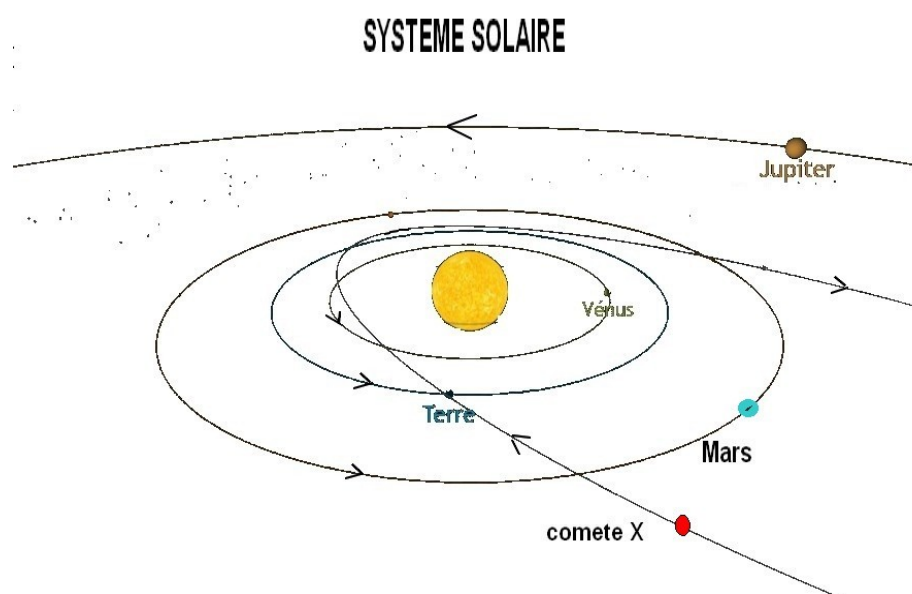


A l'écoute des étoiles filantes

Observer les étoiles filantes par une belle soirée d'été n'est pas seulement l'occasion de profiter de la beauté du ciel et d'accessoirement de faire des vœux mais on peut coupler ce spectacle avec une écoute des signaux radio venant de ces étoiles filantes .A dire vrai il s'agit des signaux radio réfléchis sur la trainée ionisée laissée par ces minuscules météorites (la plupart pesant moins de 100 gr) qui brûlent au contact des hautes couches atmosphériques .Comme nous allons le voir cela ne demande qu'un équipement restreint rendu possible grâce à un radar de l'armée de l'air française opérant sur 143.050 Mhz de façon continue depuis 2005 .

ORIGINE DES ETOILES FILANTES



Le soleil est entouré par un cortège de planètes tournant sur des orbites presque circulaires parcourues dans le même sens .Venus la plus proche (période 0.6 an), la Terre (période 1 an) Mars (période 1.87 an) Jupiter (période 11.8 ans) pour ne parler que des plus connues .

En plus de ces planètes le système solaire comprend des comètes ,objets beaucoup plus petits qui ont pour point commun d'avoir des orbites très aplatiees parcourues avec des périodes très longues , le plan de leurs orbite étant pour la plupart différent du plan d'évolution des planètes .

Par exemple la comète Swift-Tuttle réapparaît tous les 130 ans , son dernier passage visible depuis la terre était en 1992 .Ces comètes laissent derrière elles divers débris de petites dimensions (au plus quelques kg) .Quand la terre dans son parcours autour du soleil rencontre ces débris il apparaît dans le ciel des étoiles filantes suite à leur arrivée à grande vitesse au contact de l'atmosphère .

La terre sur son orbite autour du soleil a une vitesse de 29 km/sec et la comète Swift-Tuttle va

encore plus vite ainsi que les débris qu'elle laisse derrière . Les débris de comète ne sont pas les seuls à tomber sur Terre .La terre est heurtée de façon plus épisodique par des objets plus massifs venant de différentes zones du système solaire .Dans la pratique , comme on le verra plus loin et comme on peut le mesurer , les vitesses d'entrée des tous ces objets sont comprises entre 12 et 60 km/sec

LE CALENDRIER D'OBSERVATION

La terre est donc bombardée toute l'année par des météorites de plus ou moins grandes dimensions mais il est des périodes de l'année où il y a recrudescence d'activité .Ces périodes se répètent très régulièrement d'année en année quand la terre rencontre des résidus laissés par différentes comètes qui portent les noms de leur découvreur

Now essaim météorites	Date du maximum	Période dans l'année	Freq. en nombre/heure	Description
Quadrantids	Jan 3-4	Jan 1-6	60	
Lyrids	April 22	April 16-25	10-15	Comet Thatcher
Eta Aquarids	May 5	Apr 24-May 20	35	Comet Halley
Capricornids	July 8-26	July- August	5	
Alpha Capricornids	Aug 2	July 15- Aug 25	5	
<u>Perseids</u>	Aug 12-13	July 23- Aug 20	75	Comet Swift- Tuttle (1737, 1862, 1992)
Orionids	Oct 22	Oct 16-27	25	Comet Halley
Taurids	Nov 4	Oct 20- Nov 30	10	
<u>Leonids</u>	Nov 17-18	Nov 15-20	Variable (30-300)	Comet Tempel- Tuttle
Geminids	Dec 14	Dec 7-16	75	FIGURE 1

