abscisses indique le niveau du signal RF-FI appliqué, en ordonnée, le niveau de signal acquis par le convertisseur analogique-numérique interne (exprimé en unités relatives [ADC_count]).

La figure 7 montre la réponse du radiomètre lorsqu'un gain GAIN post-détection = 7 est paramétré. La courbe est exprimée en unités relatives de comptage [ADC] quand un signal sinusoïdal avec une fréquence de 1415 MHz est appliqué à l'entrée du module. Les tolérances dans les valeurs nominales des composants, surtout quand cela concerne le gain des dispositifs actifs et de la sensibilité de détection des diodes, génèrent des différences dans l'entrée-sortie caractéristique (pente et offset) entre les différents

modules. Il sera nécessaire d'étalonner l'échelle de l'instrument à une estimation absolue de la puissance associée au rayonnement reçu.

Nous complétons la description expliquant le protocole de communication série développé pour contrôler le radio télescope: ces informations sont utiles pour ceux qui veulent développer des applications personnalisées alternatives aux logiciels *DataMicroRAL10* fournis.

Un ordinateur (maître) émet des commandes au *RAL10AP* (esclave) qui réagit avec les paquets de données comprenant les mesures des signaux acquis, les valeurs des paramètres de fonctionnement et l'état du système. Le format est du série asynchrone, avec Bit Rate de 38400 bits/s, 1 bit de départ, 8 bits de données, 1 bit d'arrêt et pas de contrôle de parité. L'ensemble des commandes transmises par le dispositif maître est le suivant:

Byte 1: <i>adresse=135</i>	Adresse (Valeur décimale) associé au récepteur <i>RAL10AP</i> .
Byte 2: <i>commande</i>	Code de commande avec les valeurs suivantes: commande=10: Définit la valeur de référence pour le paramètre <i>BASE_REF</i> . (Exprimée en deux octets <i>LSByte</i> et <i>MSByte</i>). commande=11: Définit le gain de post-détection <i>GAIN</i> . commande=12: Commande pour envoyer un seul paquet de données (un échantillon). commande=13: Démarrer/Arrêter l'envoi de données dans une boucle continue. TX OFF: [LSByte = 0], [MSByte = 0]. TX ON: [LSByte = 255], [MSByte = 255]. commande=14: récepteur de logiciels RESET. commande=15: Enregistre les valeurs des paramètres radiométriques dans E2PROM. commande=16: Définit la valeur pour l'intégration de mesure <i>INTEGRATEUR</i> constante. commande=17: Règle la réception de polarisation (POL A, B POL.). commande=18: Non utilisé. commande=19: Non utilisé. commande=20: Activer CAL calibrage automatique de la ligne de base.
Byte 3: <i>LSByte</i>	Octet de poids faible des données transmises.
Byte 4: <i>MSByte</i>	Octet de poids fort des données transmises.
Byte 5: <i>checksum</i>	Checksum calculé comme la somme de 8 bits de tous les octets précédente.

La signification des paramètres est la suivante:

***BASE_REF*:** Valeur 16 bits [0 ÷ 65535] proportionnelle à la tension de référence V_{ref} (Fig. 2) permet de définir un décalage la ligne de base radiométrique. Il peut automatiquement ajuster la valeur de *BASE_REF* lors de la procédure d'étalonnage *CAL* (*commande=20*) afin de positionner le niveau du signal acquis de base (qui correspond à "zéro") dans le milieu de l'échelle de mesure. Ce paramètre peut être sauvegardé dans la mémoire interne du processeur en utilisant la *commande=15*.

***GAIN*:** Gain en tension de la post détection. Vous pouvez sélectionner les valeurs suivantes:
GAIN=1: gain réel 42.
GAIN=2: gain réel 48.
GAIN=3: gain réel 56.
GAIN=4: gain réel 67.
GAIN=5: gain réel 84.
GAIN=6: gain réel 112.

GAIN=7: gain réel 168.
GAIN=8: gain réel 336.
GAIN=9: gain réel 504.
GAIN=10: gain réel 1008.

Les valeurs de facteur d'amplification de 1 à 10 sont symboliques: utilisez les correspondances pour connaître les valeurs réelles. Ce paramètre peut être sauvegardé dans la mémoire interne du processeur en utilisant la *commande=15*.

INTEGRATOR: Constante d'intégration de la mesure radiométrique. Les réglages possibles sont:

INTEGRATOR=0: constante d'intégration courte "A".

INTEGRATOR=1: constante d'intégration "B".

INTEGRATOR=2: constante d'intégration "C".

INTEGRATOR=3: constante d'intégration "D".

INTEGRATOR=4: constante d'intégration "E".

INTEGRATOR=5: constante d'intégration "F".

INTEGRATOR=6: constante d'intégration "G".

INTEGRATOR=7: constante d'intégration "H".

INTEGRATOR=8: long constante d'intégration "I".

La mesure radiométrique est le résultat d'un calcul de la moyenne mobile sur des échantillons de $N=2^{INTEGRATOR}$ du signal acquis. L'augmentation de cette valeur permet de réduire l'importance de la fluctuation statistique du bruit sur la mesure, en introduisant un «nivellement» dans le signal reçu ce qui permet d'améliorer la sensibilité du système.

Le paramètre *INTEGRATOR* "lisse" les fluctuations du signal détecté avec un rendement proportionnel à sa valeur. Comme pour tout processus d'intégration de la mesure, il y a un retard dans l'enregistrement des signaux en fonction du temps d'échantillonnage de l'information, du temps de conversion du ADC et pour le nombre d'échantillons utilisés pour calculer la moyenne. Figure. 13 illustre cette notion. Il est possible d'estimer la valeur de la constante de temps τ (en secondes) en utilisant le tableau suivant:

<i>INTEGRATEUR</i>	Constante de temps τ de l'intégrateur[secondes]
0	0.1
1	0.2
2	0.4
3	0.8
4	2
5	3
6	7
7	13
8	26

A POL, B POL: définit la polarisation de réception du LNB:

POL=1: B polarisation (*B POL.*).

POL=2: A polarisation (*A POL.*).

En fonction des caractéristiques de l'appareil utilisé et de son positionnement au point focal de l'antenne, les symboles *A POL.* et *B POL.* indiquent la polarisation horizontale ou verticale.

Ce paramètre peut être sauvegardé dans la mémoire interne du processeur à l'aide de: *commande=15*.

Pour chaque commande reçue le *RAL10AP* répond avec le paquet de données suivant:

Byte 1: ADDRESS=135	Adresse (valeur décimale) associée au <i>RAL10AP</i> .
Byte 2: GAIN + INTEGRATOR	Gain de la post détection et constante d'intégration.
Byte 3: POL	Polarisation en réception (A o B).
Byte 4:LSByte di BASE_REF	Octet de poids faible du paramètre <i>BASE_REF</i> .
Byte 5: MSByte di BASE_REF	Octet de poids fort du paramètre <i>BASE_REF</i> .
Byte 6:	Réservé.
Byte 7:	Réservé.
Byte 8: LSByte di RADIO	Octet de poids faible de la mesure radiométrique.
Byte 9: MSByte di RADIO	Octet de poids fort de la mesure radiométrique.
Byte 10:	Réservé.
Byte 11:	Réservé.
Byte 12:	Réservé.
Byte 13:	Réservé.
Byte 14: STATUS	Variable d'état du système.
Byte 15: CHECKSUM	Somme de contrôle (somme binaire de tous les octets précédents - 8 bits).

Les 4 bits les moins significatifs du Byte2 reçu contiennent la valeur de gain de post-détection (*GAIN*) tandis que les 4 bits les plus significatifs contiennent la valeur de l'intégrateur pour la constante d'intégration (*INTEGRATOR*). Les 4 bits les moins significatifs du Byte3 reçu contiennent la variable *POL* indiquant la polarisation appliquée à la réception.

L'octet 14 *STATUS* représente l'état du système: le bit_0 indique l'état STOP/START de la transmission continue de paquets de données du radiomètre vers le PC, tandis que le bit_1 signale l'activation de la *CAL* du calibrage automatique pour le paramètre *BASE_REF*.

La valeur radio associée à la mesure radiométrique (allant de 0 à 16383) est exprimée par deux octets (LSByte et MSByte), calculés en utilisant l'équation: $RADIO = LSByte + 256 \cdot MSByte$. La même règle vaut pour la valeur du paramètre *BASE_REF*.

Utilisation de la *commande=15*, il est possible de sauver dans la mémoire non volatile du processeur les paramètres gain du radiomètre, *BASE_REF* et *POL*, afin de rétablir les conditions d'étalonnage enregistrées chaque fois que vous allumez l'appareil.

