

Possible détection de l'atmosphère terrestre et de la Galaxie à 10 GHz avec RAMEAU.

Analyse préliminaire.

Hervé Dole
14 Mars 2007

<http://www.ias.u-psud.fr/pperso/hdole/rameau>

Observer la Galaxie en plein jour, c'est possible en radioastronomie, même avec un système simple et bon marché. Ce document présente les premières observations de RAMEAU (radiotélescopes à Orsay) de l'atmosphère terrestre et de notre Galaxie à une fréquence de 10 GHz (soit 3 cm de longueur d'onde), et propose une analyse préliminaire. De nombreuses autres observations sont nécessaires pour confirmer ces détections préliminaires et mieux étalonner le système, et une analyse plus fine sera alors effectuée. (Une version modifiée de RAMEAU est utilisée pour ces mesures, puisqu'elle intègre un commutateur de Dicke dans le LNB).

1. Introduction

Observer le ciel à la fréquence de 10 GHz permet par exemple de mesurer la température de brillance du Soleil et de la Lune, de mettre en évidence le rayonnement non-thermique du Soleil, mais aussi de détecter l'émission non-thermique du milieu interstellaire de notre Galaxie, des résidus de supernovae, et de certains quasars. Un radiotélescope sensible est nécessaire pour observer les astres autres que le Soleil et la Lune.

Dans sa version de base, le réseau de 10 petits radiotélescopes RAMEAU (pour plus d'informations, visiter le site web [1]) ne permet que la détection du Soleil et de la Lune [2,3,4], puisqu'il est composé de matériel grand public. Cependant, une partie de ce matériel présente une très grande sensibilité au rayonnement à 10 GHz: avec peu de modifications [5], il est possible d'augmenter significativement les performances du système.

Je présente les premiers résultats obtenus avec le système inventé par Michel Piat (du laboratoire APC, Paris), qui consiste à modifier la tête de parabole (LNB) en commutateur de Dicke (voir [5] pour les détails). Avec ce système, les radiotélescopes gagnent en stabilité et s'avèrent plus sensibles, au point de pouvoir mesurer l'émission atmosphérique (pourtant faible) à 10 GHz et surtout notre Galaxie.

Ce document présente les premières observations effectuées entre le 27 Février et le 1e Mars 2007 et offre une *analyse préliminaire*. La partie 2 décrit le nouveau système de réception et le mode opératoire; dans la partie 3 sont analysées les données de balayages verticaux concernant l'atmosphère; la partie 4 présente une analyse de la première détection de la Galaxie; la partie 5 présente les conclusions et les nombreuses perspectives. De nombreuses autres observations sont nécessaires pour raffiner la présente analyse, pour mieux caractériser le système, et pour détecter d'autres astres; elles feront l'objet d'un document ultérieur.

2. Description du système de mesure et des opérations

Le système complet ressemble au radiotélescope RAMEAU: antenne parabolique TV satellite de 80cm, LNB (“tête de parabole”) à 0.3dB, câble coaxial standard, SatFinder, alimentation stabilisée délivrant jusqu'à 20V (lire [2,3,4,5,6] pour les détails). Malgré ses qualités, ce système est peu stable et nécessite des étalonnages fréquents (par exemple sur le sol).

Michel Piat a alors remis à jour l'idée du “commutateur de Dicke” qui consiste à alterner très rapidement l'observation du ciel et l'observation d'une source de référence, en vue de moyenniser les signaux pour éliminer toutes les dérives. Cette commutation est traditionnellement effectuée avec un miroir pivotant pour que le faisceau menant au détecteur voie alternativement le ciel et la source, et impose un système mécanique pouvant être lourd. Il a eu l'excellente idée (voir [5]) d'utiliser une des deux polarisations du LNB comme source de référence à température ambiante, moyennant la soudure d'une résistance dans le circuit interne du LNB. Ce système ingénieux a le grand avantage de n'imposer aucun changement mécanique. Il suffit d'alimenter le LNB avec une tension différente pour alimenter soit la polarisation regardant le ciel, soit la polarisation “sacrifiée” utilisée comme référence. Ainsi, toute variation électronique (gain en particulier) est automatiquement soustraite.

