

Observation des météores par radio

Exemple d'application: les Léonides 2006

Radio observation of meteors

Leonids 2006 as an example

Jean-L. RAULT F6AGR

Commission Radioastronomie - Société Astronomique de France
f6agr@wanadoo.fr

Abstract: Compared to visual observations, radio tracking of meteors has some advantages and disadvantages. Theoretical and practical aspects of radio meteor experiments are described. Present meteor radio detection softwares capabilities and limitations are discussed. Daily sporadic meteor activity and Leonids 2006 observation results are proposed as a practical example.

Keywords: Meteors, bistatic radar, forward scatter, Doppler

Introduction

Les observations de météores par des moyens radioélectriques donnent des résultats complémentaires de celles effectuées avec des moyens optiques. Chacune des méthodes présente des avantages et des inconvénients.

L'observation optique n'est possible dans de bonnes conditions que pendant les nuits sans Lune, par ciel dégagé, avec une atmosphère transparente et en absence de toute pollution lumineuse gênante. Outre les opérations de comptage, l'observation optique permet de déterminer avec une bonne précision les directions d'arrivée (radiants) et les vitesses radiales des étoiles filantes.

L'observation radio, elle, est possible toute l'année, de jour comme de nuit, et n'est pas affectée par les conditions météorologiques locales. Grâce à des outils informatiques à la portée de l'amateur, il est possible d'enregistrer en continu les échos radio provoqués par les traînées ionisées des météores, de dénombrer ainsi les météores et d'évaluer leurs vitesses radiales [1], et d'établir des statistiques d'occurrence.

L'observation radio, grâce à sa grande sensibilité, permet de détecter beaucoup plus de météores que l'observation optique (plusieurs centaines de météores sporadiques par heure sont couramment détectables par radio, à comparer avec les quelques détectations à dizaines de détectations par heure obtenues avec les moyens optiques).

L'observation radio est parfois perturbée par des phénomènes de propagation anormale des ondes: les nuages sporadiques E⁽¹⁾, les aurores polaires, les inversions de température sont des phénomènes qui créent autant de miroirs pour les ondes radio, provoquant ainsi des artefacts ou des phénomènes de saturation des récepteurs.

L'observation amateur des météores par radio a pris son essor dans les années 1960. Elle consistait à régler un récepteur radio sur la fréquence d'un émetteur FM de radiodiffusion situé hors de portée, loin derrière l'horizon et à dénombrer auditivement les bouffées de signal reçues par intermittence lorsqu'une traînée ionisée de météore réfléchissait les ondes de l'émetteur vers le récepteur.

Au début des années 1990, l'expansion de l'informatique domestique a permis de remplacer les fastidieux comptages manuels par des mesures automatisées susceptibles d'enregistrer des données de façon réellement continue, c'est-à-dire 24 heures

sur 24 toute l'année.

Depuis quelques années, l'apparition de récepteurs radio précis et stables en fréquence d'une part, et de puissants logiciels de traitement de signal (analyses spectrales) d'autre part ont conduit l'amateur à privilégier l'utilisation d'émetteurs modulés en amplitude (émetteurs TV, balises dédiées) et non plus en fréquence pour illuminer les météores à observer.

Principes utilisés

Un article détaillé consacré à la détection radio des météores a été publié dans la revue l'Astronomie de janvier 2006 [2].

Pour les aspects théoriques, on se référera utilement aux publications de l'IMO (International Meteor Organization⁽²⁾), et en particulier à un article de Jean-Marc Wislez [3] publié dans les Proceedings Radio 2005 de l'IMO.

Rappelons simplement qu'un météoroïde, lorsqu'il pénètre à très grande vitesse⁽³⁾ dans les hautes couches de l'atmosphère, est fortement freiné par les molécules de l'air qu'il rencontre, et qu'il dissipe son énergie cinétique sous différentes formes (essentiellement calorifique, mais aussi lumineuse, acoustique, mécanique avec l'ablation de la surface du météoroïde, etc.).

Les frottements intenses induits ionisent les gaz de la haute atmosphère ainsi que les atomes et molécules arrachés au météoroïde.

Les électrons libres ainsi créés ont la propriété de réfléchir les ondes radio, avant qu'ils ne se recombinent avec les ions positifs du plasma au bout d'un temps dépendant de la vitesse incidente du météore, de sa masse, de la pression atmosphérique à l'altitude concernée, et des températures en jeu.

En théorie, certaines conditions géométriques bien particulières sont requises pour qu'on puisse capter un écho radio sur une traînée ionisée de météore. La figure 1 représente en détail les conditions nécessaires au phénomène de réflexion dit spéculaire.

En théorie, seules les traînées météoriques tangentes à l'ellipsoïde dont les foyers sont les emplacements respectifs de l'émetteur et du récepteur peuvent donner lieu à des échos radio au niveau de l'observateur (réflexion dite spéculaire).

En pratique, les traînées ionisées sont loin d'adopter une forme linéaire parfaitement lisse. Elles sont sujettes à des phénomènes de turbulence, de fractionnement [6], de déformation sous l'influence de la diffusion ambipolaire [7] et des vents de la haute

⁽¹⁾ Zones fortement ionisées de petites dimensions, apparaissant de façon éphémère à une centaine de kilomètres d'altitude

⁽²⁾ <http://www.imo.net/>

⁽³⁾ jusqu'à 70 km/s environ

atmosphère [4], de changement d'alignement sous l'influence du champ magnétique terrestre [8], etc.
 La détection radio permet donc de dénombrer bien plus de météores que la loi de la réflexion purement spéculaire sur un cylindre ne le laisserait supposer.

