

BRAMS

Un réseau belge pour la détection radio des météores

Hervé Lamy

Contexte

Lors du déplacement le long de son orbite à travers le système solaire, la Terre entre continuellement en collision avec des particules solides, de tailles très diverses avec un diamètre allant de quelques microns à quelques mètres. Ces particules constituent ce qu'on appelle "les poussières interplanétaires". La masse totale de particules heurtant l'atmosphère terrestre chaque jour est estimée entre 40 et 100 tonnes. Quand ces particules entrent en collision avec la Terre, elles ont des vitesses très élevées (supérieures à 11.2 km/s), s'échauffent fortement en heurtant les atomes et molécules de la haute atmosphère à 80-120 km d'altitude et peuvent produire un phénomène lumineux appelé météore ou plus communément "étoile filante" (figure 1). L'origine de ces particules est liée soit à des collisions astéroïdales (on parle de météores sporadiques car ils peuvent se produire à tout instant et provenir de directions quelconques), soit à des éjections de noyaux cométaires à l'approche du Soleil (ce sont les essaims de météores qui se produisent chaque année à la même époque).

8



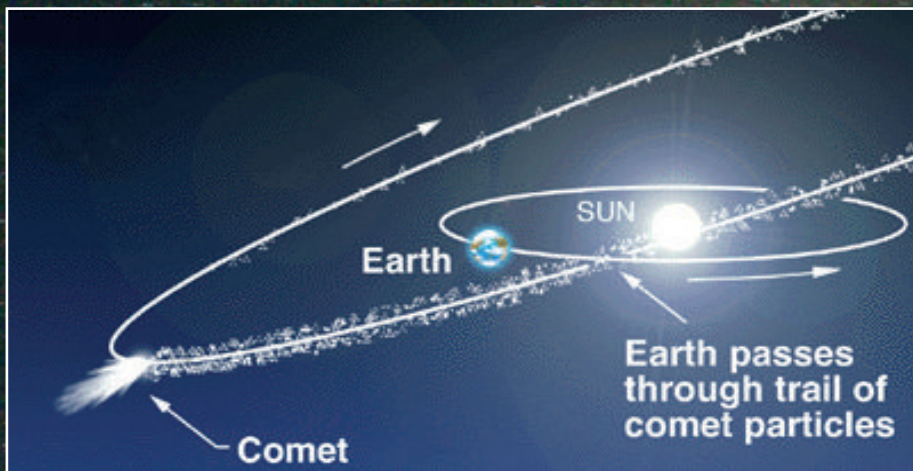
Fig.1. Météore observé durant les Perséides le 8 août 2007 (photo prise par Jimmy Westlake, Colorado, USA).

Détection radio des météores

Ces particules produisent également une traînée d'électrons dans leur sillage sur laquelle une onde radio VHF (*Very High Frequency*, fréquences comprises entre 30 et 300 MHz) émise au sol peut se réfléchir pendant un certain laps de temps allant de quelques dixièmes de secondes pour les objets les plus petits (et les plus nombreux)

à quelques minutes pour les plus gros objets. Sous certaines conditions géométriques, le signal radio réfléchi peut être capté par une station réceptrice écoutant la fréquence de l'émetteur. C'est le principe de la détection radio des météores. La réflexion est essentiellement spéculaire, ce qui signifie que l'essentiel de la puissance reçue par le récepteur provient d'un seul point de la trajectoire. L'émetteur

et le récepteur peuvent être situés au même endroit (système radar ou "back scattering") ou non (on parle alors de "forward scattering"). Le deuxième système a une géométrie plus compliquée mais ne souffre pas d'un effet de sélection bien connu des systèmes radars, appelé le "plafond écho" qui limite la détection des météores faibles et rapides. D'une façon générale, les deux avantages principaux de l'observation radio des météores par rapport aux observations optiques sont d'une part une sensibilité plus importante aux objets de petites tailles (qui sont aussi les plus nombreux et ne donnent pas lieu à un phénomène lumineux), et d'autre part la possibilité de réaliser des observations de façon continue (les observations optiques ne pouvant se faire que la nuit et par ciel clair).



BRAMS

Le projet BRAMS (Belgian RAdio Meteor Stations), initié par l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) en 2009, utilise la technique du "forward scattering" avec un émetteur dédié et un ensemble de stations de réceptions réparties sur le territoire belge. Les principaux objectifs scientifiques du projet sont :

- 1) la détermination des trajectoires des météores. Ceci nécessite l'observation d'un même météore par plusieurs stations car chaque station fournit de l'information sur un seul point de la trajectoire.
- 2) le calcul des densités de flux (nombre de météores de masse supérieure à une masse donnée qui intersectent une surface unitaire par unité de temps) et de l'indice de masse (qui donne une idée de la répartition de la masse) dans les essaims de météores.
- 3) l'analyse des échos de certains météores pour obtenir des informations physiques sur la particule telles que vitesse, décélération, ionisation ou masse.