2.1 Le système de réception

Notre LNB a subi une petite modification: mise en place d'une résistance et déconnexion d'une polarisation pour la transformer en référence à température ambiante.

Nous l'alimentons avec une alimentation stabilisée et avec un générateur basse fréquence. Les deux alimentations mises en série doivent délivrer au LNB et SatFinder une tension en créneau de 13V à 17V, avec une fréquence de l'ordre de 1 à 10Hz. Attention: il faut que le GBF puisse délivrer un fort courant. Nous avons perdu plusieurs mois en utilisant sans le savoir un GBF “faible” dont les créneaux s'effondraient lorsque nous voulions atteindre les tensions de 13/17V.

Le SatFinder a aussi été modifié pour déconnecter l'amplificateur instable et ainsi n'utiliser que les deux diodes.

Le laboratoire submillimétrique de l'IAS nous a prêté un système de détection synchrone que l'on branche sur le SatFinder. Nous aurions aussi pu utiliser une carte d'acquisition et effectuer la moyenne en phase avec le signal créneau.

La figure 1 montre une partie du système. D'autres détails sont donnés en annexe.

2.2 Mode opératoire

La détection synchrone effectue la moyenne du ciel et du signal de référence. Nous choisissons une fréquence de 10Hz pour cette commutation. Une tension mesurée de $\sim 0V$ correspond donc à une température d'antenne de 300K environ, puisque la référence (une résistance dans le LNB) se trouve à température ambiante. Un signal plus froid (en température d'antenne) engendre une augmentation de la tension, puisque la différence avec 300K est plus grande.

Les mesures consistent d'abord à tester la stabilité du système. Ensuite, il s'agit d'effectuer des balayages verticaux sur le ciel, à azimut constant, d'une hauteur de 0 à 90 degrés. Si le radiotélescope est sensible à l'émission atmosphérique, nous

devrions mesurer une intensité plus faible au zénith que vers l'horizon. Ces mesures doivent être effectuées rapidement (quelques minutes au plus) afin de ne pas être trop sensible aux variations de conditions atmosphériques. Il convient en outre de tester plusieurs azimuts, afin d'éviter une éventuelle contamination par les rayonnements d'arrière-plan (satellites, Galaxie) ou plus proche de l'antenne (sol, obstacles).

Enfin il est possible d'effectuer des balayages horizontaux (hauteur constante donc atmosphère supposément constante) pour détecter l'émission de la Galaxie ou d'autres arrière-plans.

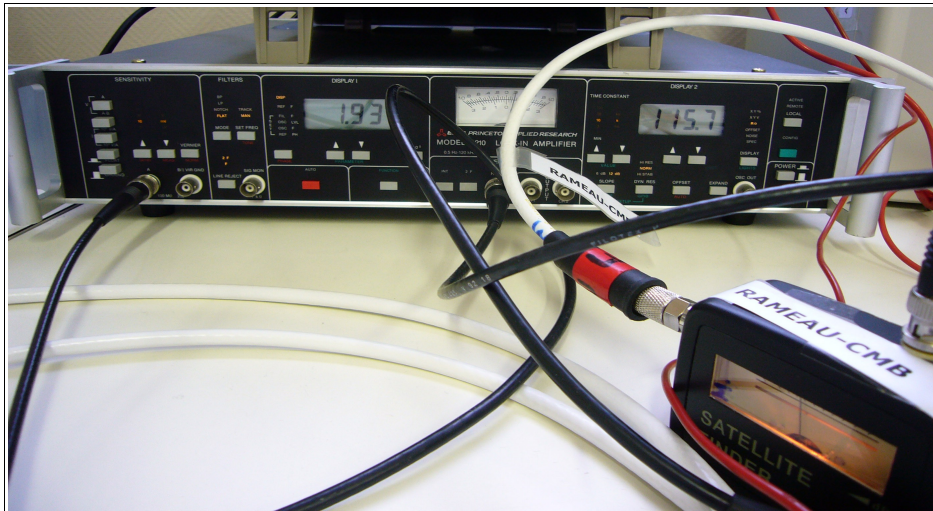


Figure 1: Vue du dispositif de détection synchrone (en haut) connecté au détecteur (SatFinder à droite).