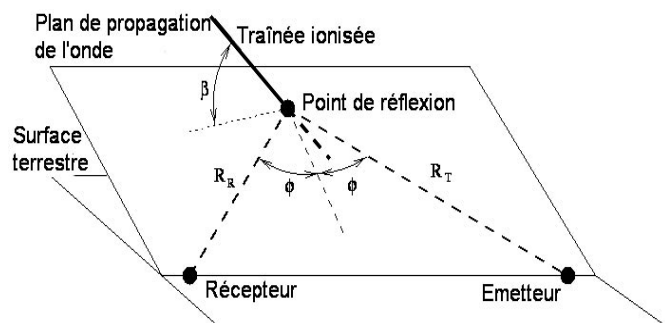


Fig.1: Aspects géométriques d'une réflexion radio de type spéculaire

On classe les échos radio en échos sous-denses et sur-denses, selon que la densité linéaire d'électrons libres du plasma est inférieure ou supérieure à 1013 électrons.mètre.

La puissance maximale d'un écho radio s'exprime de la façon suivante [3]:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^3 r_e^2 q^2 \sin^2 \gamma}{32\pi^2 R_T R_R (R_T + R_R) (1 - \sin^2 \phi \cos^2 \beta)} \exp \frac{-8\pi^2 r_0^2}{\lambda^2 \sec^2 \phi}$$

On voit qu'outre les impératifs géométriques liés à la réflexion spéculaire, la puissance maximale PR d'un écho reçue au niveau de la station d'observation radio est proportionnelle:

- à la puissance émise PT,
- aux gains des antennes d'émission GT et de réception GR,
- au carré de la densité linéaire électronique q du plasma de la traînée météorique

La puissance reçue diminue lorsque les distances RT de l'émetteur au météore et RR du météore au récepteur augmentent.

Elle dépend également d'une constante physique, le rayon re de l'électron, et du rayon initial r0 de la traînée ionisée.

La puissance de l'écho qu'on peut recevoir est très fortement tributaire de la longueur d'onde utilisée pour illuminer la cible: si la longueur d'onde est doublée - c'est-à-dire si la fréquence est diminuée de moitié -, l'amplitude de l'écho sera multipliée par 8, puisqu'elle varie comme le cube de la fréquence utilisée.

Sachant que la longueur d'onde utilisée détermine l'amplitude des échos, mais aussi que plus la longueur d'onde est petite, plus on pourra analyser de détails fins de la traînée ionisée mais enfin qu'aux grandes longueurs d'onde, on est gêné par des phénomènes de propagation (réflexions parasites sur les couches D, E ou F de l'ionosphère), le meilleur compromis pour les observations radio se situe finalement aux environs de 6 m de longueur d'onde, soit des fréquences d'une cinquantaine de MHz.

En pratique, dans cette plage de fréquences, les émetteurs de télévision Bande I qui fonctionnent 24 heures sur 24 se révèlent les mieux adaptés pour l'observation continue des météores. Avec des puissances apparentes rayonnées de plusieurs centaines de kilowatts et des distances optimales entre émetteurs et récepteur d'un millier de kilomètres environ, l'amplitude des échos reçus est souvent supérieure à -100 dBm⁽⁴⁾, ce qui donne des signaux

parfaitement exploitables par une station de réception amateur de classe moyenne équipée d'une antenne à faible gain.

Description des moyens mis en œuvre

Le système de détection utilisé dans le cadre de cette étude comprend:

- une antenne de type "tourniquet" composée de deux dipôles horizontaux perpendiculaires couplés par une ligne à retard coaxiale quart d'onde,
- un récepteur tous modes toutes bandes type AR5000A+ (fabricant: AOR)
- un PC (Pentium 4, 512 Mo de RAM, disque dur 250 Go, système d'exploitation Windows XP) muni d'une carte-son, d'un graveur de DVD et connecté en permanence à Internet.

L'antenne tourniquet choisie présente, malgré un gain relativement faible (Gmax = 2,5 dBi environ) les avantages suivants pour notre application:

- faisceau en site: 45°
- faisceau en azimut: omnidirectionnel
- polarisation: circulaire.

Grâce à sa caractéristique omnidirectionnelle en azimut, l'antenne est sensible à tout signal, quel que soit son azimut d'arrivée. Les émetteurs TV transmettent en polarisation plane horizontale ou verticale mais les échos de ses signaux sur météores sont affectés de polarisations très diverses, dues aux réflexions et à l'effet Faraday⁽⁵⁾ [7]. D'où l'intérêt d'une polarisation circulaire à la réception, qui permet de capter au mieux des signaux polarisés

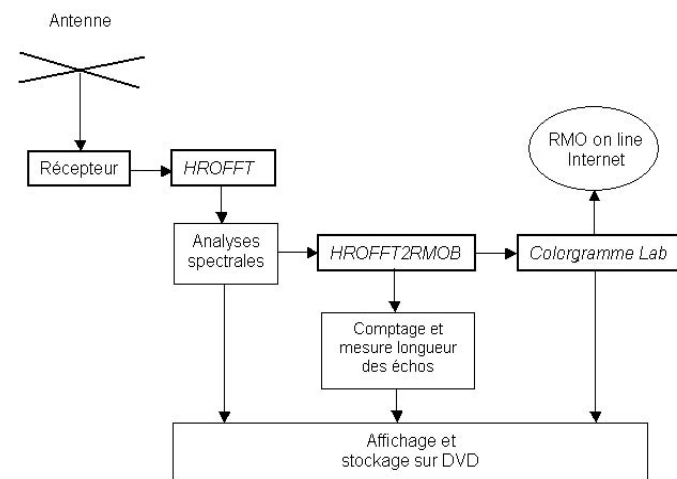


Figure 2: Diagramme fonctionnel du système d'observation

de façon aléatoire.

Le récepteur AR5000A+ est surdimensionné pour cette application, puisqu'il couvre toutes les fréquences de 10 kHz à 3 GHz, tout en offrant de nombreuses options (types de modulation variés, nombreux filtres MF et AF, etc.) Un simple récepteur de type "scanner" capable de recevoir la bande 48 MHz, suffisamment stable en fréquence et muni d'un BFO⁽⁶⁾, ou encore un convertisseur 48 MHz suivi d'un récepteur de trafic ondes courtes seraient suffisants pour notre application.