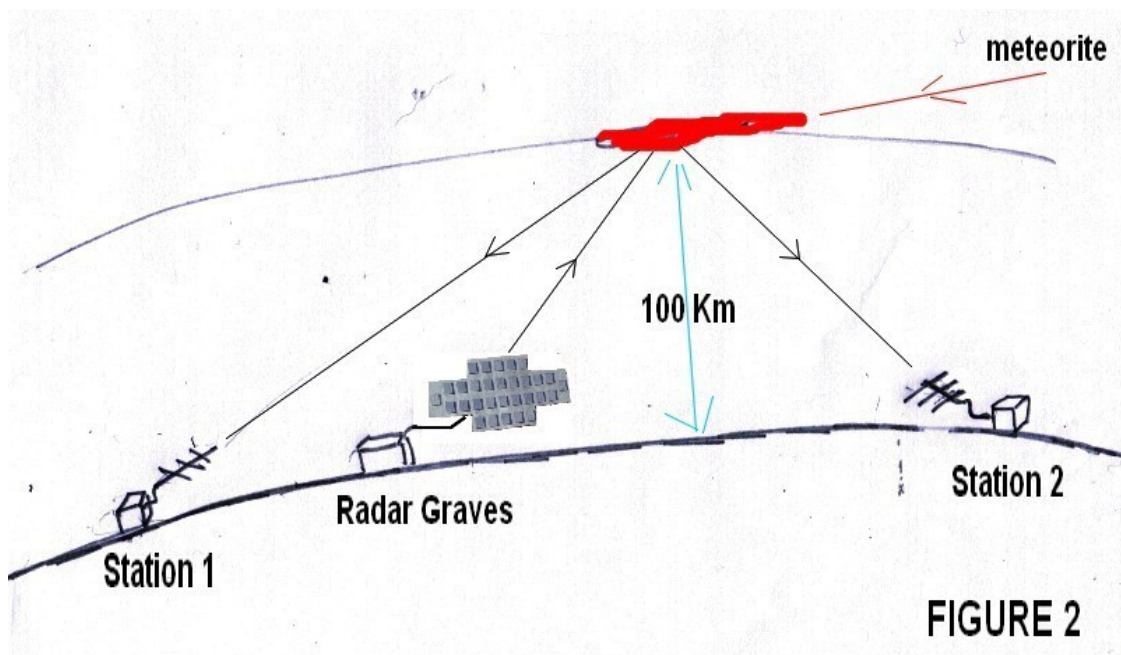
On a coutume de donner le nom d'essaim à ces périodes où il y a recrudescence d'étoiles filantes. On parle ainsi de l'essaim des Leonides qui a lieu entre le 17 et le 18 novembre ou de l'essaim des

Quadrantids les 3 et 4 janvier (figure 1)

La période la plus favorable à tout point de vue est sans conteste le mois d'août ou du 12 à 15 août pour l'essaim des Perséides .Il est difficile de ne pas le rater car la plupart des médias nationaux , en mal d'informations à cette période ,ne manquent pas d'en parler .En plus à cette période on maximise les chances de ne pas être gêné par le mauvais temps la principale nuisance pour une observation visuelle étant la nébulosité et la lune surtout si elle est pleine et mal placée sur l'horizon .

LE PRINCIPE DE DETECTION DES METEORITES

Lorsqu'une météorite aborde la terre elle crée une traînée lumineuse par frottement sur les couches supérieures de l'atmosphère commençant à environ 100 km d'altitude .La traînée est fortement ionisée et est susceptible de réfléchir les ondes radio de fréquence suffisamment élevée .Dans la pratique toute fréquence supérieure à 50 mhz est susceptible d'être réfléchié .Dans le cas que nous allons voir on va utiliser l'émission d'un radar opérant sur 145.050 et se trouvant en France près de Dijon



La sensibilité de détection est excellente grâce à la grande puissance d'émission du radar .On détecte des météorites invisibles à l'oeil et on n'est pas gêné par les nuages , la lumière parasite ou la lune . Cette façon de détecter des météorites est possible sur toute la France et même dans les pays limitrophes plutôt situés au sud (Suisse Italie Espagne) .Ce principe de détection des météorites est également possible dans les pays plus lointains en utilisant des sources d'émission radio continue comme par exemple des émetteurs TV opérant en Bande 1 (fréquence 47-68 Mhz) ou certaine

balises comme le font des amateurs en Belgique aux USA, au Japon et ailleurs (voir figure 2 bis).

Country	Frequency (Mhz)
Pologne	143.050
Japon	52.905 / 97.000
Australie	50.057
USA Illinois	55.239
USA Puerto Rico	181.249
USA New Mexico	54.310
Chine	55.250
Coree du sud	97.000 / 89.4000
Mexique	174.310 / 54.309
Bresil	67.249
Tchequie	145.050
Grande Bretagne	143.050
France	143.050
Hongrie	143.050
Belgique	49.990 / 143.050
Espagne	143.050
Figure 2 Bis	

Par la suite nous ne parlerons que de l'utilisation du radar francais , le radar GRAVES situé près de Dijon .

LE RADAR GRAVES

GRAVES acronyme pour Grand Réseau Adapté à la VEille Spatiale est un radar bistatique développé par l'ONERA en 1995/2000 et opérationnel depuis 2005 et opéré par l'armée de l'air française .Sa mission est la surveillance et l'identifications des satellites évoluant jusqu'à une altitude maximum de 1000 km environ



L'émetteur utilise 4 panneaux d'antennes PATCH opérant sur 145.050 en mode continu .Chaque bloc envoie de façon périodiquement en balayant d'est en ouest en passant par le sud en donnant l'impression au niveau réception à un balayage périodique .La puissance émise est inconnue .La réception du signal se fait sur un site situé dans le Vaucluse sur le plateau d'Albion .Le récepteur dispose d'un réseau de dipôles verticaux placés sur un grand cercle métallique fixé au sol . Par couplage variable entre ces différents dipôles cet ensemble se comporte comme une antenne directive présentant un lobe étroit et de direction variable tant en site qu'en azimuth et ce sans

nécessité de moyen mécanique pour l'orienter. Connaissant la direction de l'antenne virtuelle et la mesure du décalage DOPPLER en fonction du temps il est possible de calculer les éléments orbitaux du satellite suivi. Avec ces éléments orbitaux la position du satellite concerné peut être connue à tout moment.

LA STATION DE RECEPTION PORTABLE

Pour écouter les signaux du radar réfléchis par la traînée de météorites il n'est point nécessaire d'avoir un ensemble aussi complexe. Un simple récepteur capable de recevoir un signal sur 143.050 est suffisant. Il faut qu'il soit capable de recevoir un signal en BLU de façon à transposer la fréquence reçue en un signal audio. On peut bien sûr utiliser une clé SDR branchée sur un ordinateur portable mais il n'est pas interdit de ressortir des appareils plus anciens comme l'IC202 qui dispose d'un VXO relativement stable dans le temps et dont la sensibilité est suffisante même couplé à une antenne omni directionnelle (figure 4)



L'IC202 est alimenté par une batterie moto de 12 volts. La consommation est très raisonnable (env 200 mA sous 12 volts) ce qui permet une autonomie largement suffisante pour une réception épisodique par une belle nuit d'été en portable. Pour conserver une trace des observations le plus simple est d'enregistrer le signal audio sur un magnétophone ou mieux d'un dictaphone. Comme on le verra il est facile à posteriori d'analyser le signal reçu pour en tirer diverses informations. On peut aussi visualiser en temps réel le signal reçu sur une tablette qui ne génère pas de bruit radio électrique.