Caractéristiques techniques du *RAL10AP*

- *RAL10AP* dimensions: +/- [105L X 50H X 183P] mm.
- *RAL10AP* poids: +/- 0.545 Kg.
- Fréquence de travail du récepteur: 11.2 GHz (utilisant un LNB standard pour TV sat avec un oscillateur local à 9.75 GHz).
- Fréquence d'entrée (RF-IF) module radiométrique : 1415 MHz.
- Bande passante du récepteur: 50 MHz.
- Gain typique de la section RF-IF: 20 dB.
- Impédance su connecteur F pour l'entrée RF-IF: 75 Ω .
- Double diode en tant que détecteur quadratique à température compensée pour mesurer la puissance du signal reçu.
- Pour régler le décalage de la ligne de base radiométrique.
- Calibration automatique de la radiométrie de base.
- L'intégration constante programmable: Moyenne mobile programmable calculée sur $N=2^{\text{INTEGRATOR}}$ échantillons adjacents acquis. Gamme de constante de temps 0.1 à 26 secondes.
- gain programmable de la tension post-détection: de 42 à 1008 en 10 pas.
- Acquisition du signal radiométrique: résolution sur 14-bit ADC.
- Stockage des paramètres de fonctionnement du récepteur dans la mémoire interne non volatile (E²PROM).
- Un microprocesseur est utilisé pour la commande du système de réception et pour la communication série.
- Module d'interface USB (type B) pour la connexion à un PC en utilisant le protocole de communication propriétaire.
- Sortie post-révélation audio (connecteur stéréo de 3,5 mm mini-jack) pour la surveillance audio.
- Gestion du changement de polarisation (horizontale ou verticale) avec le saut de tension, si vous utilisez des LNB qui ont cette fonction.
- Alimentation (depuis une alimentation stabilisée externe): 12 VDC - 2 A min.
- Alimentation générale protégée par fusible (signalisation de l'interruption par led).
- Alimentation LNB par un câble coaxial, protégé par un fusible (signalisation de l'interruption par led).

AVERTISSEMENT: Le récepteur *RAL10AP* est très sensible quand il est équipé d'une antenne suffisamment grande. **Une amélioration importante de la performance est obtenue par la stabilisation thermique de l'unité extérieure LNB (*Low Noise Block*), soumis à la température extérieure qui fait varier le facteur d'amplification.** Pour cette raison, nous avons développé l'unité extérieure *RAL10_LNB*, équipée d'un régulateur automatique de la température interne. Le dispositif est disponible sur demande.

Le colis contient:

- une unité de contrôle *RAL10AP* à 11.2 GHz le radiomètre à puissance totale à micro onde (Fig. 6).
- un câble USB (avec les connecteur de type A et B) pour connecter le récepteur *RAL10AP* à l'ordinateur.
- Des fusibles de rechange pour alimentation électrique et pour l'alimentation du LNB par le câble coaxial.
- Le logiciel *DataRAL10* pour le contrôle de l'instrument, pour l'acquisition, pour l'affichage et l'enregistrement automatique des données.
- Un CD contenant la documentation technique (manuel d'instruction) de l'instrument et des logiciels, les fiches techniques des produits de *RadioAstroLab*, le paquet logiciel et les pilotes d'installation du *DataRAL10*. Les informations mises à jour sont disponibles sur www.radioastrolab.com.

L'offre ne comprend pas l'unité LNB externe, le câble coaxial de 75 Ω et le système d'antenne, le câble mini-jack audio et l'alimentation externe. Avec un *RAL10AP* vous pouvez utiliser n'importe quel kit commercial pour la réception bande satellite de 10-12 GHz (antenne parabolique et l'unité réflecteur en plein air avec une alimentation du LNB) avec un câble coaxial TV-SAT 75 Ω , coupé à la bonne longueur et équipé avec des connecteurs F. Vous obtenez la meilleure performance du radiomètre en utilisant l'unité extérieure stabilisée thermiquement *RAL10_LNB*.

Il est possible d'alimenter le *RAL10AP* avec une source externe: cette option est utile pour les sessions de mesure "sur le champ" où il n'est pas possible de prendre la tension du réseau. Particulièrement adapté à cet effet est l'unité *RAL10BT* avec batterie rechargeable.

RadioAstroLab garantit ses produits pour une période d'un an lorsqu'il sont utilisés selon les instructions et les recommandations de ce document. Le fabricant n'est pas responsable de tout dysfonctionnement ou dommages aux biens causé par une mauvaise installation ou en raison de l'utilisation de composants externes, qui ne conviennent pas, (unité extérieure, système d'antenne, pièces mécaniques utilisés pour la fixation et suivi).

Le fabricant se réserve le droit de modifier, sans préavis, la matériel et de la documentation afin d'améliorer les performances.

Pour obtenir les meilleurs résultats avec le récepteur *RAL10AP*, il est essentiel que vous lisiez attentivement ce manuel, qui peut ne pas être complet à cause de la complexité des applications de radioastronomie.

Les mises à jour de ce document et les notes d'application qui décrivent et traitent sur des sujets spécifiques seront reprises sur le site internet.

***DataMicroRAL10* logiciel d'acquisition et de contrôle des données.**

L'offre de *RAL10AP* comprend le logiciel d'acquisition et de contrôle *DataMicroRAL10*: c'est tout ce que vous devez avoir, en tant que niveau de base, pour gérer notre radiotélescope. *DataMicroRAL10* est une application développée pour surveiller, capturer, visualiser (sous forme graphique) et enregistrer les données du radiotélescope. Le programme est simple et le design essentiel, développé pour une utilisation immédiate et légère sur les ordinateurs équipés de systèmes d'exploitation Windows (32-bit et 64-bit), Mac OS X (Intel et PPC) et Linux (32 bits et 64 bit), équipé d'au moins un port USB standard. Vous pouvez utiliser le programme sans restrictions de licence et/ou le nombre d'installations. Voici les instructions pour installer le programme:

1. Les systèmes d'exploitation Windows avec architecture 32 bits (x86) et 64 bits (x64):

Copiez le dossier *DataMicroRAL10 XX Win x86* ou *DataMicroRAL10 XX Win x64* sur votre bureau (ou dans un autre répertoire spécialement créé). Dans les dossiers précédents sont situées, respectivement, les installateurs *DataMicroRAL10 XX configuration X86.exe* ou *DataMicroRAL10 XX configuration x64.exe*. Ouvrez le fichier de votre système pour lancer l'installation et suivez les instructions de l'assistant d'installation. Le programme d'installation va installer le programme dans le répertoire *C:\program files\DataMicroRAL10 XX*.

Systèmes d'exploitation Mac OS X:

Copiez le dossier *DataMicroRAL10 XX Mac OS X* sur votre PC (tel que votre bureau ou dans un autre répertoire spécialement créé): l'intérieur se trouve le fichier *DataMicroRAL10 XXapp*, le programme ne nécessite pas d'installation.

Systèmes d'exploitation Linux avec l'architecture 32 bits (x86) et 64 bits (x64):

Copiez le dossier *DataMicroRAL10 XX Linux x86* ou *DataMicroRAL10 XX Linux x64* sur votre bureau (ou dans un autre répertoire spécialement créé). Dans les dossiers précédents sont situées, respectivement, *DataMicroRAL10_X.X_x86.sh* et *DataMicroRAL10_X.X_x64.sh*, les programmes ne nécessitent pas d'installation.

2. Avant de commencer le programme, il est essentiel d'installer l'interface du pilote du port USB du PC. Les pilotes pour les différents systèmes d'exploitation (qui émulent un port série COM) et les instructions d'installation sont disponibles pour téléchargement sur le site:

<http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>

Choisissez parmi les options disponibles pour la puce FT232R (utilisée dans le module d'interface) celle qui est compatible avec votre système d'exploitation et l'architecture de votre PC. De cette façon, vous êtes sûr d'obtenir toujours la dernière version du firmware. Sur la page du site sont également données les instructions simples pour l'installation du pilote.

3. Une fois que vous avez effectué les étapes ci-dessus, connectez le câble USB à l'ordinateur et alimentez le radiotélescope.
4. Maintenant, le système est prêt pour la session de mesure. Vous pouvez lancer le logiciel d'acquisition *DataMicroRAL10 XX* en double-cliquant sur l'icône créée sur le bureau ou le menu de démarrage.

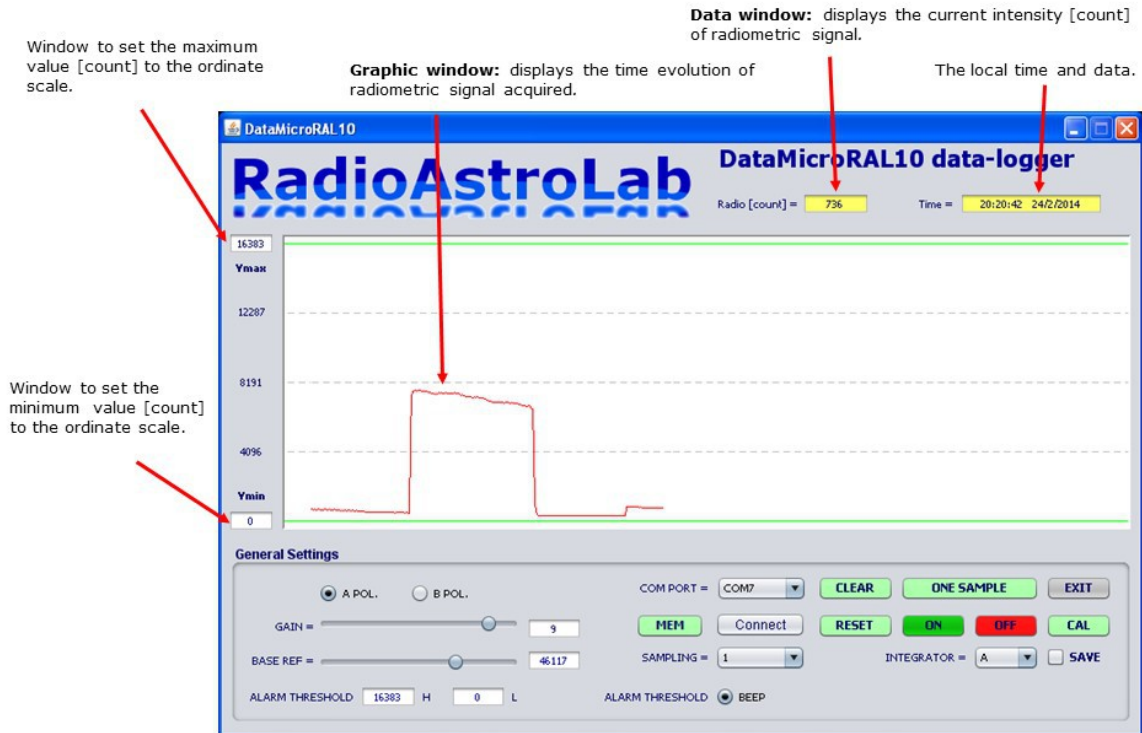
Les mises à jour du programme seront téléchargées gratuitement à partir du site www.radioastrolab.com.