Le PC cité est lui aussi largement surdimensionné, puisqu'un PC plus lent tournant sous Windows 98 ou mieux suffirait. La carte-son est indispensable, puisqu'elle sert d'interface avec le récepteur radio. Le graveur de DVD est utile si l'on souhaite stocker les signaux bruts pour archivage et pour traitements

⁽⁴⁾ 1 dBm : 1 décibel par rapport à une référence de 1 milliwatt

⁽⁵⁾ L'effet Faraday consiste en une rotation du plan de polarisation d'une onde électromagnétique lorsqu'elle traverse un milieu ionisé soumis à un champ magnétique.

⁽⁶⁾ BFO: oscillateur de battement permettant la démodulation de la télégraphie et des émissions à bande latérale unique

ultérieurs.

Une connexion permanente à Internet est nécessaire si l'on envisage les options suivantes:

- correction de toute dérive de l'horloge interne du PC, pour garantir une datation précise des enregistrements⁽⁷⁾,
- mise à disposition de tous, au niveau mondial, des informations collectées 18 .

L'analyse spectrale par Transformée de Fourier Discrète traite une bande de fréquences de 600 Hz de large centrée sur 900 Hz.

HROFFT évalue également l'amplitude des échos reçus dans une bande de fréquences choisie par l'opérateur. La figure 4 donne un aperçu des données présentées par HROFFT. L'axe horizontal est l'axe des temps, l'axe vertical celui des fréquences. En bas de

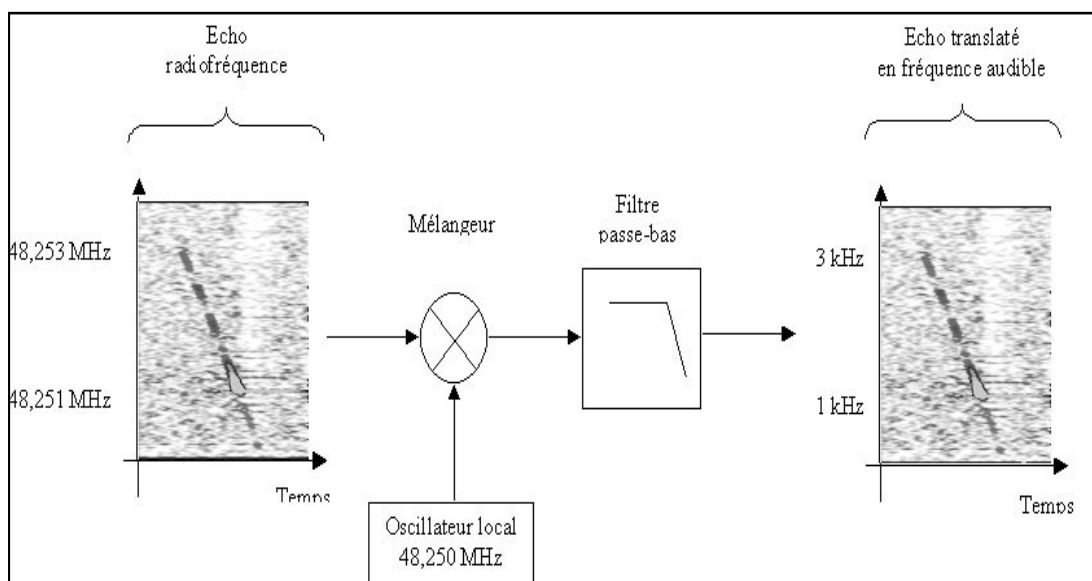


Fig.3: Principe simplifié de la translation des fréquences RF en fréquences audio

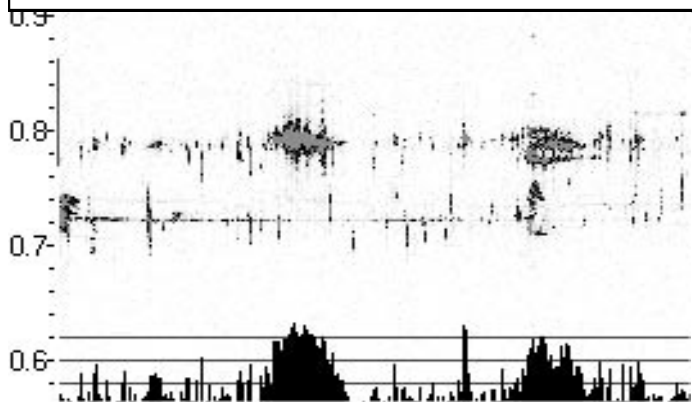


Fig. 4: Analyse spectrale et d'amplitude

Le principe retenu pour dénombrer les météores de façon automatique est le suivant (voir figure 2):

- l'antenne capte vers 48 MHz les échos de la porteuse image d'un émetteur de télévision, échos réfléchis sur la traînée ionisée accompagnant chaque météore,
- le récepteur amplifie les échos reçus sur 48 MHz, élimine par filtrage les signaux hors bande utile et translate les échos vers une fréquence audio proche de 1000 Hz (voir figure 3)
- le PC, dont la carte-son est connectée au récepteur, procède en temps réel à une analyse spectrale audio des signaux reçus et procède à un comptage des signaux dont l'amplitude dépasse un seuil prédéterminé.

Les logiciels HROFFT v1.0.0.f⁽⁸⁾, de Kazuhiko Ohkawa, ainsi que HROFFT2RMOB v3.0 et Colorgramme for RMOB v2.0⁽⁹⁾ de Pierre Terrier ont été sélectionnés pour notre application.

HROFFT effectue l'analyse spectrale audio des signaux reçus, ainsi que la sélection fréquentielle des échos à dénombrer.

l'image s'affiche l'amplitude des échos détectés dans une bande de fréquences que l'on peut pré-régler. Le filtre passe-bande en question est représenté par un trait vertical accolé à l'axe vertical (de 760 Hz à 860 Hz dans l'exemple représenté). Les échos apparaissent sous forme de taches dont la couleur (du bleu sombre au rouge vif) est représentative de l'amplitude du signal. Sur la figure 4, on distingue deux séries horizontales d'échos centrées sur 720 et sur 790 Hz qui correspondent à des signaux reçus de deux émetteurs distincts

très proches en fréquence. La trace supérieure correspond à l'émetteur de Nevacerrada (Espagne) et la trace inférieure à l'émetteur de Bantiger (Suisse). Les fréquences respectives de ces émetteurs sont 48250,070 kHz et 48250,000 kHz, qui, une fois traduites dans le domaine audio, donnent des signaux à 790 Hz et 720 Hz.