2010 a principalement été consacrée à l'implémentation technique et au développement technologique de BRAMS. Les efforts ont été concentrés principalement sur le choix, l'acquisition et l'installation du matériel d'émission et de réception ainsi que sur le développement d'algorithmes de traitement de données. Le réseau BRAMS devrait être opérationnel pour l'été 2011.



Emetteur

Depuis septembre 2010, l'IASB dispose de son propre émetteur localisé sur le site du Centre de physique du Globe à Dourbes. Ce site a été choisi pour son emplacement géographique, son infrastructure existante et la présence des techniciens et ingénieurs de l'IRM pour remédier à d'éventuels problèmes. Une licence permettant d'émettre une sinusoïde pure à 49.97 MHz avec une puissance de 150 watts a été délivrée par l'Institut Belge des services Postaux et des Télécommunications (IBPT). Le choix de la fréquence a été guidé par des raisons scientifiques (la puissance et la durée du signal diminuent rapidement quand la fréquence augmente) et par des raisons pratiques (éviter les réflexions sur les couches E de l'ionosphère qui se produisent typiquement pour des fréquences inférieures à 30 MHz, choix d'une gamme du spectre électromagnétique relativement propre avec peu d'émetteurs). L'antenne émettrice est une Yagi croisée 2 éléments émettant verticalement avec un lobe de rayonnement relativement large afin de couvrir une superficie assez importante à 100-120 km d'altitude (figure 2).



Fig.2. Antenne émettrice située sur le site du centre de Physique du Globe à Dourbes. Le générateur de signal et l'amplificateur de puissance se trouvent à l'intérieur de la cabane en arrière-plan.

Récepteurs

Fin 2011, approximativement 20 stations de réception seront réparties sur le territoire belge. L'IASB collabore à ce niveau avec plusieurs radioamateurs ou groupes d'astronomes amateurs qui gèreront la plupart de ces stations. Le matériel est fourni par l'IASB et sera identique pour chaque station afin de faciliter la comparaison des données. Le schéma de principe d'une station de réception est illustré à la figure 3.

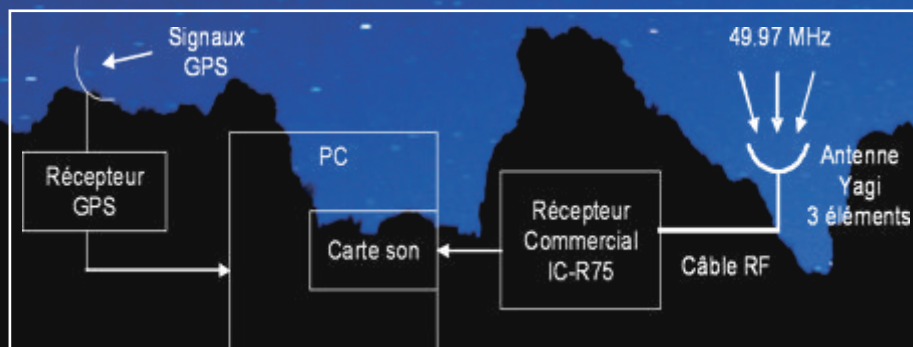


Fig. 3: Schéma de la chaîne de réception.

Chaque station comprend une antenne Yagi 3 éléments, un câble RF, un récepteur radio commercial (IC-R75) et un récepteur GPS. Le PC est fourni par les utilisateurs locaux. L'antenne est orientée dans la direction de l'émetteur avec une élévation qui correspond à une altitude d'environ 100 km au dessus de Dourbes. Comme le volume "illuminé" par l'émetteur est relativement grand, une antenne Yagi 3 éléments, peu directive, est utilisée car la direction d'arrivée du météore n'est pas connue a priori. L'antenne est reliée par un câble RF à un récepteur commercial qui abaisse la fréquence d'observation autour de 1 KHz (comme c'est le cas pour une radio FM). La raison pratique est que ce signal analogique peut dès lors être échantillonné par la carte son du PC et être stocké et analysé ultérieurement. Un autre avantage est que le signal devient audible et les échos de météore peuvent être entendus au moyen des haut-parleurs du PC. Bien que n'ayant aucune valeur scientifique, cet aspect est néanmoins important pour les groupes d'astronomes amateurs désireux de montrer cette application à leurs visiteurs. Enfin, une horloge GPS est utilisée afin de synchroniser les données provenant de chaque station avec une précision inférieure à la milliseconde. Les figures 4 et 5 montrent deux stations de réception, une située à côté de l'IASB, et la seconde située sur le toit de l'observatoire MIRA à Grimbergen.



Figures 4 et 5 : Antennes de réception Yagi 3 éléments situées à Uccle (gauche) et à Grimbergen (droite, page 11).

L'une des stations de réception sera différente des autres. Il s'agit d'un interféromètre constitué de 5 antennes Yagi 3 éléments disposées dans une configuration permettant de mesurer avec précision (environ 1°) la direction d'arrivée du signal. L'utilisation de cet interféromètre en combinaison avec plusieurs stations de réception "simples" facilitera grandement la détermination des trajectoires des météores. L'interféromètre a été installé sur le site radioastronomique de Humain, près de Rochefort, suite à une collaboration avec l'Observatoire Royal de Belgique, propriétaire des lieux.