DataMicroRAL10 est une fenêtre de terminal qui combine les fonctions du programme: une zone graphique affiche l'évolution dans le temps du signal acquis, une boîte affiche la valeur numérique de chaque échantillon (*Radio [count]*), il y a des boutons pour le contrôle et pour les paramètres généraux. Lors du démarrage du programme (double-cliquez sur *ON*) un contrôle est activé sur les ports série virtuels disponibles sur votre PC, répertoriés dans la fenêtre *COM PORT*. Après avoir sélectionné le port engagé par le pilote (l'autre, le cas échéant, ne fonctionne pas) on ouvre la connexion en appuyant sur le bouton *Connect*. Maintenant, vous pouvez commencer à recueillir des données en appuyant sur le bouton vert *ON*: la trace graphique du signal est mis à jour en temps réel avec la valeur numérique de l'amplitude, exprimée en unités relatives à la fenêtre *Radio [count]*. Le flux de données entre l'instrument et le PC est indiqué par le clignotement des lumières (rouge et vert) leds sur le récepteur *RAL10AP*.

Le panneau *General Settings* comprend des commandes pour les réglages généraux du programme et de contrôler l'instrument. Le paramètre *SAMPLING* définit le nombre d'échantillons à moyenner (donc chaque incrément de temps doit être mis à jour la trace graphique): il définit la vitesse d'alimentation de la carte, le total des données enregistrées pour chaque session de mesure (connecté à un fichier *.TXT pour chaque écran graphique). Le choix de la valeur à affecter à ce paramètre est une fonction des caractéristiques de la variabilité des besoins de signal et de filtrage.

L'application contrôle le *RAL10AP*: le réglage du facteur d'amplification *GAIN*, la base de référence *BASE_REF* pour le réglage de base, la commande *RESET* du récepteur, l'activation de la procédure d'étalonnage automatique *CAL*, l'acquisition d'un seul échantillon de signal. Tous les paramètres, sauf pour la commande *RESET*, seront acceptés par le radiomètre seulement quand il n'y a pas l'acquisition des données en continu. La date et l'heure locales seront visibles sur la fenêtre *Time* en haut à droite.

Le côté gauche de la zone graphique comprend deux champs éditables où vous définissez la valeur inférieure (*Ymin*) et la valeur supérieure (*Ymax*) de l'échelle des ordonnées, les limites de la représentation graphique: de cette façon vous pouvez mettre en évidence les détails dans l'évolution du signal acquis en effectuant un "zoom" sur la trace. La touche *CLEAR* efface la fenêtre graphique tandis que l'option *SAVE* permet l'enregistrement des données acquises à la fin de chaque écran dans un fichier texte formaté (extension *.txt) est facilement importé par tous les systèmes de tableurs électroniques pour un traitement ultérieur.



Basic settings of the program, sliders and buttons for remote control of the instrument.

Fig. 8: Le logiciel *DataMicroRAL10*.

L'enregistrement des données se produit uniquement si, au cours d'un écran, le signal acquis dépasse le *ALARM THRESHOLD High e Low* préalablement définis (traces continues vertes). En particulier, la condition suivante doit être vérifiée:

$$\text{Radio} \geq \text{Threshold } H \quad \text{ou} \quad \text{Radio} \leq \text{Threshold } L.$$

Il est possible d'activer une alarme sonore qui s'active chaque fois que le signal radiométrique dépasse les seuils mentionnés ci-dessus (fig. 8).

Chaque fichier est identifié par un nom "root" suivi d'un numéro de série identique à la séquence des écrans graphiques. Un exemple d'un fichier enregistré à partir *DataMicroRAL10* est la suivante:

```
DataMicroRAL10
Sampling=1
Guad=10
Ref_Base=33880
Integrator=3
Polarization=A
Date=29/3/2013

TIME RADIO
14:31:50 3777
14:31:50 3781
```



```
14:31:50 3770
14:31:50 3816
14:31:50 3788
.....
.....
```

Vous voyez un en-tête qui contient le nom du programme, les réglages des paramètres et de la date de début de la session de mesure. Chaque ligne de données comprend l'heure locale de l'acquisition de l'échantillon unique et sa valeur exprimée en unités relatives [$0 \leq ADC\ count \leq 16383$], séparés par un espace. La valeur maximum de l'échelle, puis la résolution de la mesure sont déterminés par les caractéristiques dynamiques du convertisseur analogique/numérique du récepteur (14 bits).

Il est possible d'enregistrer les paramètres de fonctionnement du récepteur dans une mémoire non-volatile (Gain post-détection *GAIN*, offset pour la ligne de base radiométrique *BASE_REF* et de la polarisation à la réception *POL*) via la commande *MEM*: de cette façon, à chaque fois que vous allumez l'instrument, les conditions de travail optimales seront restaurées, elles ont été obtenues après une calibration appropriée et dépendra des caractéristiques de la chaîne du récepteur et du scénario observé.

Pour votre commodité, nous attachons la feuille *ImportaDati_DataMicroRAL10*: c'est une feuille de calcul avec des macros (en EXCEL) qui vous permet d'importer un fichier précédemment enregistré à partir de *DataMicroRAL10*. Vous pouvez créer automatiquement des graphiques (librement modifiable dans les paramètres) chaque fois que vous appuyez sur le bouton *OPEN FILE* un fichier et sélectionnez un fichier à importer: les nouvelles données seront remplacés dans le tableau, tandis que les graphismes seront tout simplement chevauchés. Vous devez déplacer les graphiques pour mettre en évidence ce qui est intéressant. Vous devez activer la "macro" à partir d'Excel lorsque vous ouvrez *ImportaDati_DataMicroRAL10*.

Performance du radio telescope.

Les paramètres critiques d'un radiotélescope sont:

- *Antenne*: gain, largeur du lobe principal, la forme du diagramme de réception.
- *La figure de bruit, gain global et la bande passante des blocs de pré-détection*.
- *La sensibilité de détection*: dépend du type de détecteur utilisé.
- *Gain de post-détection*.
- *La constante de temps de l'intégrateur*: il permet de réduire les fluctuations statistiques du signal de sortie.

Nous avons vérifié les performances théoriques d'un télescope radio qui utilise une antenne commune pour la TV-SAT (avec des diamètres typiques allant de 60 cm à 200 cm) et un LNB connecté au *RAL10AP*: nous avons calculé, en utilisant un simulateur développé "ad hoc", la sensibilité nécessaire du système pour procéder avec succès à des observations de radioastronomie amateur. Comme sources d'essai, les simulations ont utilisé la Lune (flux de l'ordre de 52600 Jy) et le Soleil (flux de l'ordre de 3240000 Jy à 11.2 GHz), observés en utilisant une antenne à réflecteur parabolique circulaire de 1,5 mètres de diamètre. Ces sources radio, peuvent être reçues facilement et se caractérisent par des flux connus et elles peuvent être utilisées comme des "étalons" pour caractériser le télescope et ainsi mesurer le diagramme de l'antenne. Les grandes antennes fourniront une cartographie du ciel avec suffisamment de contraste et permettront l'observation des autres objets plus faibles comme le centre galactique, les

sources de radio *Cassiopeia A* et *Taurus A*. Aux longueurs d'onde de notre récepteur, l'émission thermique de la Lune provient de régions à proximité de sa surface: les changements mesurables dans la température du sol sont ceux qui se produisent pendant la journée lunaire. Tout aussi intéressantes sont les émissions radiométrique pendant les éclipses lunaires et les occultations par les autres corps célestes.

Les simulations sont théoriques, car elles considèrent un comportement idéal du système de réception, exempt de dérives dans le facteur d'amplification. Sinon, elles sont utiles pour comprendre le fonctionnement du radiotélescope et d'en estimer sa performance.