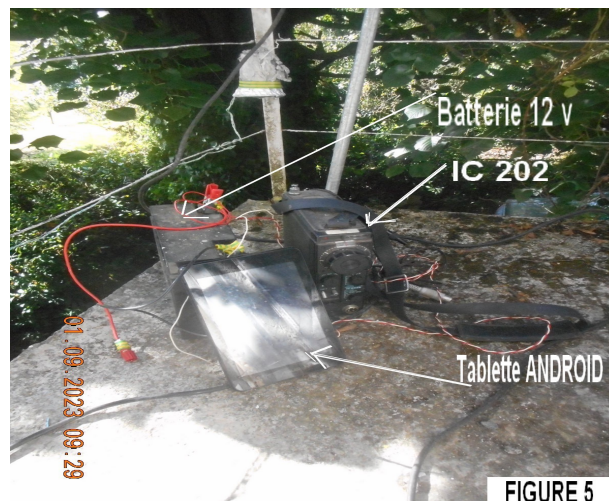


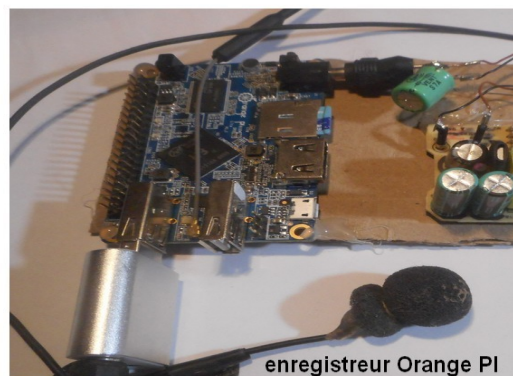
FIGURE 5

Au niveau antenne de reception un simple dipole est suffisant car meme avec un appareil ancien comme l'IC202 la réception est facile Si on veut l'améliorer et détecter des météores de faible importance non observables visuellement on peut améliorer les chose en installant une antenne directive comme par exemple une YAGI 4 éléments relativement compacte et apportant un gain substantiel .La direction de pointage n'est pas indifférente et dépend de la position géographique et de la période d'observation .Par exemple pour observer l'essaim des Perséides en aout depuis le sud ouest de la France il suffit de pointer l'antenne à la verticale ves le ciel légèrement vesr le SUD EST sans que cette direction soit critique .

Rappelons une fois de plus que le grand interet d'une station portable est de coupler simplement une observation visuelle avec une observation radio

LES MODES D'ENREGISTREMENT DES SIGNAUX RECUS

Pour conserver une trace ne serait ce qu'à titre de souvenir il est judicieux d'enregistrer le signal audio reçu .C'est une bonne occasion de ressortir les bons vieux magnétophones à bandes pour ceux qui en ont en état de marche .Il faut reconnaître qu'ils auront de la peine à soutenir la comparaison avec les appareils modernes que sont les dictaphones aussi bien au niveau capacité d'enregistrement que consommation électrique .Avec les dictaphones disponibles actuellement on peut aisément avoir 100 heures d'enregistrement sur une carte SD de 8 Giga octets , les 2 piles l'alimentant AAA permettant de tenir pendant 20 heures envion .



enregistreur dictaphone

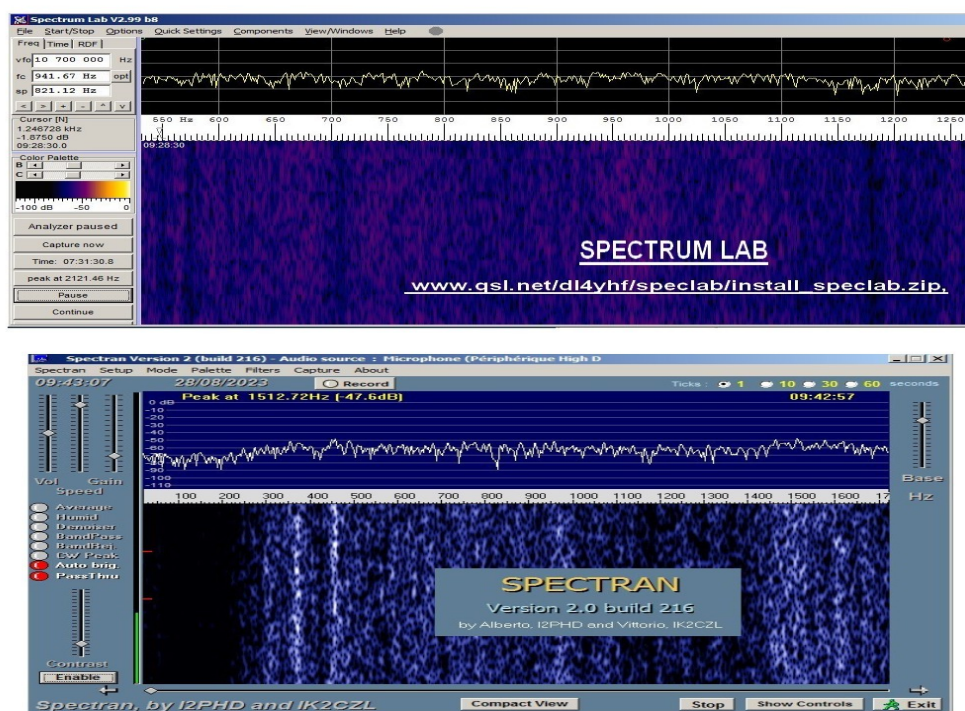
FIGURE 6

Si le dictaphone est parfait pour des enregistrements épisodiques on se heurte vite à des difficultés dans le cas d'enregistrements de longue durée nécessitant de fragmenter les fichiers audio automatiquement pour les analyser commodément. Dans ce cas on peut utiliser un microcontrôleur (genre RASPBERRY Pi ou ORANGE PI) qui couplé avec une carte son USB, un micro, le logiciel ARECORD et un script en PYTHON pour avoir une solution sur mesure adaptable aux besoins (figure 6)

ANALYSE DES SIGNAUX RECUS

Pour analyser les enregistrements audio il est utile d'utiliser des logiciels permettant de faire une analyse spectrale des signaux. Ils permettent (par analyse de Fourier) de tracer sur l'écran le contenu fréquentiel en fonction du temps. Comme on le verra plus loin ces courbes donnent beaucoup d'informations sur le comportement du météore comme par exemple sa vitesse en fonction du temps. Des nombreux logiciels gratuits existent pour ce faire (figure 7). Le plus simple est sûrement

ARGO (disponible <http://weaksignals.com>) . Il est très intuitif et suffisant pour une analyse en temps réel. Un peu plus compliqué et un peu plus puissant est **SPECTRAN** (disponible sur <https://www.sdradio.eu/weaksignals/spectran.html>) qui permet en plus d'analyser en différé des fichiers audio au format .WAV. Le rôle de ces logiciels gratuits est



Les logiciels d'analyse

Figure 7

sans nul doute **SPECTRUMLAB** avec lequel on peut même programmer des enregistrements sur des événements externes (<https://www.qsl.net/dl4yh/spectral.html>) . Mais pour utiliser ses multiples possibilités une lecture attentive de sa documentation est absolument nécessaire. Tous ces logiciels marchent sur des PC. On peut trouver des

logiciels identiques au niveau fonction dans le monde ANDROID .Le choix est grand sur GOOGLE PLAY : par exemple **SPECTROID** ,**SPECTRALVIEW** et bien d'autres .L'avantage de ces logiciels se trouve dans le fait qu'on peut les utiliser sur tablette qui sont économes en énergie et ne génère pas de parasites radio électrique ce qui est intéressant dans le cas d'une utilisation en portable .