2.3 Etalonnage

L'étalonnage est très simple puisque la détection synchrone entre le ciel d'une part et la référence dans le LNB d'autre part a pour effet de délivrer un signal correspondant à la moyenne des signaux. Il suffit de deux points de mesure pour étalonner approximativement le système. Il faudrait en fait s'assurer de la linéarité de la détection, mais nous n'avons pas encore les moyens d'effectuer ce test. Nous utiliserons deux sources d'étalonnage: le sol à $T_{sol}=300K$ et le "fond de ciel" au zénith (minimum d'émission atmosphérique) correspondant à 10 GHz à environ $T_{zen}=30K$ (selon M. Piat). Cette loi sera mieux caractérisée lors des observations de la Lune et d'autres astres, qui apporteront d'autres points d'étalonnage.

En mesurant V_{sol} (respectivement V_{zen}) la tension correspondant à la mesure sur le sol (respectivement le ciel au zénith), on obtient la loi linéaire permettant d'étalonner toute mesure V_{astre} en température d'antenne T_{obs} :

$$T_{obs} = T_{sol} + (T_{sol}-T_{zen})/(V_{sol} - V_{zen}) V_{astre} \quad K \quad (1)$$

Avec nos hypothèses ($T_{sol}=300K$ et $T_{zen}=30K$), nous obtenons numériquement pour V_{astre} (en mV):

$$T_{obs} = 300 - 87.7 V_{astre} \quad K \quad (2)$$

Les températures données dans ce document proviennent de cet étalonnage. Il convient de rappeler qu'il est approximatif à environ 10% près.

La stabilité du système a été testée en observant pendant plus d'une dizaine de minutes le sol et le ciel. Aucune variation supérieure à 0.01mV (soit ~2K en relatif) n'a été observée. Le système est d'une remarquable stabilité.

3. Analyse et interprétation préliminaires des mesures de l'atmosphère à 10 GHz

La mesure consiste à balayer le ciel en élévation, typiquement de 0 à 110 degrés, en gardant l'azimut fixe. Si le radiotélescope est suffisamment sensible, on s'attend à ce que l'intensité du signal reçu décroisse avec la hauteur d'observation, puisqu'il y a plus d'atmosphère sur une ligne de visée vers l'horizon que vers le zénith.

Nos résultats de balayages en hauteur pour 2 azimuts sont présentés en figure 2a (la figure 2b étant un zoom). On remarque que la température d'antenne est de l'ordre de 250K entre 0 et 10 degrés: il s'agit du sol et de l'horizon. A plus grande hauteur, comme attendu, le signal décroît, d'environ 60 à 25K. Ce comportement de décroissance du signal est observé aux deux directions azimutales. **Nous concluons donc que RAMEAU détecte l'atmosphère terrestre à 10 GHz.**

Des variations significatives sont cependant observables entre les deux balayages. En particulier, si seule l'atmosphère était détectée, le signal devrait être minimum au zénith (90 degré de hauteur). On observe que le balayage d'azimut 180 degrés présente un maximum, mais vers 100 degrés de hauteur. Le balayage à 225 degrés d'azimut ne semble pas de trouver de minimum au zénith. Par ailleurs, les deux profils diffèrent de plus de 7K. **La conclusion est qu'une autre composante altère le signal atmosphérique, et dont la nature peut être instrumentale (électronique ou rayonnement diffusé), atmosphérique, ou astrophysique.**

D'autres observations sont nécessaires à plusieurs azimuts et à plusieurs moments de la journée pour conclure sans ambiguïté sur l'origine de l'émission atmosphérique et sur l'origine de ces écarts.