Radar for X-Band
(10 GHz) sea

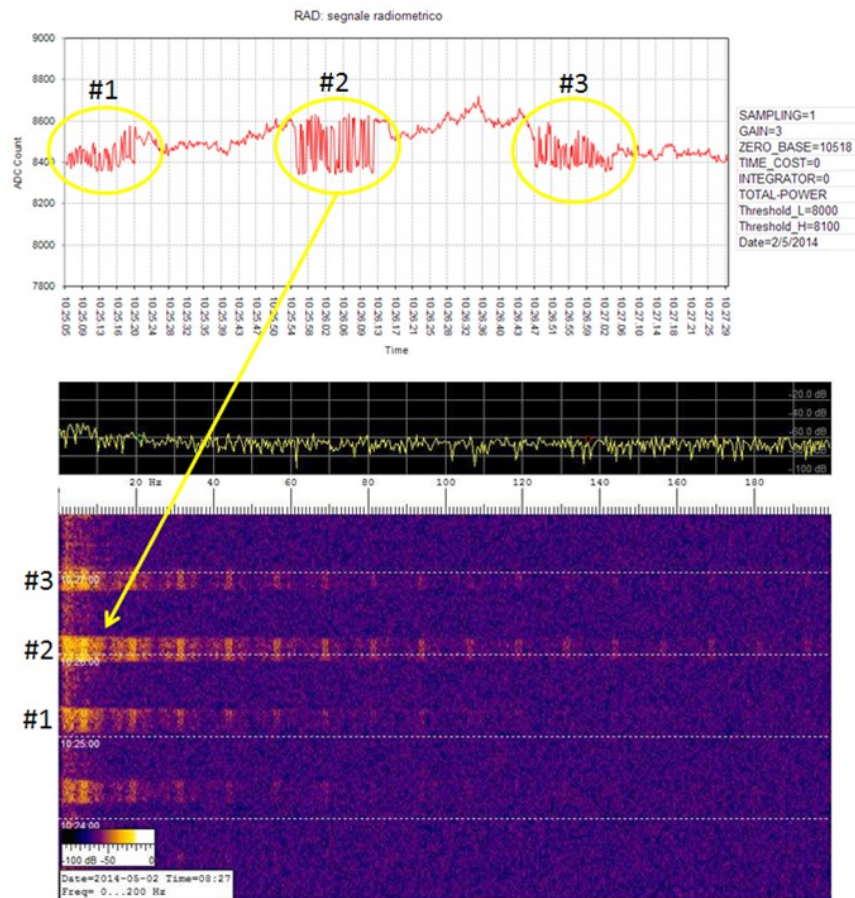


Fig. 9: Les enregistrements réalisés avec *RAL10AP*. Pour l'expérience, nous avons utilisé l'unité *RAL10_LNB* extérieur équipé d'une antenne cornet (gain de 20 dB), positionnée sur un trépied photo (en haut à gauche). La sortie du *RAL10_LNB* a été connectée au récepteur *RAL10AP* par un câble coaxial. Un PC portable enregistre le signal radiométrique à 11.2 GHz et la réception de données à partir du port USB par le logiciel *DataMicroRAL10* (graphique du haut) tandis que simultanément le signal détecteur de son est enregistré (*RAL10AP* sortie post-détection audio), il est affiché comme un spectrogramme par le logiciel *Spectrum Lab* (<http://www.qsl.net/dl4yhf/spectra1.html>).

Les enregistrements montrent les signaux radar en bande X des bateaux lorsque l'antenne est orientée vers la mer.

La réponse du radio télescope a été calculée en établissant, pour chaque observation, la valeur du gain post-détection à fournir pour une réponse quadratique du détecteur, en supposant l'absence de bruits parasites d'origine artificielle. En approximant le diagramme de réception de l'antenne et l'émission de la source de radio comme éclairant uniformément l'ouverture circulaire, il est possible de déterminer, dans une première approximation, les effets de "filtrage" de la forme spatiale de la fonction de gain de

l'antenne sur le vrai profil de la source radio, ce qui démontre combien il est important de connaître les caractéristiques de l'antenne pour assurer une mesure radiométrique appropriée du scénario observé.

La température de l'antenne représente la puissance du signal disponible à l'entrée du récepteur. Comme vous le verrez, l'antenne d'un télescope radio voit un "niveau", puis va "diluer" la véritable répartition de la luminosité observé que sera ensuite "pondérée" par sa fonction de gain. Si la source est large par rapport au faisceau d'antenne, la distribution de la luminosité observée se rapproche de la vraie. L'estimation de la température de l'antenne est complexe: de nombreux facteurs contribuent à sa détermination et tous ne peuvent être évalués immédiatement. La contribution à la température de l'antenne provient de l'espace qui l'entoure, y compris le sol. Le problème qui se pose pour l'observateur pour obtenir la distribution réelle de la température de brillance à partir de la mesure de température de l'antenne, est d'effectuer l'opération de dé-convolution entre la distribution de la luminosité du scénario observé et la fonction de gain de l'antenne. Il est donc très important de connaître la distribution de puissance d'un radiotélescope: la température de l'antenne mesurée par pointage du lobe principal d'une région de l'espace, peut contenir une contribution non négligeable de l'énergie provenant d'autres directions si elle a des lobes latéraux de niveau trop élevé.

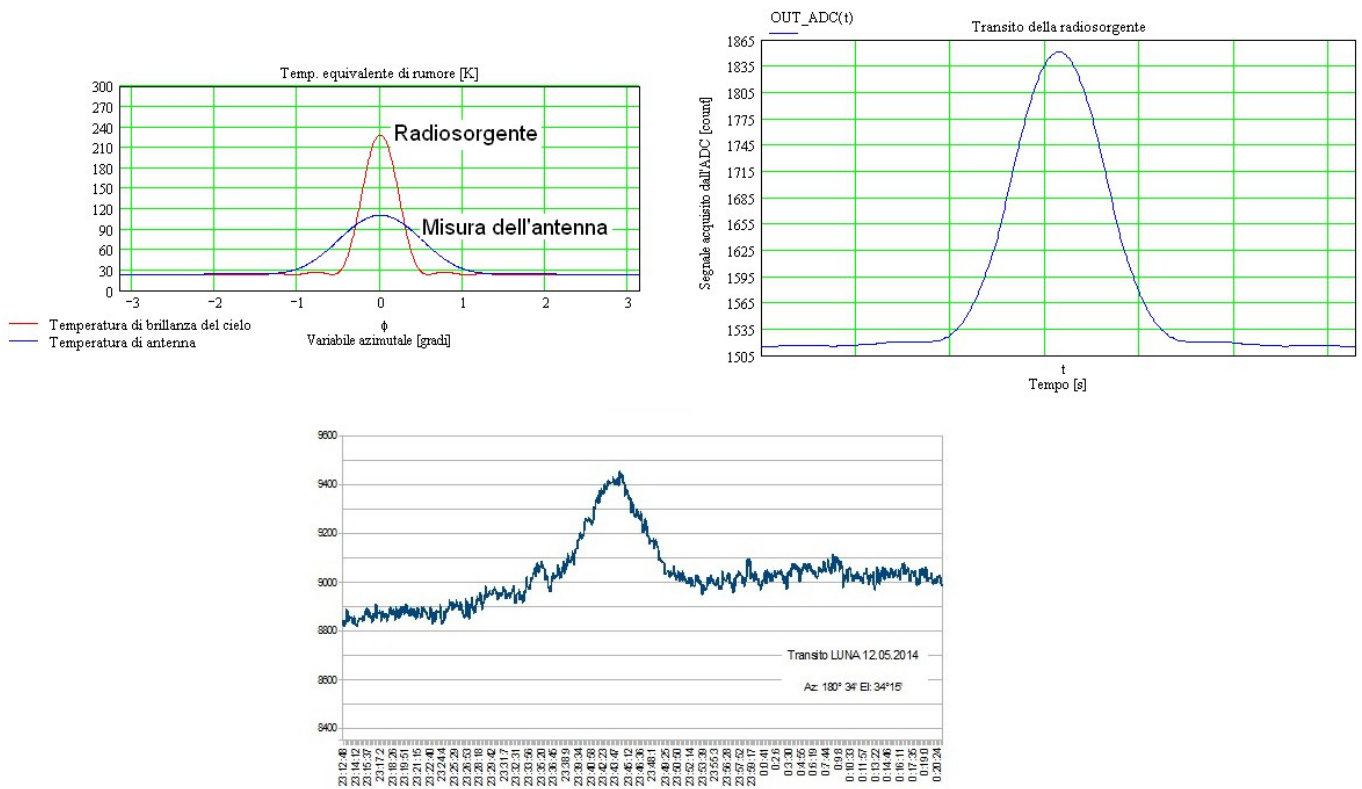


Fig. 10: Le profil théorique de la luminosité de la Lune (graphique en haut à droite) est déterminé par une relation de convolution entre la température de brillance du scénario et la fonction de gain de l'antenne. L'antenne d'un radiotélescope tend à niveler la distribution de la vraie luminosité observée (graphique sur la gauche): l'ampleur de la distorsion instrumentale est due aux caractéristiques de "filtrage spatial" de l'antenne et est lié à la relation entre l'angle de la taille de faisceau de réception et ceux de la source radio apparente. Toute distorsion se produit si le diagramme de réception de l'antenne est très étroit par rapport à l'extension angulaire de la radiosource (le cas de l'antenne très directive). La figure compare l'enregistrement théorique du transit lunaire simulé et un enregistrement expérimental (graphique du bas) effectuée par l'un de nos clients (M. Giancarlo Madai - La Spezia, que nous remercions): à part le niveau de la ligne de base de référence différente, nous pouvons voir que l'amplitude du pic de réception est comparable à celui théorique, estimée à environ 300-350 unités [ADC_count].

La température de brillance du sol prend généralement des valeurs de l'ordre de 240300 K, réalisé avec la contribution des lobes secondaires de l'antenne et l'effet d'autres sources telles que la végétation. Etant donné que l'antenne d'un radio-télescope est pointé vers le ciel avec des angles d'élévation en général supérieure à 5°, on ne peut capter un rayonnement thermique à partir de la terre que par les lobes secondaires: leur contribution dépend de leur amplitude par rapport à celle du lobe principal. Comme le bruit total capté par l'antenne est proportionnel à l'intégrale de la température de brillance du scénario observé, pondéré par sa fonction de gain, il arrive qu'un objet très grand et aussi chaud que le sol peut apporter une contribution substantielle si le diagramme de l'antenne n'est pas négligeable dans toutes les directions qui "voient" le terrain.

La figure 10 montre les traces (réelles et simulées) du transit de la Lune "vu" par le radiotélescope: parce que le dflux de la source est de l'ordre de 52600 Jy à 11.2 GHz, nous avons mis une valeur pour le gain de $GAIN=10$. La Lune est une source facilement détectable radio. Le profil de la luminosité est exprimée en termes d'unités numériques acquises par l'ADC [ADC_count].