Le deuxième logiciel, HROFFT2RMOB (prononcer HROFFT to RMOB), procède à partir des analyses spectrales de HROFFT au comptage des pics de signal et à la classification de ces pics en fonction de leur amplitude et de leur durée. Les données sont stockées dans le format normalisé RMOB 18.

Enfin, le troisième logiciel Colorgramme for RMOB affiche les données sous forme synthétique et les diffuse sur le site Internet Radio Meteor Observatory's On Line 18, accompagnées d'informations concernant la station d'observation.

Le réseau RMO On Line, accessible à tous, met à disposition les données temps réel collectées par des observateurs bénévoles disséminés dans le monde entier, ainsi que les archives stockées depuis 1993.

Application au comptage journalier des météores

En dehors de tout essaim de particules provenant d'une comète ou d'un astéroïde fragmenté clairement identifié, la Terre rencontre à longueur de journée des météoroïdes sporadiques d'origine indéterminée.

Le flux de météores sporadiques reçu par un observateur particulier varie de façon similaire d'un jour à l'autre: on observe un pic tous les matins à l'heure du lever du Soleil à l'endroit de l'observation et un creux au moment du coucher du Soleil.

Ceci s'explique par le fait que dans la course de la Terre à 37

⁽⁷⁾ L'installation du logiciel Dimension 4 (téléchargeable sur <http://www.thinkman.com/dimension4>) permet de synchroniser l'horloge du PC à mieux que 20 mS près grâce à des serveurs horaires (étalons atomiques) au standard NTP, comme celui de l'Observatoire de Paris par exemple (ntp.obspm.fr)

⁽⁸⁾ Non disponible sur Internet. En demander une copie à l'auteur.

⁽⁹⁾ <http://radio.meteor.free.fr/main.html>

km/s autour du Soleil, l'endroit du globe terrestre où se situe l'observateur fait face le matin aux météoroïdes, alors que le soir il s'en éloigne.

Le matin au terminateur, le nombre et la vitesse d'entrée des météores dans l'atmosphère est donc plus important que le soir. Baptisons cela "l'effet moustiques": le pare-brise d'une voiture est toujours plus constellé d'insectes que sa lunette arrière ! L'annexe A donne à titre d'exemple le détail les données collectées par l'auteur en Ile de France pour la journée du 8 décembre 2006.

L'histogramme de la figure 5, construit sous Excel® à partir des données collectées les 7, 8 et 9 décembre 2006 permet de mettre clairement en évidence les variations journalières du flux de météores sporadiques.

Application aux Léonides 2006

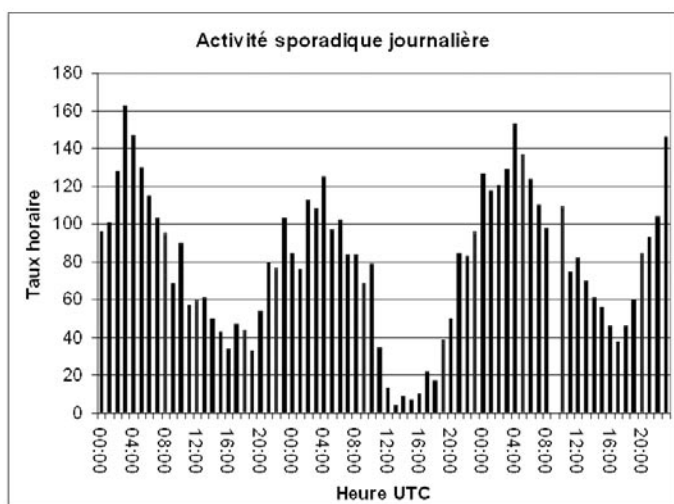


Fig. 5: Flux sporadique journalier météorique

Les pluies d'étoiles filantes se produisent lorsque la Terre croise annuellement l'orbite d'essaims de particules provenant soit de la fragmentation d'astéroïdes (par exemple Phaéton qui est à l'origine de l'activité annuelle des Géminides), soit de l'éjection de particules solides émises par les comètes lorsqu'elles se réchauffent en s'approchant de façon cyclique du Soleil.

Le tableau ci-dessous résume les prédictions établies par plusieurs astronomes pour le pic des Léonides 2006.

Prédiction	Heure UTC du pic le 19 novembre 2006
Mikiya Sato ¹⁰	04:44
Asher/McNaught ¹¹	04:45
E. Lyttinen ¹²	04:48
M Maslov ¹³	04:55
J. Vaubaillon ¹⁴	04:58

Le pic maximal prédit pour 2006 est dû à des particules qui avaient été émises par la comète 55P/Tempel-Tuttle lors de son passage au périhélie en 1932.

Pour les méthodes de calcul et les simulations numériques employées la prédiction des pluies d'étoiles filantes, on consultera avec intérêt deux ouvrages de référence: la thèse de doctorat de l'Observatoire de Paris de Jérémie Vaubaillon [5] et le livre "Meteor Showers and their Parent Comets" de Peter

Jenniskens [9].

Le résultat des mesures radio effectuées le 19 novembre 2006 pour les Léonides en Ile de France avec l'instrumentation décrite dans cet article est représenté figure 6.