Transfert, stockage et analyse des données

Etant donné que les météores tombent en permanence sur l'atmosphère terrestre, les observations doivent être réalisées de manière ininterrompue. Chaque station de réception génère environ 1 Gb de données par jour. Ces données sont d'abord sauveées localement puis envoyées régulièrement à l'IASB où elles sont archivées et analysées. Une première analyse spectrale peut également se faire localement et en temps réel sur le PC des stations de réception. Elle permet d'obtenir un spectrogramme, c.à.d. un graphe donnant la fréquence en fonction du temps, l'intensité du signal étant mesurée par un code de couleur. Un exemple est donné à la figure 6. Vu la quantité énorme de données à traiter, leur analyse doit se faire de manière automatique. Des algorithmes sont en cours de développement à l'IASB, notamment pour procéder au comptage automatique des échos de météore dans les spectrogrammes.

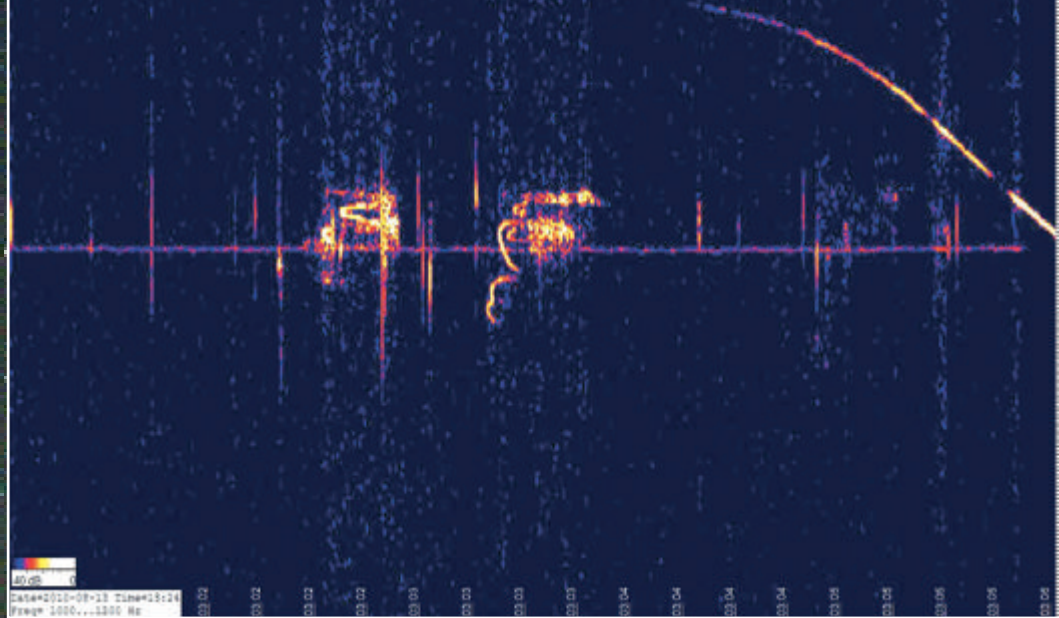


Figure 6 : Un graphe donnant l'évolution du contenu fréquentiel en fonction du temps. L'abscisse est le temps (5 minutes de données) et l'ordonnée est la fréquence (de 1 à 1.2 MHz). La ligne horizontale est le signal direct de la balise se propageant au niveau du sol. Les traits verticaux sont des échos dus aux météores, de courte durée et légèrement décalés par rapport à la fréquence de la balise suite à l'effet Doppler dû aux mouvements des électrons de la traînée qui diffusent dans l'atmosphère neutre. Le long signal de forme curviligne à droite est un écho sur un avion. On observe également des échos de météore avec des formes particulières (en forme de "epsilon") dont l'origine n'est pas encore comprise.

Conclusions et perspectives

L'étude des météores est importante dans de nombreux domaines : ils influencent la chimie de la haute atmosphère et sont peut-être à l'origine de certains phénomènes tels que les nuages noctiluques. En astrophysique, leur étude sert à développer et valider des modèles de dégazage des comètes ou des modèles d'évolution dynamique des poussières interplanétaires dans le système solaire. Ils constituent également un danger pour les satellites en orbite. Les agences spatiales telles que l'ESA et la NASA se sont récemment rendu compte de l'importance de disposer d'un modèle statistique précis des flux de météores. Avec le réseau BRAMS, l'IASB pourra contribuer de manière significative à ces études. Il sera opérationnel à l'été 2011 et donc prêt pour l'observation des Perséides en août et des Draconides début octobre. Cet essaim est en général peu actif mais les spécialistes prédisent pour cette année jusqu'à 600 météores visibles à l'œil nu par heure (6 fois plus que pour les Perséides ces dernières années). Les scientifiques préparent de nombreuses campagnes d'observations et il sera important pour BRAMS de s'insérer dans cet effort international. □

Plus

<http://brams.aeronomie.be>