STATION DE RECEPTION VIRTUELLE

La détection des météores est également possible sans station radio .Il suffit d'avoir une connection internet et se rendre sur un site espagnol situé à Barcelone et opéré par une équipe d'universitaire/étudiants (adresse <http://websdr.housing.salleurl.edu:8901/>) C'est un WEB SDR classique qui permet écouter la fréquence 143.050 Mhz et les alentours en BLU avec des filtres ajustables .On peut directement enregistrer l'audio au format .WAV et la rapatrier sur son ordinateur pour analyse à posteriori .On peut analyser en temps réel en lançant à la fois sur son PC le navigateur branché sur le site espagnol et le logiciel **SPECTRAN** ou **SPECTRUMLAB**

CHAINE TRAITEMENT SIGNAUX RECUS

Quand on se porte à l'écoute des signaux du radar GRAVES réfléchis sur les météorites on entend surtout du souffle (plus de 99%du temps) .Pour se concentrer sur les signaux intéressants il est nécessaire de faire un prétraitement avant des les analyser sur SPECTRAN ou un autre logiciel d'analyse spectrale .Ceci est particulièrement facile et rapide en utilisant le logiciel gratuit AUDACITY

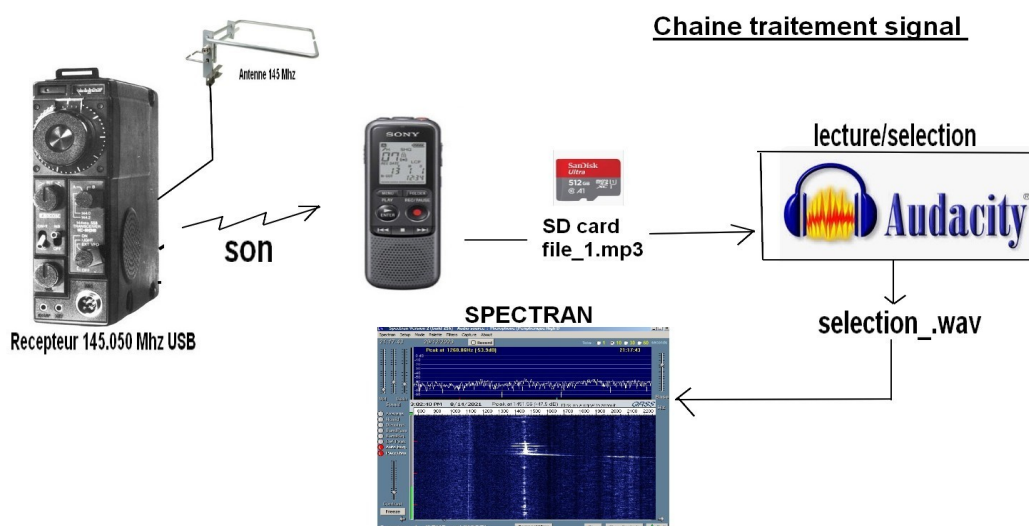
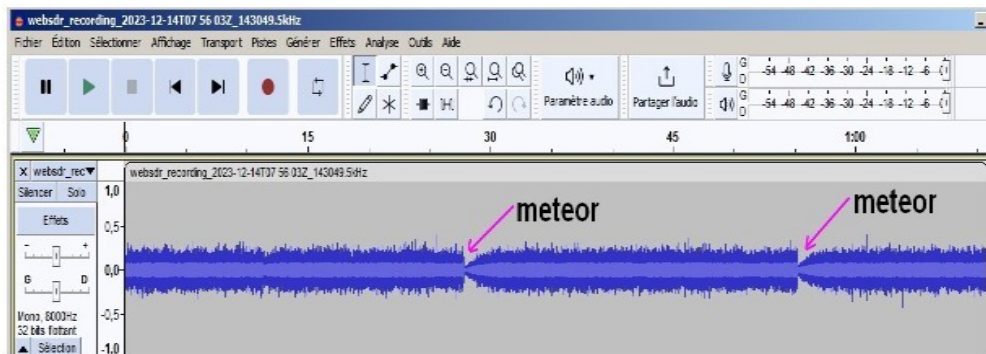


FIGURE 8

On charge le fichier audio dans AUDACITY .Il est facile de voir les zones où passe un météore ce qui se traduit par une baisse du souffle (voir figure 9) .Il suffit avec les commandes intégrées au logiciel d'éliminer les zones de bruit .Un fichier d'une heure d'enregistrement se réduit à 30 secondes voire moins ..Le fichier ainsi sélectionné peut être sauvegardé au format .WAV pour être analysé .