L'émetteur utilisé pour ces observations était celui de

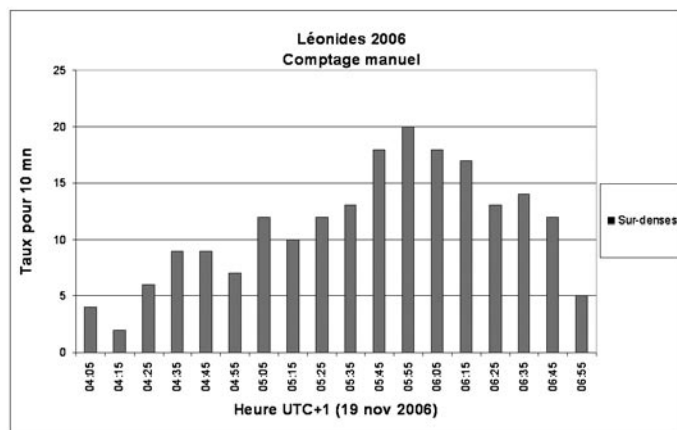


Fig. 6: Evaluation du pic d'activité radio des Léonides 2006 Nevacerrada, en Espagne (voir figure 7). L'émetteur de Bantiger (Suisse), qui présente l'avantage d'être très proche en fréquence, était enregistré simultanément. Le circuit Epinay / Bantiger présente la particularité intéressante d'être pratiquement perpendiculaire au circuit Epinay / Nevacerrada et donc de permettre des comparaisons.

Le pic radio observé en Ile de France se situe à 04h55 ± 5mn UTC, en bonne concordance avec les prédictions respectives de M. Maslov et de J. Vaubaillon.

Le décompte a été réalisé en traitant le nombre d'échos radio sur-denses par tranches temporelles de 10 minutes.

Les résultats proviennent d'un comptage manuel à partir des images d'analyses spectrales fournies par le logiciel HROFFT, et non pas d'un comptage automatique par le logiciel associé HROFFT2RMOB.

La raison en est donnée dans la discussion ci-dessous.

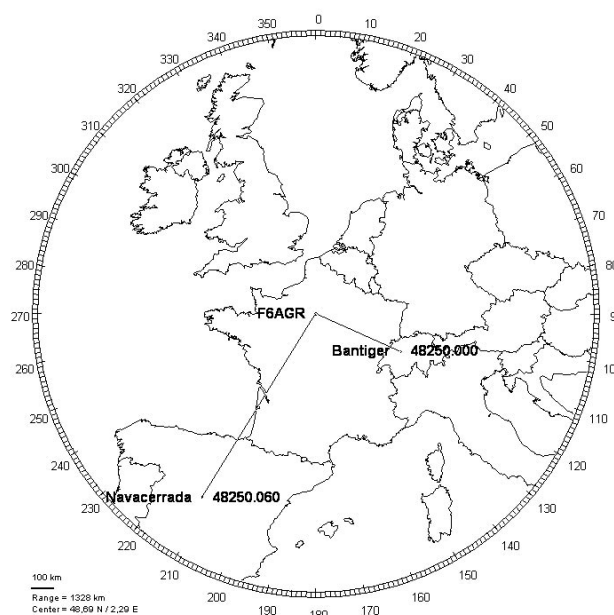


Fig. 7: Trajets radio choisis pour l'observation des Léonides 2006

⁽¹⁰⁾ <http://fas.kaicho.net/tenshow/meteor/55p2006/Leo2006.htm>

⁽¹¹⁾ <http://www.arm.ac.uk/leonid/encounters.html>

⁽¹²⁾ *Meteors predictions for the years 1999-2007 Meta Res. Bull. 8,33-40*

⁽¹³⁾ <http://feraj.narod.ru/Radiants/Predictions/Leonids2006eng.html>

⁽¹⁴⁾ <http://www.imcce.fr/page.php?nav=en/ephemerides/phenomenes/meteor/DATABASE/Leonids/2006/index.php>

Discussion sur les outils employés

Tous les logiciels disponibles actuellement qui sont dédiés au comptage automatique des échos radio sur météores procèdent du même principe: tout pic de signal reçu qui dépasse un certain seuil d'amplitude pendant une durée prédéterminée est considéré comme un écho réel de météore.

La figure 8 donne un exemple de représentation de l'amplitude de tels pics en fonction du temps. Il apparaît clairement sur cet exemple que le nombre d'échos détectés par seuillage d'amplitude dépend directement de la valeur du seuil choisi. Avec un seuil réglé à -27 dB par exemple (barre horizontale blanche pointillée), on peut détecter 23 échos sous-denses et 3 échos sur-denses. Avec une barre rehaussée à -15 dB (barre

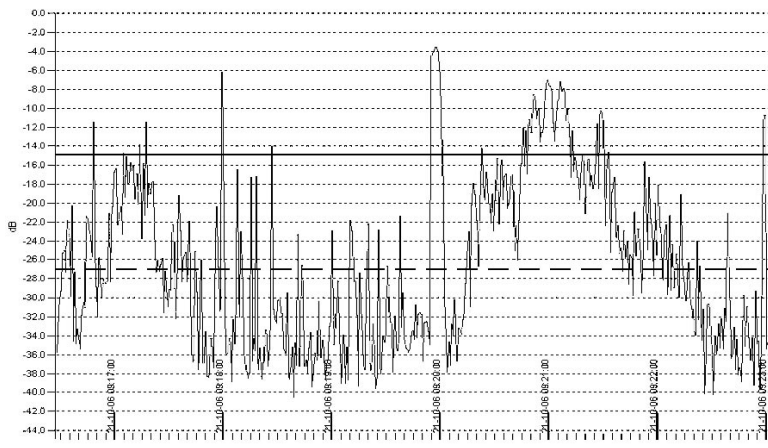


Figure 8: Représentation de l'amplitude en fonction du temps

horizontale blanche continue), on ne détecte plus que 10 échos sous-denses et 2 échos sur-denses.

Il est important de noter que les échos sous-denses de faible amplitude sont totalement masqués pendant toute la durée d'un seul écho sur-dense, ce qui biaise totalement les mesures en cas de forte activité météorique ! Ce phénomène de saturation est caractéristique des systèmes de comptage à seuillage d'amplitude.

Les principales faiblesses de ce principe de comptage sont les suivantes:

- tout parasite (interférences radio, parasites industriels ou domestiques générés par les interrupteurs, les variateurs de lumière, les allumeurs de chaudières, les moteurs électriques, etc.) dépassant le seuil de référence sont considérés comme de "vrais" météores,
- tout signal de longue durée dépassant le seuil de comptage (parasites de longue durée, phénomènes de propagation radio favorisant la réception de l'onde directe -non réfléchi sur météores- de l'émetteur surveillé, échos météoriques sur-denses de longue durée, inhibe le dispositif de comptage
- tout écho provenant d'un autre émetteur proche en fréquence est pris en compte.