Pour observer le Soleil (flux de l'ordre de $3.24 \cdot 10^6$ Jy) en utilisant la même antenne vous aurez besoin pour réduire le gain valeurs $GAIN=7$. Dans la figure 11 vous pouvez voir la trace du passage du Soleil. Ces résultats théoriques confirment la pertinence du radio télescope pour observer le Soleil et la Lune quand il est équipé avec les antennes commerciales normalement utilisées pour la réception de la télévision par satellite.

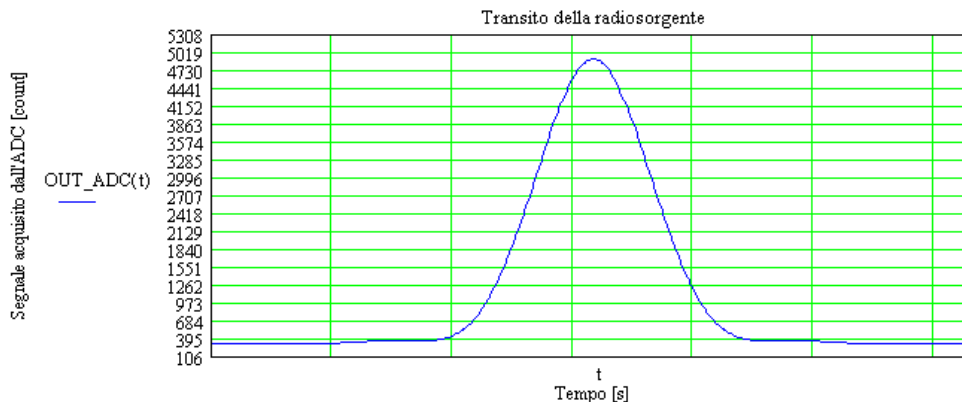


Fig. 11: Simulation du transit du Soleil dans le faisceau de réception du radiotélescope.

Un procédé utilisé par les radioastronomes pour déterminer le diagramme de rayonnement de l'antenne d'un radio-télescope nécessite l'enregistrement du transit d'une source de radio avec un très petit diamètre apparent par rapport à la largeur du lobe principal de l'antenne. Une source "échantillon" largement utilisée est *Cassiopee A (3C461)*, une source galactique intense au réglage directionnel facile dans l'hémisphère nord, caractérisé par un spectre en ligne droite (en échelle bi-logarithmique) sur la bande radio de 20 MHz à 30 GHz, avec une diminution de la densité de flux égale à 1.1%/an. Pour calculer le flux de la source de la radio à la fréquence de 11 GHz, nous utilisons l'expression:

$$S(f) = A \cdot f^n \quad \left[\frac{W}{Hz \cdot m^2} \right]$$

où la constante A est obtenue en tenant compte que $S(1 \text{ GHz})=2723 \text{ Jy}$ avec indice spectral $n=-077$ (période de 1986). Effectuez les calculs et en tenant compte de la baisse séculaire du flux, vous obtenez une émission d'environ 423 Jy.

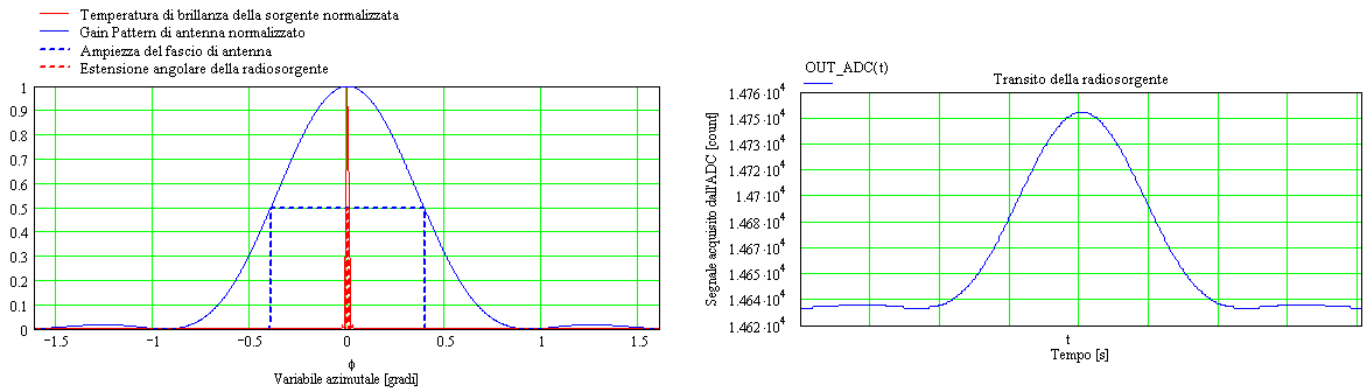


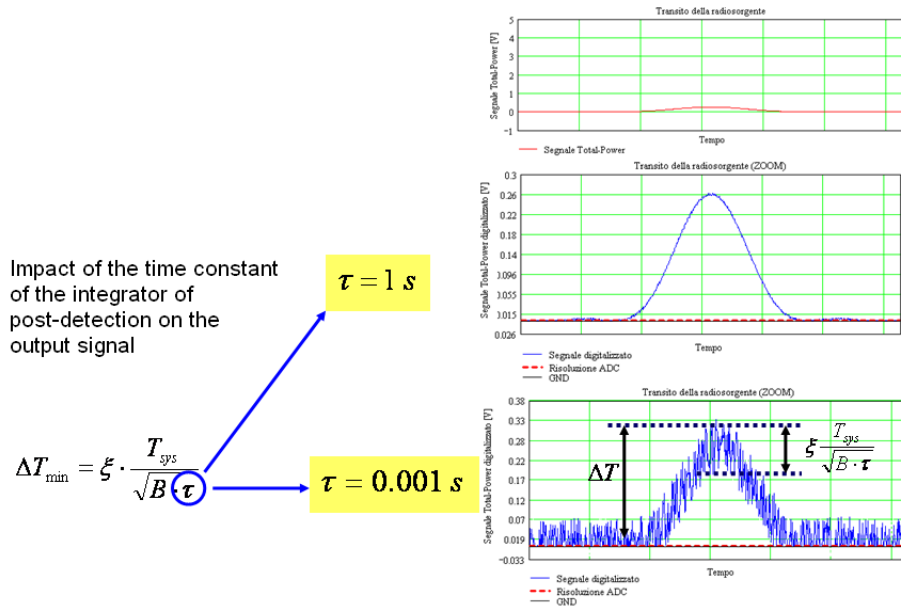
Fig. 12: Simulation théorique du transit de *Cassiopee A* (3C461) avec une antenne parabolique de réflecteur de 2 mètres de diamètre. On a inséré un amplificateur IF de ligne (12 dB - produit commercial standard utilisé dans les systèmes de réception TV-SAT) reliée à la sortie du LNB pour amplifier la faible variation du signal due à la source radio.

Grâce à ces données, nous avons simulé le transit de Cassiopee A avec une antenne de 2 mètres de diamètre (Fig. 12). La configuration et les paramètres fixés pour le système de réception sont identiques à celles précédemment utilisées pour la réception de la Lune, avec l'ajout d'un amplificateur de ligne IF commercial de 12 dB de gain (composant utilisé dans les installations TV-SAT pour amplifier le signal provenant du LNB) inséré immédiatement après le LNB, il est nécessaire pour amplifier la faible variation de signal due au transit de la source radio. Le profil d'émission de la *Cas A* semble très "dilué" par la différence significative entre l'amplitude de l'antenne de faisceau reçu et l'étendue angulaire de la source (voir graphique sur la gauche de la figure. 12).

Nous concluons cette section en soulignant les effets d'un réglage correct de la constante d'intégration dans la mesure radiométrique (Fig. 13).

Pour réduire les fluctuations statistiques du signal détecté dans les radiomètres, améliorant la sensibilité du système, on utilise généralement une valeur élevée pour la constante d'intégration τ (correspondant au paramètre *INTEGRATOR* décrit précédemment). Comme le montre la Fig. 13, la moindre variation dans la température de l'antenne (la sensibilité théorique du télescope radio) est inversement proportionnelle à la racine carrée du produit de la largeur de bande B du récepteur et de la constante de temps de l'intégrateur.

Dans l'expression, T_{sys} est la température de bruit du système de réception et ζ est une constante qui, pour les radiomètres en puissance totale, est 1. Dans tout processus d'intégration de la mesure, augmenter τ signifie l'application d'un filtrage graduel et un "nivellement" sur la caractéristique de la variabilité du phénomène observé: ils "masquent" toutes les variantes plus petites que τ et altèrent (ou sont perd) des informations sur l'évolution de la grandeur temporelle étudiée, déformant le véritable profil de la source radio. Pour un enregistrement correct des phénomènes avec leurs propres variations d'une certaine durée il est essentiel d'établir une valeur pour la constante d'intégration suffisamment inférieure à cette durée.



Calibration du radio telescope.

Comme tout instrument de mesure, le radiotélescope doit être calibré pour obtenir les données de sortie compatibles avec une échelle absolue de la densité de flux ou une température de bruit de l'antenne équivalent. L'objet de l'étalonnage est d'établir une relation entre la température de l'antenne [K] et une valeur de sortie de l'instrument [count]. Cette opération, naturellement complexe et délicate, fera l'objet d'un article spécifique concernant l'application aux systèmes d'amateurs: ici, nous allons donner quelques directives générales qui peuvent être utilisées pour calibrer le radiotélescope observer facilement les sources externes "disponibles" et un minimum de support pour l'instrumentation minimale.