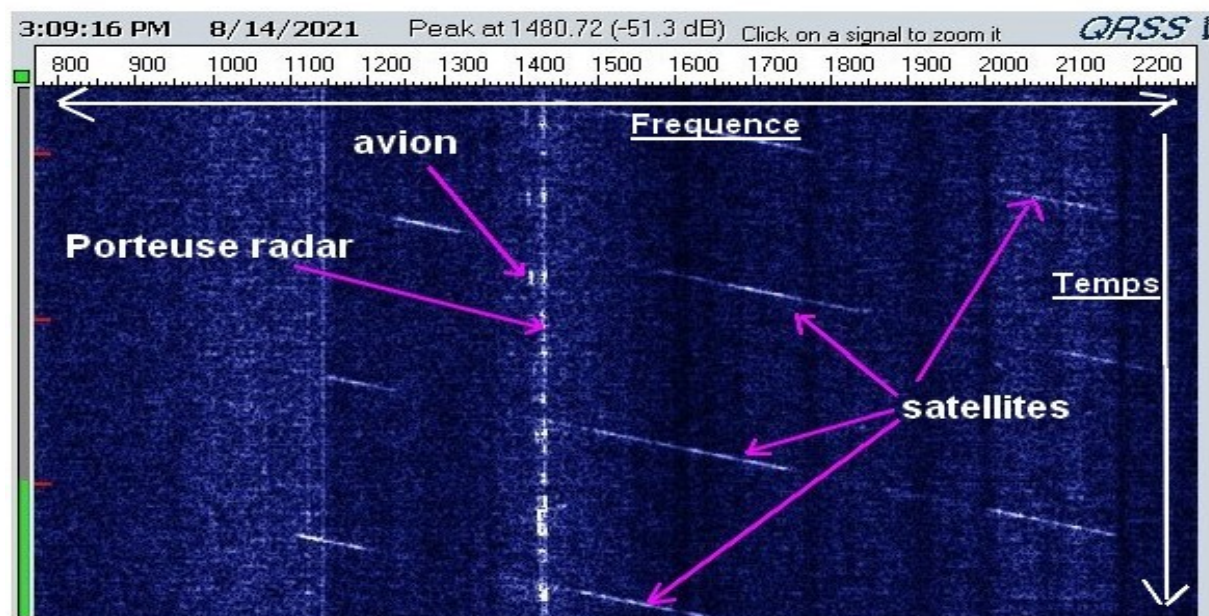


Traitement signal sur AUDACITY

Figure 9

TEST DE LA STATION DE RECEPTION

On peut tester à tout moment que l'on a la maîtrise sur les différents constituants de la station aussi bien au niveau matériel que logiciel. Sur pratiquement toute la France il est possible de recevoir les signaux du radar GRAVES réfléchis par les avions et satellites artificiels qui encombrent l'espace aérien national. Ces signaux sont affectés d'un décalage en fréquence variable (effet DOPPLER) en fonction du temps comme on peut le voir sur la figure 10.



Test de la station sur avion et satellite

Figure 10

Le décalage DOPPLER est proportionnel à la vitesse du mobile et à la fréquence d'émission du radar (voir figure 11). Pour un avion qui vole à 900 km/h le décalage DOPPLER maximum est de 120 Hz. Pour un satellite (vitesse 27000 km/h) ce décalage maximum monte à 3600 Hz. Les décalages observés sont toujours inférieurs à ces valeurs sauf dans le cas où le mobile concerné évolue sur une ligne reliant la position du radar et la position d'observation. Si le mobile se rapproche le décalage est positif, et devient négatif quand il s'éloigne. Ce qu'on peut mesurer localement est la

vitesse radiale qui permet de connaître la direction du mobile par rapport à la ligne reliant position radar et position d'observation .Le calcul du décalage DOPPLER n'est pas compliqué (voir figure 11) .Le décalage est proportionnel à la fréquence et à la vitesse .

Calcul décalage DOPPLER

$$\frac{\Delta f}{F} = \frac{V}{C}$$

écart Doppler en Hz Δf
 ← vitesse du mobile m/sec V
 ← vitesse lumière m/sec C
 ← Fréquence émission (143 050 000 Hz) F en Hz

Cas avion 900 km/h=250m/sec==> Doppler=120 Hz
 Cas satellite 27000 km/h==>7500m/s ==> Doppler=3600 Hz
 Cas météore 15 km/sec ==> Doppler= 7300 hz

Figure 11

Il est facile de connaître les satellites passant dans la zone .Il suffit de récupérer ces données grace aux nombreux logiciels disponibles sur le WEB qui vous permettrons de visualiser leur position sur une carte et de vérifier que vous calculs sont justes Certains sont en ligne (

<http://www.isstracker.com/home> , <https://www.n2yo.com> ,) on peut penser

qu'ils sont mis à jour .Si vous optez pour une version locale installée sur votre PC (exemple

PREVISAT, **GPREDICT**.....) n'oubliez pas de mettre à jour les éléments orbitaux

particulièrement si vous vous intéressez à la station spatiale internationale (ISS) qui donne des échos extrêmement puissants .

EXEMPLES D'ANALYSES DE SIGNAUX RECUS DES METEORES

La réception des échos météores est beaucoup plus brève que celle des signaux réfléchis par les satellites .Pour les observer plus commodément il faut augmenter la vitesse de défilement .Un écho dure en effet rarement plus de quelques secondes .Auditivement les échos sont faciles à reconnaître à l'oreille car ils débutent par une variation très rapide de la fréquence (qui dure moins de 0.3seconde) suivi par une période où la fréquence est fixe et qui peut durer quelques secondes .(voir figure 12 des exemples enregistrés le 14 aout 2021 lors du passage des Perséides depuis les sud ouest de la France) .Dans le cas d'une observation conjointe optique et radio on note toujours que le signal radio dure beaucoup plus longtemps que la traînée lumineuse .

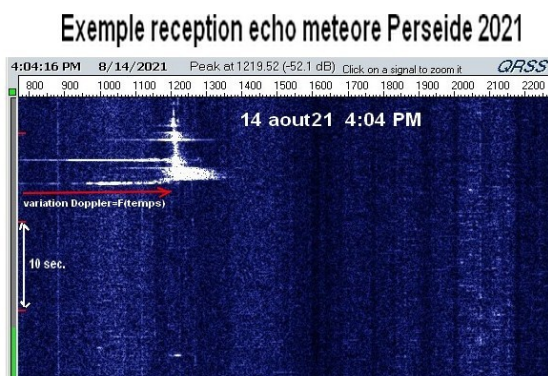
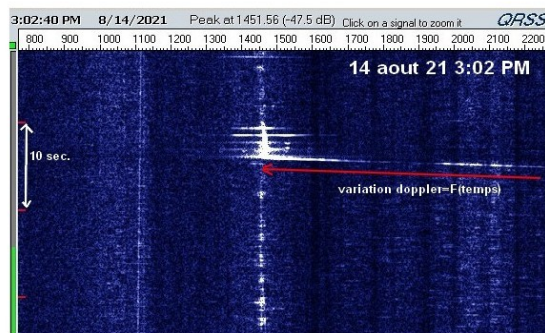


Figure 12

Même durant une période d'abondance en météorites la plupart des échos sont plus brefs que ceux de la figure 12 (voir figure 13-A pour la même période en fin de passage des Perséides 2021) .

Si l'on s'intéresse à la période de variation rapide de la fréquence qui permet de connaître la vitesse radiale du météore en fin de course il convient d'enregistrer le signal audio reçu à une vitesse d'échantillonnage suffisante (échantillonnage à 42 Kb/s est suffisant) .