Avec la détection automatique par seuillage d'amplitude adoptée

actuellement, on arrive donc au paradoxe suivant: le nombre d'échos comptés automatiquement DIMINUE au lieu d'augmenter lors d'un pic d'activité d'étoiles filantes, à cause des gros météores dont l'écho masque les plus petits ... Voilà donc un artefact rédhibitoire !

C'est ce qui nous a conduit à privilégier un comptage à partir d'analyses spectrales des échos, et non plus à partir de courbes d'amplitude. La figure 9 donne une vue d'une telle analyse spectrale fine des échos correspondant exactement aux signaux représentés sur la figure 8. L'axe vertical représente les fréquences, l'axe horizontal le temps écoulé.

Un code de couleurs permet d'évaluer l'amplitude des échos reçus. Sur l'analyse spectrale en question, on distingue les trois échos sur-denses précédemment repérés sur la figure 8. Le premier, à 09h17 UTC ressemble à un nuage, ce qui dénote une forte dispersion Doppler due à des turbulences dans une traînée ionisée. Le second à 09h20 UTC présente une forme de L: la barre verticale du L correspond à une décroissance rapide de fréquence provenant d'un écho sur une tête d'un météore qui se déplace à grande vitesse, et la partie horizontale du L correspond à un écho sur la traînée ionisée sur-dense résiduelle. Le troisième écho sur-dense en forme de C, vers 09h20 et 30 s, est caractéristique de parties de la traînée ionisée qui dérivent à des vitesses radiales différentes, occasionnant ainsi des dérives de fréquence dues à l'effet Doppler.

Malgré la présence de gros échos longs, on peut sur une telle analyse spectrale parfaitement identifier les nombreux échos sous-denses qui se caractérisent par de petits traits verticaux.

En exploitant cette image, on peut ainsi dénombrer jusqu'à 40 échos sous-denses et 5 échos sur-denses, à comparer avec les résultats incertains obtenus avec l'analyse d'amplitude précédemment décrite. L'analyse spectrale fine, grâce au phénomène de dispersion Doppler qui affecte les échos, est donc un outil bien plus puissant que l'analyse automatique d'amplitude employée généralement. C'est cet outil d'analyse spectrale que nous avons utilisé pour caractériser le pic des Léonides 2006, et non pas le comptage habituel par seuillage d'amplitude.

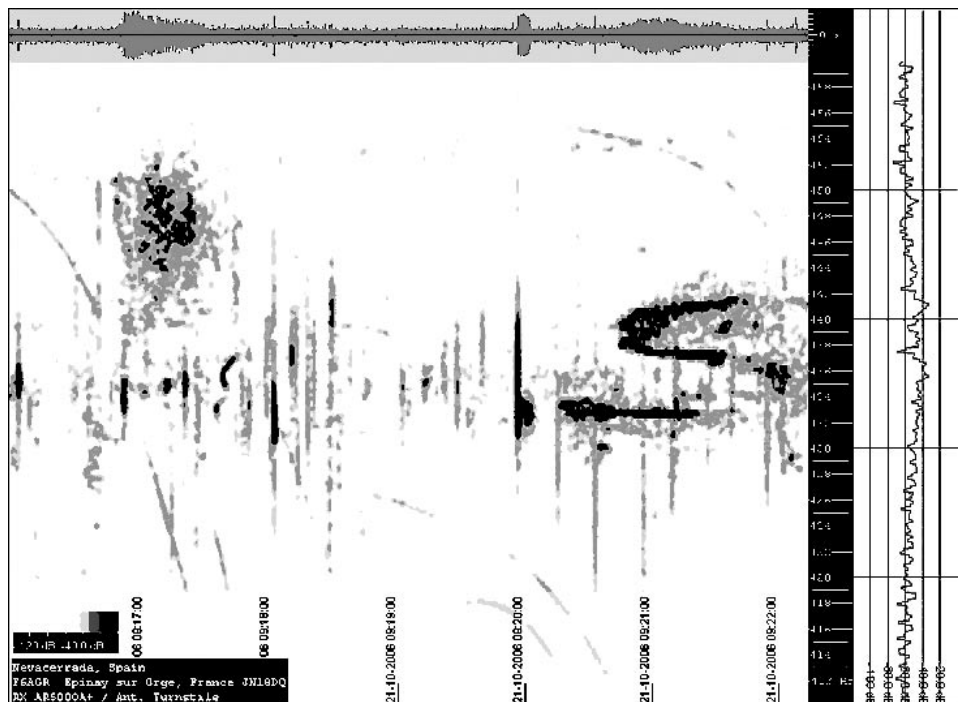


Figure 9: Représentation de l'amplitude en fonction du temps

L'analyse, bien que fastidieuse, a été effectuée visuellement et non pas de façon automatique, car si l'œil et le cerveau se prêtent de bonne grâce à un tel travail de reconnaissance de formes, il n'existe pas encore au niveau amateur de logiciels capables de rivaliser dans ce domaine de traitement de l'image.

L'analyse de signature automatique est un domaine d'expérimentation passionnant: avis aux amateurs !

Perspectives: le réseau REFORME

Suite à la publication de l'article [2] dans la revue l'Astronomie, l'IMCCE⁽¹⁵⁾ a pris contact avec l'auteur en début d'année 2006 et l'idée d'un réseau français d'observateurs alliant amateurs et professionnels de l'astronomie a été lancée.

Une coopération est donc en train de naître sous l'impulsion de Jérémie Vaubaillon de l'IMCCE et de Jean-L. Rault de la SAF, avec la mise sur pied du réseau REFORME⁽¹⁶⁾.