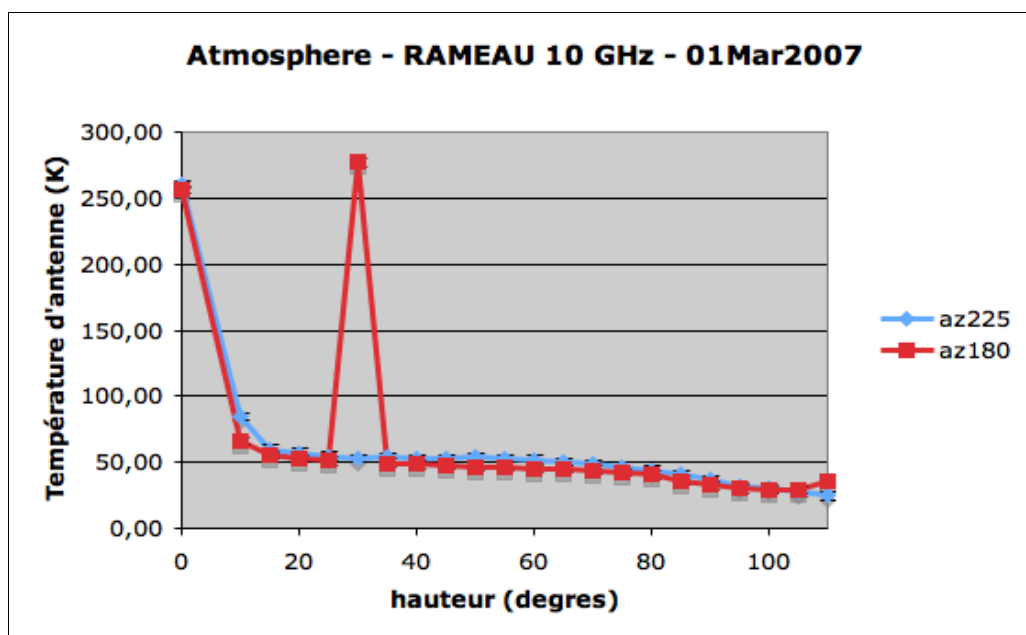


Figure 2a: Signal de RAMEAU sur le ciel en fonction de la hauteur d'observation (entre 0 et 110 degrés), pour 2 azimuts: 180 et 225 degrés. Le point chaud vers 30 degrés est un satellite géostationnaire.