Dans ce cas en repassant le fichier audio on voit bien la vitesse de décroissance (voir figure 13 B)

. Sur cet enregistrement on note qu'en 0.3 seconde le décalage Doppler passe de 3000 Hz à 0

. Transposé en vitesse radiale du météore cela signifie (sachant que 3000 Hz correspond à une vitesse de $15 \times 3000 / 7300 = 6.1$ km/seconde voir figure 11) que ce météore est passé de 6.1 km/s à 0 en 0.3 seconde . Nous laissons le soin au lecteur attentif de calculer à combien de G le météore a été soumis dans sa phase terminale sachant que $1 G = 9.8$ m/s/s (G= accélération de la pesanteur terrestre)

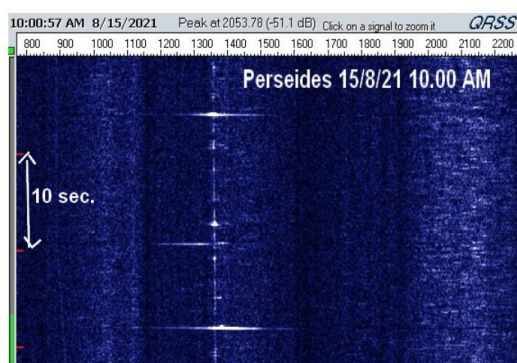


Figure 13-A

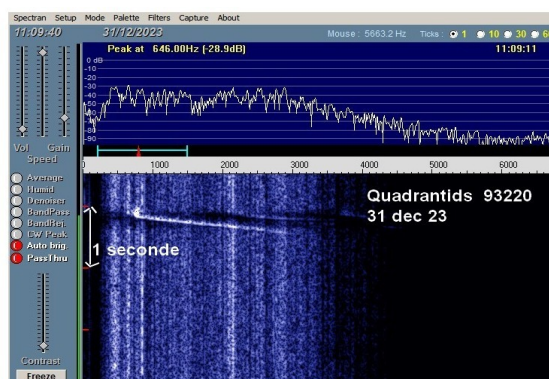


Figure 13-B

Dans le cas de météores laissant une trace ionisée substantielle on peut observer parfois un étalement en fréquence du signal à fréquence moyenne fixe (exemple figure 12 -B) Cet étalement est parfois attribuable aux vents violents présents dans les hautes parties de la stratosphère , à environ 30 km d'altitude , là où les météorites terminent leur chute brillante avant d'entamer , pour les plus grosses, une descente plus discrète avant de toucher le sol

L'intensité de l'écho est en relation avec la masse de la météorite. La relation est hautement non linéaire et cette intensité dépend aussi de la vitesse initiale de la météorite vitesse qui peut varier entre 15 et 70 km/se et aussi de l'angle d'arrivée de la météorite .Pour les météorites ayant une masse suffisante la trainée observée s'étale généralement entre 80 km et 20 km d'altitude

LES RESEAUX DE SUEILLANCE DES METEORES

Les météorites de par leur grande vitesse possède une énergie importante .On a coutume de la chiffrer en Kg de TNT , explosif bien connu (acronyme pour Tri Nitro Toluène)

Energie d'un meteore

base: meteore 1 kg à vitesse = 15 km/s

$$\text{Energie (joule)} = \frac{1}{2} m \times V^2$$

$\swarrow \text{kg} \quad \nwarrow \text{m/s}$

$$\text{Energie Meteore} = \frac{1}{2} \times 1 \times (15000)^2$$

$$= 122 \times 10^6 \text{ joule}$$

$$1 \text{ kg TNT} = 4.2 \times 10^6 \text{ joule}$$

$$\Rightarrow \text{Energie Meteore} = \frac{122 \times 10^6}{4.2 \times 10^6} = \underline{29 \text{ kg TNT}}$$

NB 1 L essence SP $\xrightarrow{\text{combustion}}$ $32 \times 10^6 \text{ joule}$

$$\Rightarrow \text{Energie équivalent du meteore} = \frac{122 \times 10^6}{32 \times 10^6} = 3.8 \text{ L essence SP}$$

Figure 14

Une météorite de 1 kilogramme lancée à 15 km/s (vitesse minimum d'un météore le maximum se situant vers 70 km/s) a une énergie destructrice équivalente à 29 kg de TNT et 464 kg si elle va à 60 km/seconde Elle présente un risque même si ce risque est très peu fréquent à l'échelle humaine .Ce risque justifie malgré tout une surveillance surtout pour les astéroïdes de grande masse qui orbitent dans le système solaire .Une autre bonne raison de suivre les météorites est d'accumuler de la connaissance scientifique pour mieux comprendre la genèse du système solaire .De nombreux réseaux existent pour ce faire au niveau mondial avec des motivations et des moyens très différents et que nous allons détailler .

Reseau surveillance météore :reseau IMO

Le réseau IMO est un réseau d'observation visuelle organisé par l'International Meteor Organization .Elle centralise sur son site internet les observations de personnes qui se sont enregistrées sur leur site et qui transmettent via internet une observation visuelle de tout objet lumineux inhabituel (<https://fireballs.imo.net>) Ces observations sont centralisées et accessibles en ligne sous forme de carte indiquant la position des observateurs .Voir par exemple en figure 19 un objet lumineux n°194-2024 signalé par 42 observateurs du sud de la France le 9 janvier 2024 vers 19:24 UTC .A noter que les objets signalés ne sont pas que des météores ou assimilés