Au cours de l'année 2006, les stations suivantes se sont équipées et commencent à obtenir des premiers résultats tangibles:

- Observatoire de Lille pour l'IMCCE
- Roland Pagès F9RP⁽¹⁷⁾ et Jean-L. Rault F6AGR en Ile de France
- Vincent Plousey et Bruno Lequeu F1MPE dans la région dijonnaise
- Le lycée-collège de Deauville

Le réseau en gestation procède actuellement à des expérimentations (sélection des émetteurs à utiliser, évaluations des procédures et des logiciels à mettre en œuvre, etc).

D'ores et déjà deux stations (l'Observatoire de Lille et Jean-L. Rault) fonctionnent en mode permanent et transmettent de façon automatique sur Internet leurs données normalisées au format RMO. Ces données, encore en cours d'optimisation, sont accessibles à tous sur le site Radio Meteor Observatory's On Line⁽¹⁸⁾.

Conclusion

L'informatique domestique alliée à du matériel radio de catégorie radioamateur offre de nos jours à l'amateur l'opportunité de mener des observations intéressantes dans le domaine astronomique (observation des flux de météoroïdes utile pour l'étude des corps parents) et géophysique⁽¹⁹⁾ (phénomènes de la haute atmosphère liés aux météores).

L'observation fiable des météores par radio en est à ses débuts: pourquoi ne pas vous y lancer ?

ANNEXE A

Le tableau ci-dessous donne, à titre d'exemple, les données de comptage fournies par HROFFT2RMOB pour la journée du 8 décembre 2006.

La colonne 1 indique l'heure UTC

Les colonnes 2, 3 et 4 donnent les comptages élémentaires pour 3 niveaux d'amplitude des échos (10, 20 et 30 dB).

On voit par exemple, que le système a détecté à 01h10 UTC 16 météores dont l'écho avait un niveau supérieur à 20 dB.

Les colonnes 5, 6 et 7 donnent, pour les trois niveaux d'amplitude 10, 20 et 30 dB, le cumul des durées d'échos, en secondes.

Ainsi par exemple, à 4 h00 UTC, la durée cumulée de tous les échos était de 124 secondes.

H UT	10dB c	20dB c	30dB c	10dB L	20dB L	30dB L
00:00	59	15	0	107	28	0
00:10	62	17	0	104	24	0
00:20	64	18	1	140	30	1
00:30	43	17	0	99	24	0
00:40	51	10	0	94	20	0
00:50	51	8	0	89	12	0
01:00	40	8	1	80	13	1
01:10	43	16	2	94	24	4
01:20	39	12	0	119	31	0
01:30	61	19	0	112	30	0
01:40	64	10	1	119	17	1
01:50	58	11	4	175	49	7
02:00	61	21	0	196	53	0
02:10	62	18	2	150	44	5
02:20	65	19	0	138	38	0
02:30	67	19	2	135	28	2
02:40	66	21	0	166	39	0
02:50	67	15	2	148	21	3
03:00	74	17	2	139	27	2
03:10	81	22	1	137	31	1
03:20	73	17	0	121	22	0
03:30	73	20	1	164	28	1
03:40	60	13	4	147	24	5
03:50	72	19	5	153	48	12
04:00	65	22	2	124	34	3
04:10	62	19	1	142	26	1
04:20	63	14	5	151	37	9
04:30	64	22	4	158	42	8
04:40	80	26	0	147	32	0
04:50	73	22	2	150	39	3
05:00	74	19	4	129	36	8
05:10	60	16	0	115	19	0
05:20	53	14	1	130	36	2
05:30	59	21	3	113	35	4
05:40	64	14	1	161	32	2
05:50	80	13	1	127	15	2
06:00	71	17	2	165	26	2
06:10	62	14	2	133	32	2
06:20	59	20	1	133	30	1
06:30	58	14	0	101	16	0
06:40	50	20	4	138	55	15
06:50	56	17	2	102	29	4
07:00	57	13	8	158	58	11
07:10	58	16	3	102	25	4
07:20	51	14	0	90	18	0
07:30	51	16	0	148	42	0
07:40	57	16	2	112	22	2

⁽¹⁵⁾Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides, Paris

⁽¹⁶⁾REseau Français d'Observation Radio des MÉtéores

⁽¹⁷⁾Indicatif radioamateur

⁽¹⁸⁾<http://radio.data.free.fr/main.php3>

⁽¹⁹⁾Un article consacré à l'étude Doppler fine des échos sur météores sera publié dans un prochain numéro de cette revue

07:50	55	9	0	101	18	0
08:00	44	11	2	81	16	2
08:10	48	6	2	78	11	5
08:20	56	13	2	125	38	6
08:30	50	24	1	150	34	3
08:40	66	12	1	101	14	1
08:50	51	18	0	91	23	0
09:00	51	11	1	86	18	3
09:10	51	9	1	90	11	1
09:20	43	10	2	89	22	2
09:30	58	16	2	101	31	5
09:40	45	8	1	67	11	2
09:50	57	15	2	123	30	2
10:00	64	17	3	121	31	4
10:10	48	10	1	93	15	1
10:20	56	14	2	109	21	7
10:30	48	16	1	104	23	5
10:40	54	13	2	132	26	3
10:50	55	9	2	97	11	3
11:00	54	11	2	182	78	51
11:10	51	12	2	83	14	2
11:20	31	5	0	54	8	0
11:30	16	4	0	26	7	0
11:40	9	1	0	16	2	0
11:50	17	2	0	41	3	0
12:00	18	5	2	51	15	2
12:10	11	2	0	25	3	0
12:20	15	1	0	36	1	0
12:30	9	0	0	11	0	0
12:40	10	4	0	27	9	0
12:50	7	1	0	12	1	0
13:00	18	2	1	42	5	3
13:10	8	1	0	14	1	0
13:20	1	0	0	1	0	0
13:30	4	1	0	4	1	0
13:40	6	0	0	7	0	0
13:50	5	0	0	7	0	0
14:00	5	2	0	11	2	0
14:10	5	2	0	11	4	0
14:20	5	0	0	5	0	0
14:30	8	2	0	14	2	0
14:40	5	1	0	25	1	0
14:50	3	2	0	13	3	0
15:00	8	2	0	11	2	0
15:10	11	0	0	15	0	0
15:20	6	3	0	16	5	0
15:30	6	1	0	9	1	0
15:40	4	0	0	9	0	0
15:50	6	1	0	7	1	0
16:00	3	0	0	10	0	0
16:10	3	0	0	3	0	0
16:20	7	0	0	8	0	0
16:30	23	5	2	57	20	2
16:40	0	0	0	0	0	0