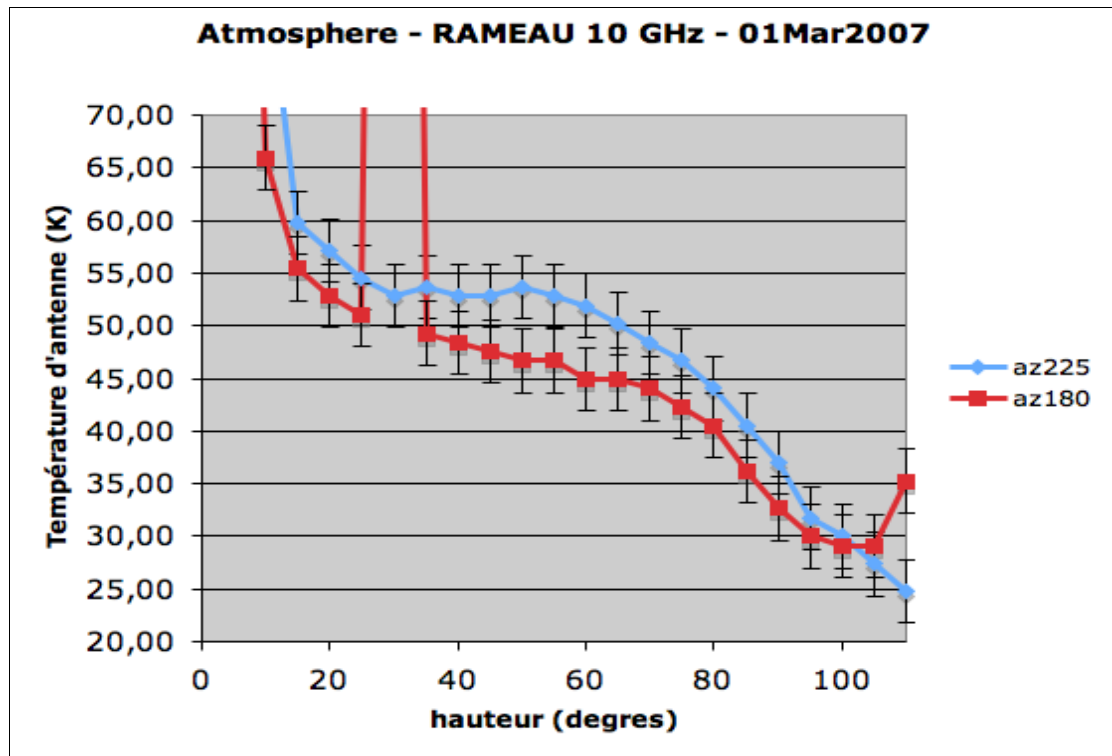


Figure 2b: zoom de la figure 3a sur la partie correspondant au ciel.

4. Analyse et interprétation préliminaires des mesures de la Galaxie à 10 GHz

La tentative de détection de l'émission de la Galaxie consiste à effectuer un balayage en azimut à hauteur constante. A hauteur constante, on s'attend à ce que l'émission atmosphérique soit constante. Les éventuelles variations mesurées, si elles correspondent à la position attendue de la Galaxie, pourraient alors être attribuées à l'émission Galactique.

En ce 1er Mars 2007 vers 17h00, une partie de la Galaxie passe proche du zénith: Le Cygne se trouve à l'azimut ~300 degrés, Cassopée vers 350 degrés, alors que Orion et le Taureau se trouvent vers 120-140 degrés. Si l'on regarde un cercle situé à 80 degrés de hauteur, la largeur de la Galaxie occupe une région continue comprise entre environ 320 degrés jusque vers 100 degrés, i.e. une bande continue d'environ 120 à 140 degrés centrée vers le Nord. La figure 3 résume cette géométrie.

deux cas, des tests supplémentaires seront nécessaires pour trancher.

Le minimum d'émission mesuré entre les azimuts de 120 et 250 degrés à 39+/- 2K est interprété comme le fond de ciel, en cohérence avec la figure 2b (40K pour l'azimut 180 degrés). **La zone d'émission plus forte mesurée deux fois (aller et retour) à 45+/- 5K entre les azimuts de 300 et 90 degrés est interprétée comme provenant de la Galaxie, en accord avec sa position attendue. RAMEAU a donc probablement détecté l'émission galactique à 10 GHz.**

La confirmation définitive sera donnée avec d'autres observations à des hauteurs différentes.