En réglant le gain de post-détection du récepteur de manière à ce que la caractéristique d'entrée-sortie soit linéaire par rapport au niveau du signal appliqué, et la valeur [count] acquise par l'ADC (Fig. 7), il est possible de calibrer le système en mesurant deux niveaux différents de bruit: on observe d'abord une source chaude (généralement à la température ambiante $T \approx 290 \text{ K}$), puis une source "froide" (objet à une température beaucoup plus basse telle que, par exemple, le ciel libre de sources radio) calibrer directement dans K de température de l'antenne. Dans la pratique:

- *Source froide:* vous devez diriger l'antenne vers le ciel clair (modèle standard de l'atmosphère). La température T_2 de la luminosité du ciel froid (environ 6 K) peut être facilement calculée à la fréquence de 11.2 GHz à l'aide du graphique de la figure 1, étant peu perturbé par l'atmosphère.
- *Source chaude:* vous devez diriger l'antenne du radiomètre vers un grand mur (comme, par exemple, le mur d'un bâtiment), assez grand pour couvrir l'ensemble du champ de vision de l'antenne. En supposant une émissivité de 90% de la matière et en connaissant la température physique de la cible, on peut estimer une température T_1 de luminosité égale à environ 90% de la température physique correspondante.

Si les mesures de l'instrument (exprimée en unités de comptage de l'ADC) quand il "voit" des objets à des températures différentes T_1 et T_2 sont, respectivement:

$count_1$ quand l'instrument "voit" T_1 (source chaude);
 $count_2$ quand l'instrument "voit" T_2 (source froide);

on peut exprimer la température générique de l'antenne T_a en fonction de la valeur des $count$ comme:

$$T_a = T_1 + \frac{count - count_1}{count_1 - count_2} \cdot (T_1 - T_2) \quad [K]$$

La précision de l'échelle dépend de la précision dans la détermination des températures de brillance de la source "chaude" et "froide": les estimations proposées sont largement approximatives et ne peuvent être utilisés pour obtenir une idée de l'ampleur de l'échelle de mesure. Nous nous référons à une recherche plus approfondie sur la question sensible de l'étalonnage des radiomètres à micro-ondes. La procédure d'essai est cependant toujours valable lorsque l'appareil fonctionne dans une zone linéaire de sa caractéristique d'entrée-sortie (Fig. 7).

Installation du radio telescope.

Une fois que vous savez comment la *RAL10AP* fonctionne, il est très simple de construire un radiotélescope. En vous référant à la figure. 4 et avec une liste des composants nécessaires cela ne devrait pas poser de problèmes:

- Antenne à réflecteur parabolique pour la télévision SAT-10-12 GHz (de type symétrique ou offset) complet avec support mécanique pour l'installation et le pointage (vous pouvez utiliser *RAL230ANT*, une antenne à réflecteur parabolique avec grille circulaire, de 2,3 mètres de diamètre).
- Unité extérieure LNB avec une alimentation spécifique pour l'antenne utilisée (le mieux est notre *RAL10_LNB*).
- câble coaxial 75 Ω pour TV-SAT bonne qualité avec des connecteurs de type F.
- amplificateur FI en ligne avec 10 à 15 dB de gain (pas toujours nécessaire).
- ***RAL10AP* (fourni dans le paquet).**
- **Alimentation stabilisée externe 12 VDC - 2A (fourni dans le paquet).**
- **Câble standard USB avec des connecteurs A et B (fourni dans le paquet).**
- Ordinateur pour l'acquisition de mesure et de contrôle de l'instrument.
- ***DataMicroRAL10* logiciel (fourni dans le paquet).**
- **Outil EXCEL (avec macro) *ImportaDati_DataMicroRAL10* pour importer les fichiers enregistrés par les *DataMicroRAL10* du logiciel et de les afficher sous forme graphique (fourni dans le paquet).**

Les parties en gras sont inclus dans le forfait.

Si vous souhaitez contrôler le signal détecté dans la bande audio, il sera nécessaire de relier la sortie *BF-OUT* (Fig. 6) à l'entrée *LINE* ou *MIC* d'une carte audio du PC et de lancer un programme de visionnement des spectrogrammes (Fig. 9).

AVERTISSEMENT: faire le lien entre l'unité extérieure LNB et le récepteur *RAL10AP* hors tension et lorsque le câble d'alimentation n'est pas branché sur le secteur. Avant d'allumer l'instrument, pour éviter d'endommager le bloc d'alimentation, vérifier l'absence de courts-circuits entre le blindage externe du câble coaxial et le noyau interne. Un fusible (avec LED signalant interruption) protège le *RAL10AP* contre les courts-circuits accidentels.

Sur le panneau avant, il ya deux porte-fusibles pour l'alimentation (alimentation principale et l'alimentation de l'unité extérieure LNB) avec les led indiquant une interruption du signal: lorsque le voyant correspondant est éteint, cela signifie que le fusible est défectueux et il doit être remplacé (Fig. 6).

Le marché de la télévision par satellite offre beaucoup de choix pour l'antenne, l'alimentation et le LNB: l'expérimentateur décidera en fonction du budget et de l'espace. Il y a des antennes disponibles soit circulaire symétrique ou offset, toutes adaptées à notre application. Il est important, pour garantir un bon fonctionnement, d'utiliser des kits qui comprennent, dans un seul paquet, une alimentation et un support couplé avec l'antenne spécifique au LNB, assurant une "illumination" correcte et une meilleure mise au point pour ce genre de réflecteur. Ces produits sont facilement disponibles dans tous les supermarchés de l'électronique grand public ou chez les installateurs TV-SAT. Avec un peu d'imagination et de compétences, il est possible de construire des systèmes de suivi automatique, même pour les grandes antennes, chercher sur le marché de l'équipement pour les amateurs ou le surplus de l'électronique ou l'utilisation de montures équatoriales couramment utilisés par les astronomes amateurs pour l'optique observations astronomiques. Il existe de nombreux exemples de créations intéressantes et ingénieuses sur le web. Très utile pour le bon pointage et pour la planification de séances d'observation les programmes de cartographie du ciel qui reproduisent, pour toute zone géographique, date et heure de la localisation et les mouvements des objets célestes avec une grande précision.

Comme mentionné précédemment, on peut utiliser pratiquement tous les dispositifs LNB disponibles sur le marché de la télévision par satellite à 10-12 GHz caractérisé par une fréquence intermédiaire de 950-2150 MHz. Dans les dispositifs modernes, vous pouvez gérer le changement de polarisation (horizontale ou verticale) avec un saut de tension, généralement 12.75 V - 17.25 V: le *RAL10AP* permet cette fonctionnalité grâce à un contrôle, comme décrit dans le protocole de communication. Un câble coaxial de 75 Ω TV-SAT d'une longueur appropriée, terminé par des connecteurs de type F, connectez la sortie RF-IF de l'unité extérieure LNB à l'entrée du module radiométrique. Il est recommandé de choisir des câbles de haute qualité, avec de faibles pertes: *RadioAstroLab* peut fournir les câbles avec connecteurs de toute longueur, après la commande de l'appareil. Dans certains cas, lorsque vous observez des sources radio faibles ou lorsque la ligne coaxiale est très longue, il peut être nécessaire d'insérer un amplificateur de ligne IF (de 10 à 15 dB de gain) entre le LNB et *RAL10AP*.

Après l'installation de l'antenne, l'unité extérieure LNB placée au point focal du réflecteur parabolique et reliant le câble de dérivation à l'unité de contrôle de *RAL10AP*, vous pouvez connecter le câble USB à l'ordinateur sur lequel vous avez installé le logiciel d'acquisition. La station de réception est maintenant prête à enregistrer les observations sans surveillance par l'opérateur avec l'acquisition de données automatique.

AVERTISSEMENT: la mise au point correcte de LNB (avec le feed) se produit en déplaçant l'appareil d'avant en arrière dans l'axe de l'antenne pour obtenir le maximum de signal à partir d'une source radio intense tels que, par exemple, le Soleil.

Optimisation de la performance.

Avant de commencer une observation, nous vous suggérons d'observer les règles suivantes:

- **Allumer le récepteur et attendre que l'instrument ait atteint une stabilité thermique.** L'instabilité du système est principalement causée par les changements de température: avant de commencer toute observation de radioastronomie, il est nécessaire d'attendre au moins une heure après la mise en marche de l'instrument pour atteindre le régime de température de fonctionnement dans les circuits internes. Cette condition est vérifiée en regardant une stabilité à long terme du signal radiométrique lorsque le point de l'antenne d'une région "froide" du ciel (absence de sources de radio): affiche des fluctuations minimales affichées par le tracé graphique sur le programme *DataMicroRAL10*.
- **Mettre la configuration initiale du GAIN de la post-détection sur une valeur moyenne (généralement $GAIN=7$).** Chaque installation sera caractérisée par des performances différentes, n'étant pas *a priori* prévisibles et fonction des caractéristiques des composants choisis par les utilisateurs. Il est commode de régler le gain à partir des valeurs minimales pour l'essai (pour éviter la saturation), l'optimisation des balayages répétés et successifs de la même région du ciel. Pour observer le Soleil il est conseillé de régler le $GAIN=7$, pour observer la Lune commencer avec $GAIN=10$. Il est rappelé que ces paramètres sont très influencés par la taille de l'antenne et les caractéristiques du LNB utilisé.
- **Cherchez les valeurs appropriées pour le facteur d'amplification, vous pouvez ajuster la constante d'intégration de l'intégrateur pour stabiliser la mesure.** Le système est initialement réglé à une courte constante d'intégration (A), correspondant à une constante de temps égale à environ 0,1 seconde. Cette valeur, correspondant au calcul de la moyenne mobile du signal radiométrique utilisant quelques échantillons, il est généralement approprié dans la plupart des cas. On peut améliorer la sensibilité de la mesure, avec l'inconvénient d'une réponse du système plus lente par rapport aux variations de signal en utilisant une constante de temps plus grande. Il est recommandé de définir la valeur de A au cours de l'étalonnage initial du système, puis augmenter la constante de temps au cours de la session de mesure de sources radio caractérisées par des émissions stationnaires. Lors de l'enregistrement rapide de phénomènes variables ou de nature transitoire (comme, par exemple, les micro-ondes des éruptions solaires), il sera approprié de sélectionner la constante de temps plus courte. En réglant correctement le paramètre d'échantillonnage du logiciel *DataMicroRAL10*, une intégration supplémentaire sur le signal radiométrique est faite.
- **La définition du paramètre $BASE_REF$ établit le niveau de référence (offset) de la ligne de base.** Aussi pour ce paramètre les considérations qui précèdent sont valables, étant donné que son réglage correct dépend de la valeur de l'amplification du récepteur. En règle générale, $BASE_REF$ doit être réglé de sorte que le niveau minimum du signal radiométrique corresponde au "ciel froid" (de référence idéal), dans des conditions d'atmosphère claire, lorsque l'antenne "voit" une région du ciel sans sources radio: une augmentation par rapport au niveau de référence serait représentative d'un scénario caractérisé par une température plus élevée (source radio).
La position de la ligne de base sur l'échelle de mesure est fonction du gain et de l'ensemble de la valeur de $BASE_REF$. Si, en raison de la dérive à l'intérieur de l'appareil, le signal est situé en dehors de la plage de mesure (début d'échelle ou à fond d'échelle), vous devez changer la valeur $BASE_REF$ ou activer (commande CAL) calibration automatique pour

positionner correctement la trace de la source radio).

- Si vous utilisez un LNB approprié, vous pouvez changer la polarisation pour l'étude des sources de radio avec une émission qui est dominée par une composante polarisée. Dans la plupart des observations accessibles aux amateurs, les sources de radio émettent avec polarisation aléatoire: dans ces cas, le changement de la polarisation en réception peut être utile pour réduire au minimum la possibilité d'interférence avec les signaux d'origine artificielle.
- **L'optimisation de l'installation du feed (bras support du LNB) de l'antenne.** Par l'achat de produits commerciaux pour TV-SAT, il est généralement fixe et optimise la position de la charge dans la ligne focale de l'antenne. S'il peut être mécaniquement possible de le modifier et si vous voulez améliorer la performance du radio télescope, vous devez pointer l'antenne vers une source radio (comme le Soleil ou la Lune) et le déplacer de sa position de l'avant vers l'arrière le long l'axe de l'antenne pour obtenir l'intensité maximale des signaux. Des mesures répétées aident à minimiser les erreurs.

Le réglage correct des paramètres du récepteur exige l'enregistrement de l'essai de certaines des observations avant de commencer la session de travail réelle. Cette procédure, qui est normalement aussi utilisée par les observateurs radio professionnel, vous permet de "calibrer" le système de sorte que sa réponse dynamique et son facteur d'échelle soient suffisants pour enregistrer les phénomènes observés sans erreurs. Si elle est correctement exécutée, cette configuration initiale (nécessaire surtout quand vous avez besoin de longues périodes d'observation) vous permettra d'ajuster le gain et l'échelle de décalage pour une mesure appropriée, évitant le risque de saturation ou de signal réinitialisé signal avec perte conséquente d'informations.

Après le processus de calibrage initial, il sera possible d'enregistrer les paramètres du radiomètre en utilisant le bouton *MEM* (*commande=15*) de logiciels *DataRAL10*.

La performance de *RAL10AP* est influencée par la température de l'environnement: il est conseillé de faire des réglages au moins une heure après que l'instrument ait été allumé, lorsque l'électronique interne est stabilisée à la température de fonctionnement.

Le principal facteur qui limite la stabilité de la réponse radiométrique est l'excursion thermique de l'unité extérieure LNB: ces changements de température provoquent des variations mineures dans le gain du pré ampli, mais sont suffisantes, cependant, pour provoquer d'importantes fluctuations dans le niveau de référence compte tenu de l'amplification considérable du récepteur. Il est possible d'atteindre une meilleure performance du radio télescope lorsque le récepteur est stabilisé thermiquement. Cette condition est essentielle pour la qualité des mesures. **Pour cette raison, nous avons développé l'unité extérieure *RAL10_LNB*, équipée d'un régulateur automatique de la température interne. Le dispositif est disponible sur demande.**

Le principal paramètre qui influence la réponse du système est *GAIN*. Comme l'instrument amplifie aussi le bruit interne du récepteur (*Total-Power*), le positionnement correct de la référence "zéro" sur l'échelle de mesure est assurée par l'étalonnage de la ligne de base qui ajuste la valeur v_{rif} pour positionner la réponse de l'instrument à proximité du centre-échelle, lorsque l'antenne "voit" une zone de ciel libre de sources radio. **Pendant les observations, il est nécessaire de vérifier que la réponse du radiomètre reste à proximité du centre-échelle malgré les dérives dues à la température: répétée corrections, le réglage de la commande de calibrage automatique pour faire varier le niveau de la base de référence en ligne, va résoudre le problème jusqu'à la stabilité du système.**

Main radiosources

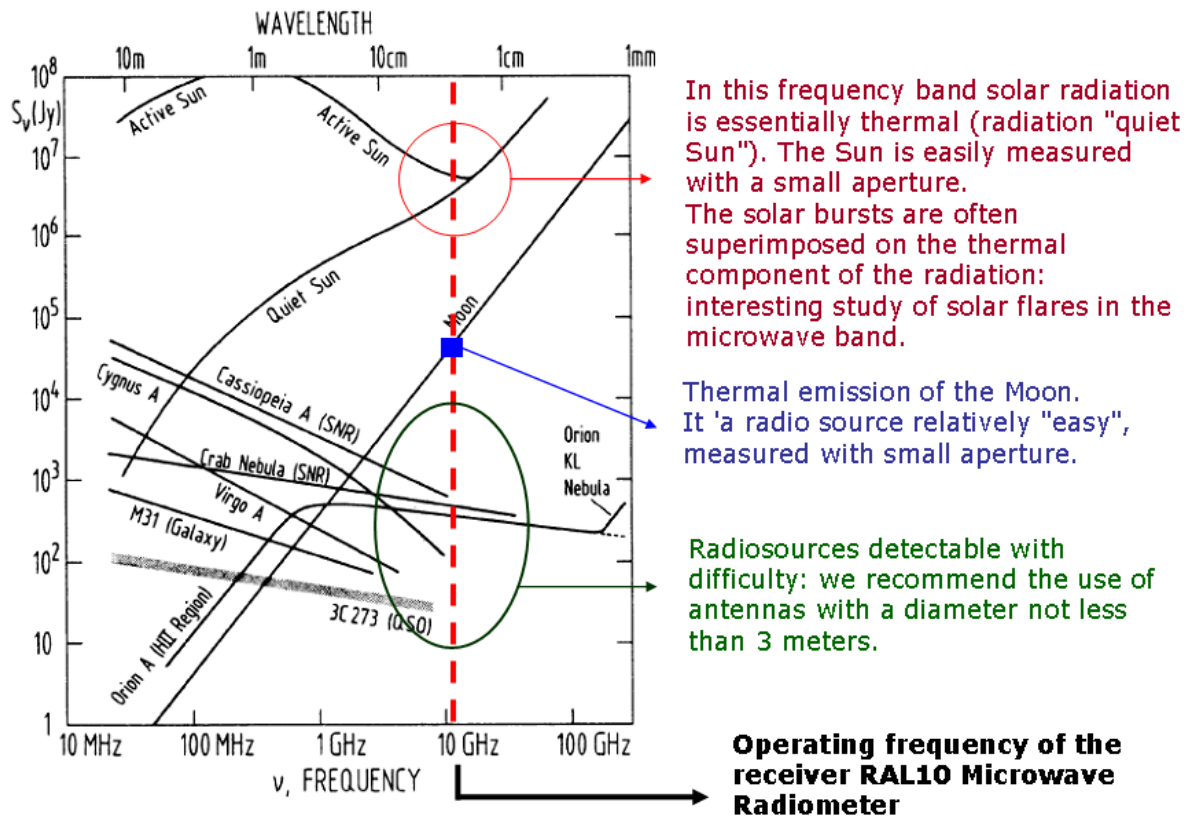


Fig. 14: Les capacités opérationnelles du radiotélescope construit avec le *RAL10AP*.

L'observation astronomique radio la plus simple consiste à orienter le système d'antenne vers le sud et son positionnement à une altitude de manière à intercepter une source radio spécifique lors de son transit au méridien, qui est le passage de la source radio apparente pour le méridien local (celui qui englobe les pôles et le point d'installation du radiotélescope). Notre instrument, généralement caractérisé par un faisceau d'antenne d'une certaine ouverture, nous "pardonne" un manque de connaissance de la position des sources de radio: il est donc acceptable d'avoir une précision de pointage inférieure à celle utilisée dans les observations optiques. Le réglage du programme d'acquisition à un taux d'échantillonnage de manière à obtenir un écran toutes les 24 heures (paramètre *SAMPLING* dans le logiciel de *DataMicroRAL10*), il peut vérifier si, au cours de la journée, les sources interceptées par l'antenne radio avec les valeurs des paramètres choisis (le gain et le niveau de la ligne de base) sont adaptés pour l'observation. Vous pourriez avoir à augmenter le *GAIN* pour amplifier la trace, ou changer le niveau de référence *BASE_REF* pour éviter, à un point sur le graphique, que le signal sorte de l'échelle. Après la procédure de réglage, vous pouvez commencer les longues séances d'enregistrement automatique sans surveillance par un opérateur.