16:50	41	5	0	76	6	0
17:00	41	4	1	68	7	1
17:10	19	3	0	31	4	0
17:20	25	8	0	40	14	0
17:30	14	3	0	23	4	0
17:40	0	0	0	0	0	0
17:50	24	4	0	42	4	0
18:00	0	0	0	0	0	0
18:10	23	4	1	39	4	1
18:20	0	0	0	0	0	0
18:30	0	0	0	0	0	0
18:40	24	3	0	67	13	0
18:50	29	10	1	68	23	5
19:00	30	8	1	60	11	1
19:10	28	9	4	64	31	11
19:20	0	0	0	0	0	0
19:30	0	0	0	0	0	0
19:40	44	13	0	74	18	0
19:50	107	9	2	244	14	3
20:00	96	4	1	250	12	1
20:10	89	10	7	301	73	23
20:20	82	5	1	156	6	1
20:30	67	7	2	99	14	2
20:40	87	14	4	199	27	5
20:50	89	10	0	190	15	0
21:00	52	15	1	85	17	1
21:10	42	3	0	78	4	0
21:20	46	12	1	93	22	5
21:30	50	16	4	149	45	7
21:40	56	20	1	104	25	2
21:50	45	19	2	119	38	2
22:00	52	14	0	100	21	0
22:10	55	11	0	77	11	0
22:20	52	18	1	147	52	1
22:30	45	12	3	104	35	19
22:40	61	16	2	114	24	2
22:50	55	12	1	87	17	2
23:00	55	24	3	132	43	4
23:10	52	15	5	123	34	9
23:20	55	15	4	155	42	12
23:30	43	9	0	120	21	0
23:40	68	20	1	139	31	2
23:50	61	13	0	149	27	0

[Observer] Jean-L. RAULT_F6AGR
[Country] France
[City] Epinay sur Orge
[Longitude] 002°1938 E
[Latitude] 048°4013 N
[Frequencies] 48.250 MHz
[Antenna] Turnstile
[Azimuth Antenna] Omni
[Elevation Antenna] 45°

[Pre-Amplifier]	-
[Receiver]	AR5000A+
[Observing Method]	HROFFT
[Remarks]	Pentium 4
[Soft FTP]	Colorgramme for RMOB v 2.0

Références

- [1] Richardson J., Kuneth W., "Revisiting the Radio Doppler Effect from Forward-scatter Meteor Head Echoes", WGN Journal of the International Meteor Organization, 1998, 26:3, pp. 117-130
- [2] Rault Jean-L., "Observation des Météores par Radio", L'Astronomie, 2006, Vol. 120, pp. 26-34
- [3] Wislez Jean-Marc, "Meteor Astronomy using Scatter Set-up", Proceedings of the Radio Meteor School, IMO, 2005, pp. 85-108
- [4] Tsutsumi M., Holdsworth D., Nakamura Takuji, Reid Iain, "Meteor Observations with an MF Radar", Earth Planets Space, 1999, pp. 691-699
- [5] In Vaubaillon J., "Dynamique des Météoroïdes dans le Système Solaire", Thèse de Doctorat de l'Observatoire de Paris, 2003
- [6] Dyrud L.P., Ray L., Oppenheim M., Close S., Denney K., "Modelling High-power Large-aperture Radar meteor trails", Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2005, 67, pp. 1171-1177
- [7] In Badger D., "Fine Structure in radio Meteor Showers", Thesis, University of Adelaide, 2002
- [8] Zhou G.H., Morton Y.T., Mathews J.D., Sanches D., "Aspect Sensitivity of VHF echoes from Field Aligned Irregularities in Meteors Trails and Thin Ionization layers", Atmospheric Chemistry and physics Discussions, 2004, pp. 731-751
- [9] In P. Jenniskens, "Meteor Showers and their Parent Comets", New-York 2006; Cambridge University Press edit, 790 p, ISBN-13978-0-521-85349-1

Autres documents utiles

- Verbeeck Cis, "The First Fresnel Zone and the Power profile Throughout the Forward-scatter Reflection Surface", Proceedings of the International Meteor Conference, IMO, 1995, pp. 83-98
- Meisel D.D., Richardson J., "Statistical Properties of Meteors from a Simple Forward-scatter System", Planetary and Space Science, 1999, 47, pp. 107-124
- Chau J.L., Woodman R.F., "Observations of Meteor-head Echoes using the Jicamarca 50 MHz Radar in Interferometer Mode", Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2003, 3, pp. 6063-6091
- Mathews J.D., "Radio Science Issues Surrounding HF/VHF/UHF radar Meteor Studies", Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2004, 66, pp. 285-289
- Grant S.I., "Medium Frequency Radar Studies of Meteors", Thesis, University of Adelaide, 2003
- Carbognani A., de Meyere M., Foschini L., Steyaert C., "On the Meteor Height from Forward-scatter Radio Observations", Astronomy and Astrophysics, 2000, 0112375 v1
- Miyao K., Ogawa H., "Research into the Characteristics of meteor Showers from Multi-frequency radio Observation", in Proceedings of the International Meteor Conference, Bollmannsruh, Germany 19-21 september 2003, IMO, , pp. 81-89
- Mathews J.D., Doherty J., Wen C.-H., Briczinski S.J., Janches D., Meisel D.D., "An update on UHF radar meteor observations and associated signal processing techniques at Arecibo Observatory", Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2003, 65, pp.1139-1149
- Suleymanova S., Verbeeck C., Wislez J.-M., "Calculating the meteoroid flux density of a meteor shower from radio forward scatter observations", in Proceedings of the Radio Meteor School, Roden, Netherlands, 11-13 september 2006, IMO (à paraître).