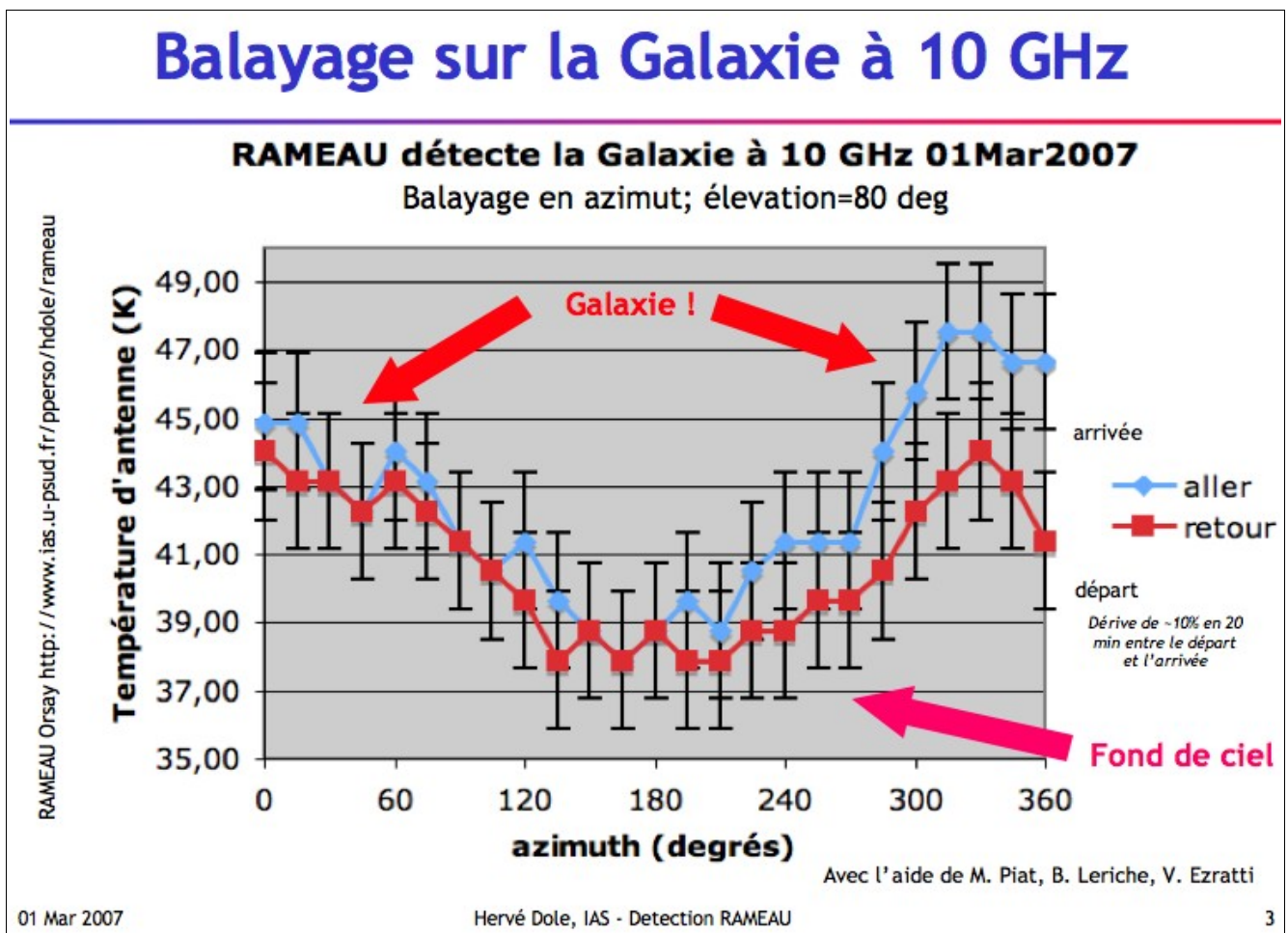


Figure 4: balayage horizontal (en azimut) à hauteur fixe (80 degrés). Le petit cercle sur le ciel semble couper une structure vers 45+/-5K, entre environ 300 et 60 degrés d'azimut, par rapport au fond de ciel vers 39K+/-2. Cette structure est interprétée comme notre Galaxie. Les balayages aller (de 360 à 0) et retour (de 0 à 360) ont duré au total environ 20 minutes. On observe une dérive instrumentale croissante avec le temps de l'ordre de 15% (car les points à 0 et 360 degrés sont les mêmes). Cependant les 2 balayages montrent une structure cohérente entre eux, signature possible du signal Galactique.

5. Conclusion et perspectives

La modification du LNB en commutateur de Dicke [5] s'avère très prometteuse, puisque notre système est d'une plus grande stabilité, et ainsi d'une plus grande sensibilité.

En effectuant des balayages verticaux, nous avons détecté des variations significatives de signal interprétées comme la détection de l'émission atmosphérique à 10 GHz, plus éventuellement d'autres sources.