Vous pouvez penser à de nombreuses expériences intéressantes pour vérifier la sensibilité de notre système de réception, l'un d'eux fournit l'unité extérieure LNB pointant vers les lampes fluorescentes: ces composants émettent une quantité importante de rayonnement micro-ondes facilement détectable (selon des mécanismes émissifs différents, dont certains ne sont pas simplement liés à la température physique de la source). En mettant sous tension et en éteignant la lampe, une variation notable du signal reçu est enregistré, proportionnelle à l'intensité et à la dimension angulaire de la source.

La Fig.14 et le tableau suivant donne les sources de radio que peut recevoir notre télescope radio, ne pas oublier comment, les plus faibles parmi ceux-ci, sont observables uniquement en utilisant des antennes suffisamment grandes telles que, par exemple, *RAL230ANT*.

Radiosorgenti	A.R.	Declinazione	Flusso Jy @ 10 GHz
Sole			> 1 000 000
Luna			30 000
Giove			30
Sagittarius A (centro galattico)	17h 42m	-29°	300
Cassiopeia A (supernova)	23h 21m 7s	58° 34'	600
Cygnus A (radiogalassia)	19h 57m 45s	40° 36'	100
Taurus A (Crab Nebula) (supernova)	5h 31m 30s	21° 58'	500
Virgo A (radiogalassia)	12h 28m 18s	12° 40'	30
Andromeda (galassia)	0h 40m	41°	30
3C 273 (quasar)	12h 26m 33s	2° 20'	20

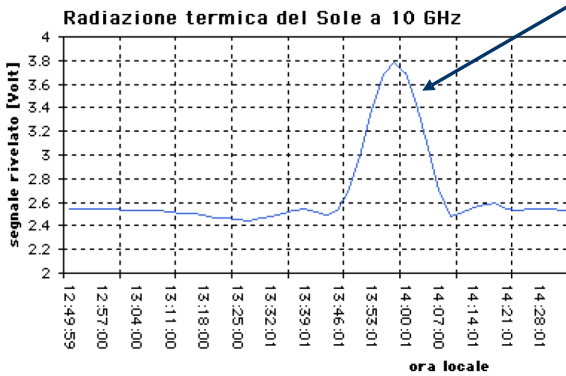
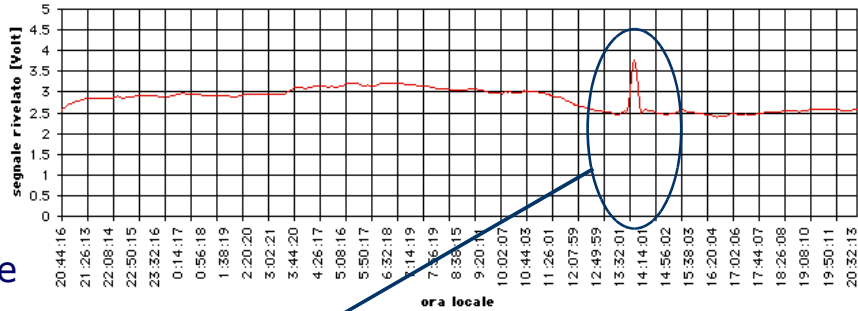
Les unités de flux, en Jy (en l'honneur de K. Jansky) est égal à 10^{-26} W/(m²·Hz), une mesure qui quantifie les propriétés émettrices des sources radio. Ici sont présentées les principales sources accessibles à notre télescope radio quand il est équipé d'une antenne suffisamment grande.



Thermal component of the solar radiation

THE "QUIET" SUN

file 140601_2044.dat (ricevitore SHF 10 GHz)



Solar transit

When the beam of the antenna is wider than the apparent size of the radio source, the trace of the transit points to the shape of its receiving lobe. Are visible side lobes of the antenna system.

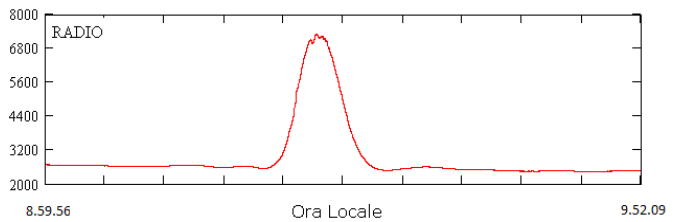


Fig. 18: Transit du soleil.

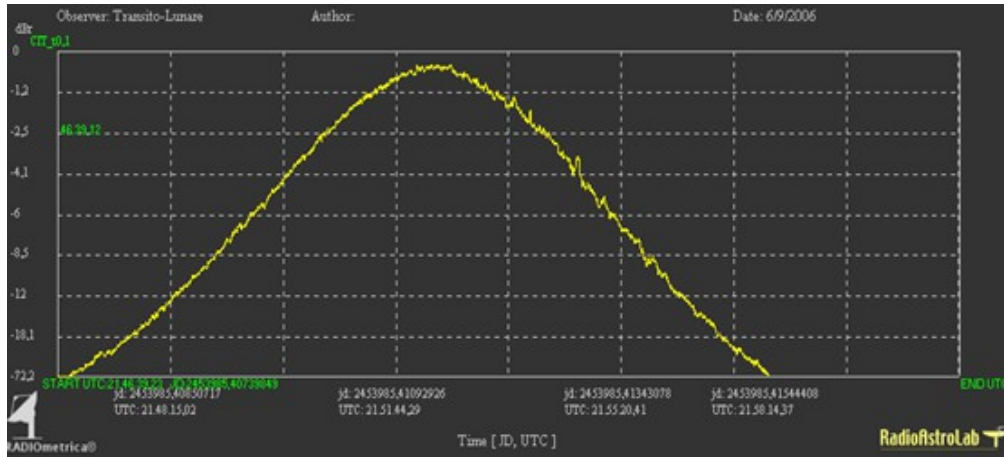


Fig. 19: Graphique d'un transit lunaire. Le rayonnement thermique de la lune est visible: son émission est le résultat du fait que l'objet émet approximativement comme un corps noir, caractérisé par une température de l'ordre de 300 K. Si l'émission visible de la Lune est presque exclusivement en raison de la lumière réfléchie du Soleil, dans le 11.2 GHz il y a un problème en raison de la température de l'objet qui contraste avec celle du ciel "à froid".

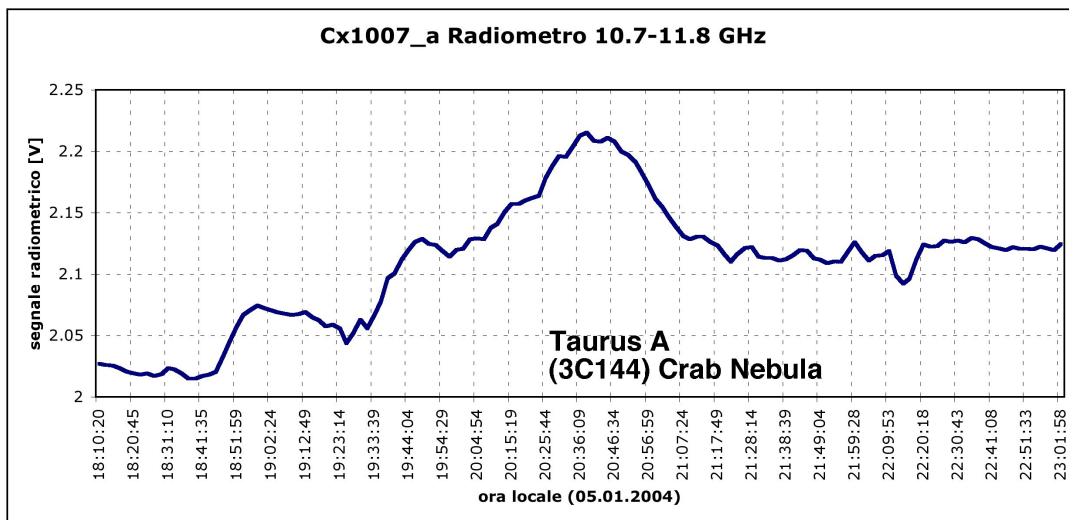


Fig. 20: Transit de *Taurus A*.

Références

- N. Skou, D. Le Vine, “MICROWAVE RADIOMETER SYSTEMS (DESIGN AND ANALYSIS).”, 2006 Edition, Artech House.
- J. D. Kraus, “RADIO ASTRONOMY”, 2nd Edition, 1988, Cygnus-Quasar Books.
- R. H. Dicke, “THE MEASUREMENT OF THERMAL RADIATION AT MICROWAVES FREQUENCIES.”, 1946 – The Review of Scientific Instruments, N. 7 – Vol. 17.
- F. Falcinelli, “RADIOASTRONOMIA AMATORIALE.”, 2003 – Ed. Il Rostro (Segrate, MI).
- F. Falcinelli, “TECNICHE RADIOASTRONOMICHE.”, 2005 – Ed. Sandit (Albino, BG).

Doc. Vers. 1.1 del 25.08.2015
@ 2015 RadioAstroLab

RadioAstroLab s.r.l., Via Corvi, 96 – 60019 Senigallia (AN)
Tel. +39 071 6608166 Fax: +39 071 6612768
Web: www.radioastrolab.com Email: info@radioastrolab.it

Copyright: rights reserved. The content of this document is property of the manufacturer. No part of this publication may be reproduced in any form or by any means without the written permission of *RadioAstroLab s.r.l.*.