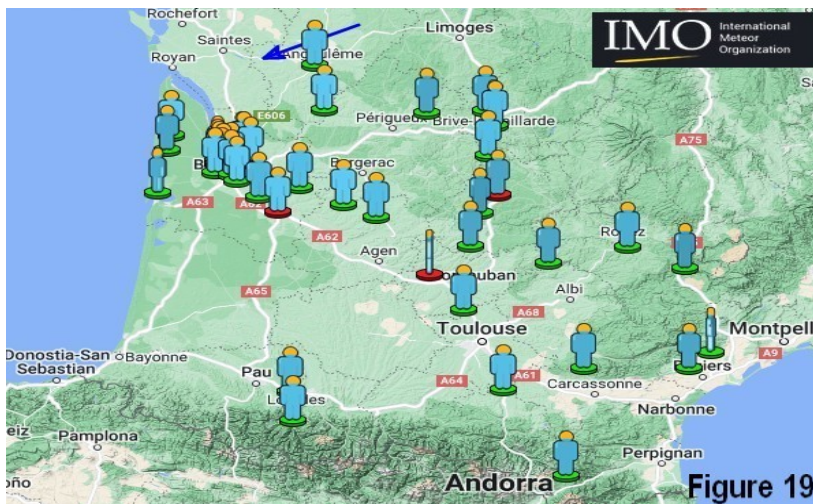
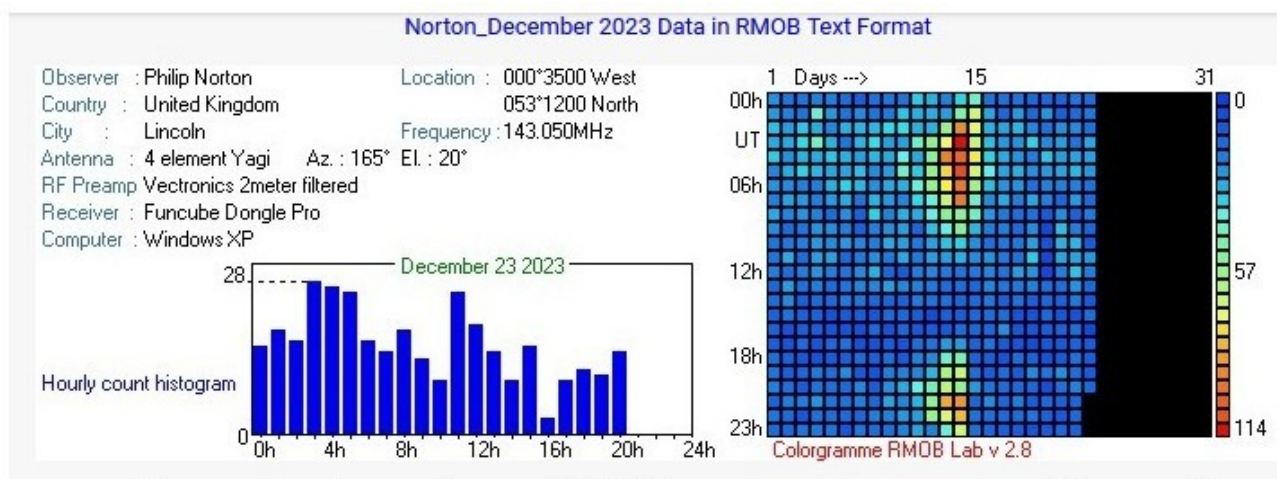


Figure 19

Reseau surveillance météo :reseau RMOB

Le **réseau RMOB** actuellement regroupe une cinquantaine de stations principalement situées en Europe de l'ouest et opérées par des passionnés souvent autodidactes dont les motivations sont très variées .L'objet est de comptabiliser le flux moyens de météorites dans l'espace aérien de la station d'écoute .Pour ce faire la détection se fait par mesure du nombre d'échos recus par heure, beaucoup de stations utilisant le signal du radar GRAVES , d'autres situées dans des zones non couvertes par ce radar utilisant des balise variées ou des émetteurs de télévision ou station FM .Les résultats des comptages sont transmis en temps quasi réel sur un site internet centralisant ces mesures et les rendant accessibles à tout un chacun .Le résultat du comptage pour chaque station est synthétisé sous la forme d'un carré rassemblant les résultats du mois courant (figure 15) : horizontalement on a le jour dans le mois, verticalement l'heure dans le jour ,enfin la coloration de chaque mini carré est proportionnelle au flux de météorites .En outre les conditions d'observation de chaque station sont indiquées ainsi que sa localisation géographique . Par exemple on peut voir (figure 15) le rapport d'une station située en Grande Bretagne pour le mois de décembre 2023 ou l'on voit parfaitement bien la recrudescence de météorites vers le 15 decembre suite au passage des Géminids .Toutes les mesures depuis 1994 sont accessibles sur le WEB (<https://www.rmob.org>)

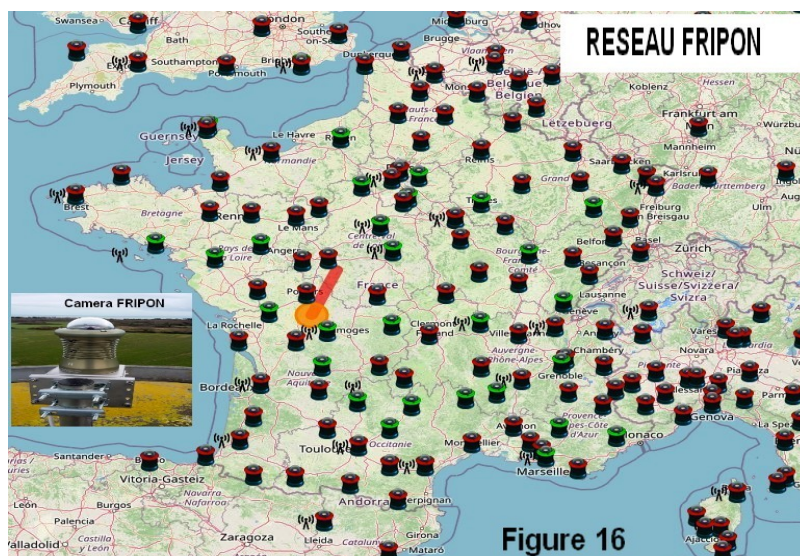


Visu comptage réseau RMOB

Figure 15

Reseau surveillance météore :le reseau FRIPON

Un reseau plus axé sur l'accumulation de connaissances scientifiques est le **réseau FRIPON** acronyme pour Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network (figure 16) .Il est constitué d'un ensemble de 150 caméras qui détectent par observations optique l'arrivée de météorites .Ce réseau a été lancé à l'initiative d'universitaires français en 2016 . Chaque station dispose d'une caméra grand angle périodiquement étalonnée en référence par rapport à des étoiles connues .Il est ainsi possible de relier chaque pixel à une direction connue dans l'espace . Quand une météorite est visible de plusieurs stations il est possible par triangulation de calculer la trajectoire de la météorite au debut et à la fin de son entrée dans l'atmosphère terrestre .Connaissant sa trajectoire d'entrée il est possible de savoir de quelle partie du système solaire elle vient et connaissant sa trajectoire finale il est possible de définir son point de chute de façon à la récupérer pour pouvoir étudier sa structure et sa composition .Le système ne fonctionne que de nuit et à condition qu'il n'y ait pas de nuages