En effectuant des balayages horizontaux (à 80 degrés de hauteur), nous observons une modulation significative et reproductible du signal sur environ 150 degrés en azimut, que nous interprétons comme la détection de l'émission Galactique.

Ces résultats préliminaires vont nécessiter de nombreuses autres observations pour être confirmés, mais ces premières détections suggèrent qu'un radiotélescope à faible coût permet d'effectuer des observations astrophysiques autres que sur des objets du Système Solaire.

Perspectives:

- Confirmer toutes ces observations, avec des balayages systématiques:
 - verticaux; à plusieurs moments dans la journée; dans différentes conditions d'humidité;
 - inverser les profils verticaux pour estimer la sensibilité;
 - détection plus précise et fine de la Galaxie: plusieurs balayages à 80, 70, 60 degrés de hauteur;
 - caractérisation des dérives instrumentales: sol vs ciel;
- Utiliser le Soleil et la Lune comme sources supplémentaires d'étalonnage;
- Relevé rapide de tout le ciel visible pour cartographier grossièrement la Galaxie;
- Tentative de détection des plus fortes radiosources: CasA & M1 (1000Jy), Orion (300Jy), Cygnus-A (100Jy), 3C273 (30Jy).

6. Références

- [1] site web RAMEAU: <http://www.ias.u-psud.fr/pperso/hdole/rameau/>
- [2] "*Soleil, Eclipse et Radioastronomie: ça marche*", *Astronomie Magazine*, Mars 2006, 77, 16, H. Dole
- [3] "*L'éclipse partielle observée à 10 GHz avec RAMEAU depuis Orsay* ", *L'Astronomie*, Juillet-Aout 2006, 120, 396, H. Dole, S. Pascal, A. Lenoir
- [4] "*RAMEAU observe la pleine Lune à 10 GHz*", Février 2007, rapport en ligne RAMEAU [7], H. Dole
- [5] "Modification du LNB 10 GHz pour le transformer en Dicke switch, et utilisation", Septembre 2006, rapport en ligne RAMEAU [7], H. Dole
- [6] Radiotélescope Lucie, *Astronomie Magazine*, Juillet-Août 2006, 81, 20, B. Flouret; Voir aussi l'excellent site: <http://www.astrosurf.com/radioastro/>
- [8] Rapports en ligne disponibles sur:
<http://www.ias.u-psud.fr/pperso/hdole/rameau/resultats.php>

Remerciements

Ces observations ont grandement bénéficié de l'amicale aide de Michel Piat (APC), mais aussi celle de Vincent Ezratti (Université Paris Sud), Manou Chaigneau (IAS), Bernadette Leriche (IAS).

Annexe

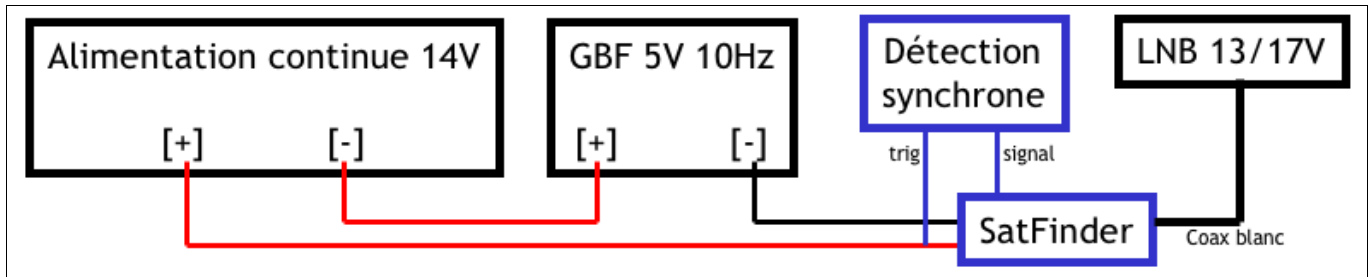


Figure A1: schéma de branchement du système.

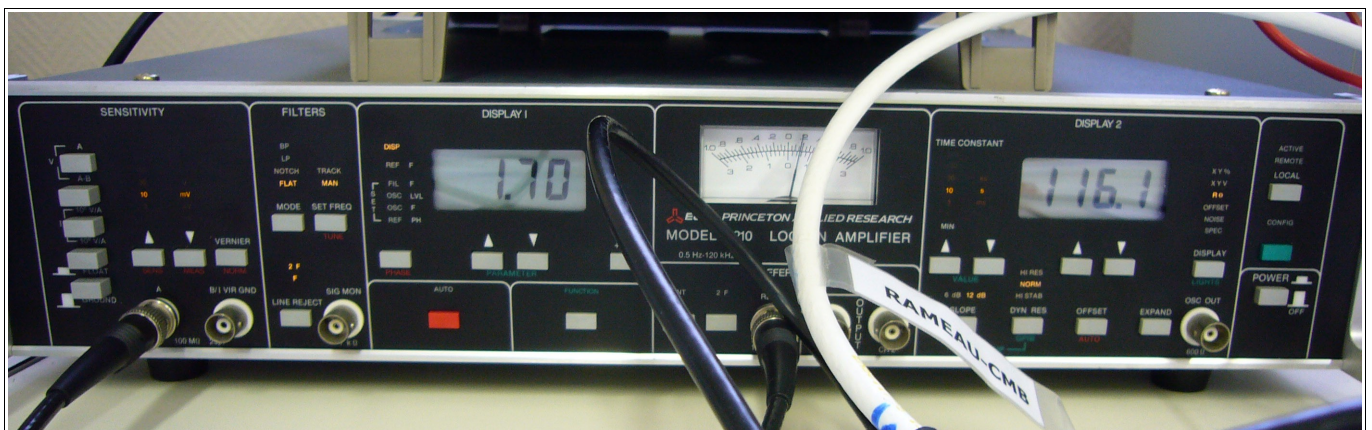


Figure A2: Réglages de la détection synchrone. A gauche: **10mV**. A droite: **1s** de constante de temps. Coax de gauche: vers le SatFinder. Coax du milieu: vers l'alimentation basse fréquence pour caller le créneau. Le générateur BF doit envoyer des créneaux de sorte que le système reçoive **13V et 17V** à une fréquence de **10Hz** environ. En pratique l'alim délivre du 14V, et le GBF Pasco a son amplitude réglée à **la moitié**. Vérifier la tension effective dans le circuit avec l'oscilloscope. Vérifier la phase.

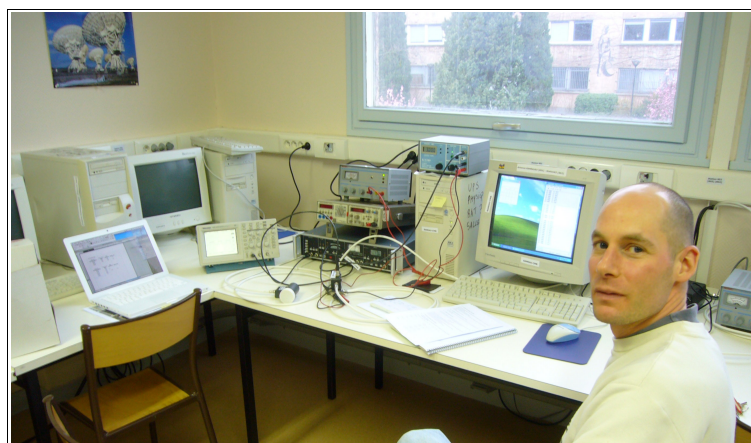


Figure A3: Installation de test, avec Vincent Ezratti, dans la salle de contrôle RAMEAU. De gauche à droite: Mac pour analyse temps réel; oscilloscope; détection synchrone (et au dessus: ancien GBF et alim); PC de pilotage des antennes, avec au dessus le GBF. Pris le 27 février 2007 lors du premier balayage réussi (détection de l'atmosphère) sur le ciel. Un LNB non modifié sert de test dans la salle.