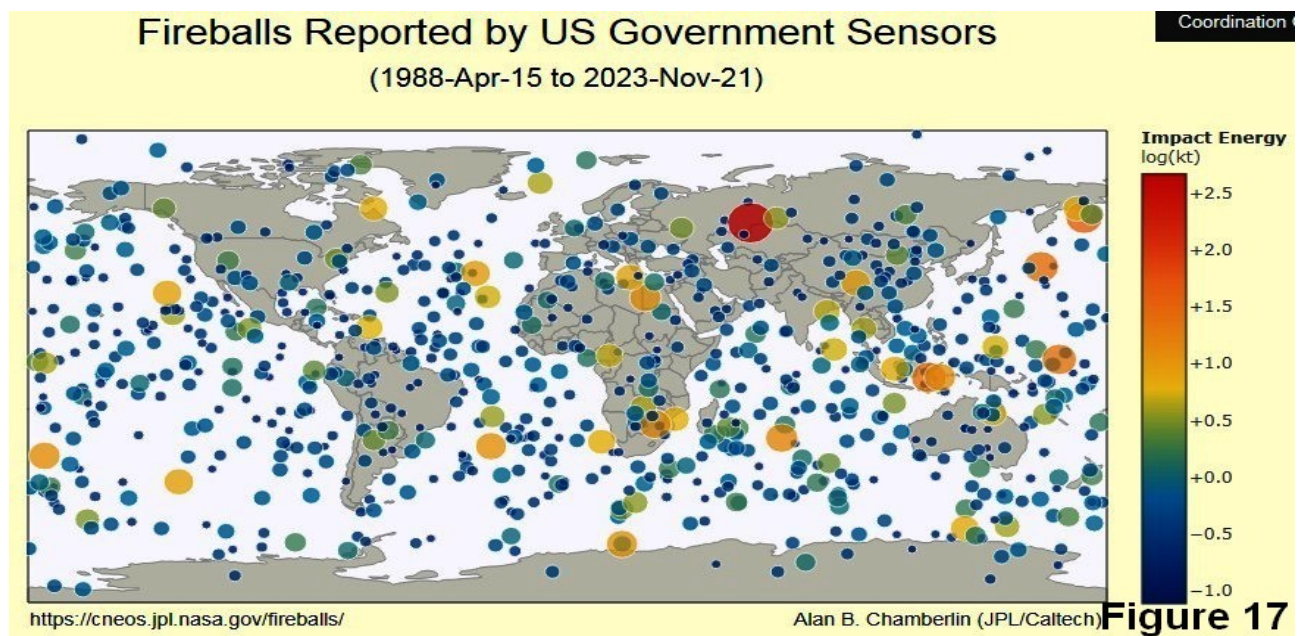


Retrouver la météorite n'est pas une mince affaire. Il s'agit en effet jusqu'à présent d'objets de petite taille (masse de l'ordre du kilogramme) situés dans une zone de quelques km². La première météorite ainsi découverte par le réseau FRIPON l'a été en janvier 2020 et la dernière le 23 janvier 2023 en Normandie (plus d'infos sur www.fripon.org) . Il existe des réseaux analogues au réseau FRIPON dans d'autres pays . Il y en a en Australie ,aux USA (surtout cote OUEST) ,au Maroc , en Grande Bretagne, en Arabie saoudite ,liste non exhaustive . Ces réseaux , hormis celui de Grande Bretagne surveillent des zones désertiques pour lesquelles il est plus facile de retrouver les météorites au sol .Pour beaucoup plus d'information sur les différentes techniques utilisées par ces réseaux il faut aller sur le site du réseau australien à l'adresse <https://dfn.gfo.rocks/>

Réseau surveillance météore :le réseau NASA

Il s'agit d'un réseau à couverture mondiale d'observation des météores depuis l'espace en utilisant les différents satellites défilants ou géostationnaires opérés par l'agence spatiale américaine

.L'analyse se fait en lumière visible ou en infra rouge .Un gros avantage est la couverture et le fait de ne pas être gêné par les conditions atmosphériques .L'analyse des images prises en fonction du temps permet également un calcul du point de chute , l'intensité du signal lumineux permettant d'apprécier la grosseur du météore et d'en chiffrer l'énergie en kilo tonne de TNT. Comme on peut le voir sur la figure 17 qui recense les météores tombés sur terre d'avril 1988 au 21 nov 2023 la répartition est homogène .Le plus gros météore durant cette période est celui tombé dans l'Oural le 15/2/2013 (Chelyabinsk météore) dont l'énergie a été chiffrée à 440 kilo tonnes de TNT .Fort heureusement la plupart des autres avaient une énergie beaucoup plus faible (de l'ordre de 0.1 kilo tonne de TNT)



Pour plus d'infos voir <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>

Réseau surveillance météore :réseau CTBTO

le CTBTO est une organisation internationale , émanation de l'ONU qui est chargée de la surveillance d'essais nucléaires clandestins .Pour ce faire elle dispose d'un budget annuel substantiel (env 130 millions US \$) et soutient un réseau mondial de capteurs divers .Un en particulier intéresse les scientifiques : c'est son réseau de détection par infra son (figure 18) .L'arrivée d'un météore génère l'émission d'infra son (fréquence entre 0.1 et 4 Hz) qui se propage à grande distance étant très faiblement atténués dans l'air .Quand au moins 3 stations détectent le même phénomène il est possible par triangulation de définir la zone d'émission .Ainsi par exemple le météore tombé dans l'Oural le 15/2/2013 fut détecté et localisé par 20 stations du réseau .Plus d'infos voir :

<https://www.ctbto.org/our-work/monitoring-technologies/infrasound-monitoring>



Un autre réseau maillé très répandu est celui des radar météo chargé de localiser et suivre les formations nuageuses ,les pluies et d'une façon générale les perturbations atmosphériques .Ces radars émettent de façon continue sur des fréquences entre 5 et 10 Ghz et peuvent aussi être utilisés pour détecter et permettre de localiser le point de chute des météorites dans leur phase terminale .Ces dernières ont une signature radar particulière mais il ne semble pas jusqu'à présent être très utilisé par les scientifiques

Les retombées de météorites sont largement surveillées par une large communauté mondiale de passionnés et de scientifiques. Ils ne sont pas les seuls. La communauté des radio amateurs les surveille également et les utilise pour réaliser des liaisons improbables par réflexion : c'est le trafic par METEOR SCATTER. Mais ceci est une autre histoire.

73 de F1OK

Pour en savoir plus :

www.fripon.org Réseau optique surveillance meteores

www.rmob.org reseau surveillance par radio des meteores

www.meteornews.net , www.imo.net , www.amsmeteors.org infos generales
meteoros

<https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/> info meteore NASA

<https://www.ctbto.org/our-work/monitoring-technologies/infrasound-monitoring> detection
météore par infrason

<https://www.vigie-ciel.org> actualites meteores en francais , science participative

<https://dfn.gfo.rocks/> reseau surveillance meteorite australie

<https://www.lpi.usra.edu/meteor/> encyclopedie meteorite

<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1097&context=usafresearch>
radar meteo pour localisation meteore

<https://fireballs.imo.net> : reseau IMO signalisation météores