

MÉTÉORITES

FRIPON et Vigie-Ciel

Scientifiques et communauté pour un même but

Monica Rotaru, Universcience

FRIPON déploie un vaste réseau d'observation pour savoir d'où viennent et où vont les météores et météorites. Vigie-Ciel souhaite mettre le ciel à portée d'humains en échangeant outils et connaissances pour traquer les météores, cueillir des météorites et identifier des cratères d'impacts. Les deux sont alliés dans une même aventure scientifique.

Les étoiles filantes fascinent jusqu'aux enfants, mais elles se vaporisent dans l'atmosphère. À l'opposé, les énormes objets extraterrestres sont pulvérisés lors de leur impact sur Terre. Entre les deux, nous avons quelques chances de récupérer des météorites sur le sol. Ce fut le cas lors de la chute spectaculaire de la météorite de Tcheliabinsk en 2013 en Sibérie.

Néanmoins, parmi les chutes de météorites observées en France, il en fut récolté une tous les deux ans au XIX^e siècle contre une tous les 10 ans par la suite (figure 1). FRIPON et Vigie-Ciel visent à améliorer cette récolte car on estime qu'il tombe 10 météorites chaque année.

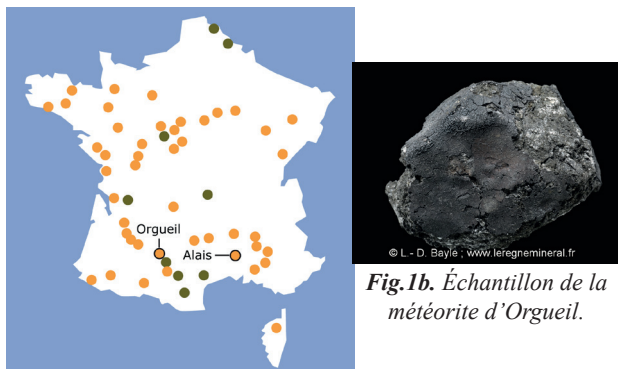


Fig.1a. Lieux de chutes au XIX^e (45, en orange) et XX^e (9, en vert) siècles. Une météorite est nommée d'après le site de sa découverte. Sont indiquées les villes d'Orgueil et Alais dont les météorites sont évoquées dans le texte.

Météorites, sources de science

Comment se fait-il que nous ramassions si peu de météorites de nos jours alors que le nombre de chutes est resté le même ? L'explication majeure de ce contraste tient aux modifications de nos modes de vie. Nous passons plus de temps à regarder le ciel que la télévision autrefois.

Or les météorites sont des échantillons irremplaçables pour notre connaissance du Système solaire. Elles

nous renseignent sur la formation des planètes, sur l'histoire des blocs rocheux qui tournoyaient autour du jeune Soleil naissant et même sur les étoiles qui explosèrent avant la naissance du Soleil. Collecter des météorites et assurer leur conservation offre donc une source d'informations scientifiques inaccessibles autrement.

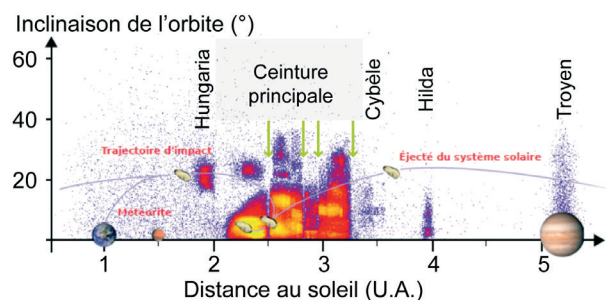


Fig.2. Densité du nombre d'astéroïdes en fonction de leur inclinaison orbitale et de leur distance au Soleil (d'après Benoît Carry, 2010).

La densité est plus grande du violet au jaune. Les lacunes de Kirkwood sont indiquées par les flèches vertes.

Nous savons que la majorité des météorites proviennent de la ceinture des astéroïdes. Certaines ont été extraites de Vesta, comme le montrent les études de spectrométrie par réflectance. Les plus courantes, les chondrites ordinaires, ont un lien de parenté avec les astéroïdes de type S. Mais les familles d'astéroïdes sont très diverses (figure 2) et l'un des objectifs actuels de la science astéroïdale est de déterminer la famille correspondant à chaque météorite. Jusqu'à présent seule la météorite retrouvée en 2008 au Soudan a pu être associée à un astéroïde identifié avant sa chute.

Associer plus finement une orbite à chaque météorite retrouvée aidera à mieux connaître la nature des familles d'astéroïdes, à préciser les effets des va-et-vient passés des planètes géantes, à décider si nous possédons des échantillons de comètes.

FRIPON, programme de science

Pour traquer les météores, améliorer notre récolte de météorites et identifier leurs sources, des chercheurs ont élaboré et réalisé le réseau FRIPON (Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network). FRIPON dispose à ce jour de 84 caméras en fonctionnement sur les 100 caméras « grand angle » prévues (figure 3). Ces caméras, qui regardent le ciel jour et nuit, sont régulièrement installées sur le territoire et par endroit assorties de spectromètres et de récepteurs radio.



Fig.3. Caméra FRIPON installée au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

La trajectoire d'un météore vu par plusieurs d'entre elles permet d'aboutir après triangulation à l'orbite de l'objet. L'effet Doppler (décalage d'un signal en fonction de la vitesse) mesuré par la radio (figure 4) combiné à l'optique conduit à une précision sur le demi-grand axe de l'ellipse inégalee : 0,001 UA ! Même sans chute de météorite, FRIPON sait retrouver le chemin d'origine des météores. Durant les 10 ans de son fonctionnement, le réseau FRIPON aura de quoi nous décrire la ceinture d'astéroïdes et les candidats géocroiseurs. Cerise sur le gâteau, les astronomes peaufinent les calculs pour fournir le lieu où atterrit la potentielle météorite. Il ne restera plus qu'à se baisser et ramasser. Enfin, pas tout à fait...

Un morceau d'astéroïde qui pénètre l'atmosphère - typiquement à 15 km/s - est soumis à de telles pression et température qu'il lui arrive souvent d'éclater une ou plusieurs fois, comme cela fut le cas lors de la spectaculaire chute de la météorite de Tcheliabinsk. Les plus petits fragments, mieux freinés par les frottements visqueux de l'air, atteignent le sol en premier pendant que les plus gros ont encore assez d'énergie pour aller plus loin.

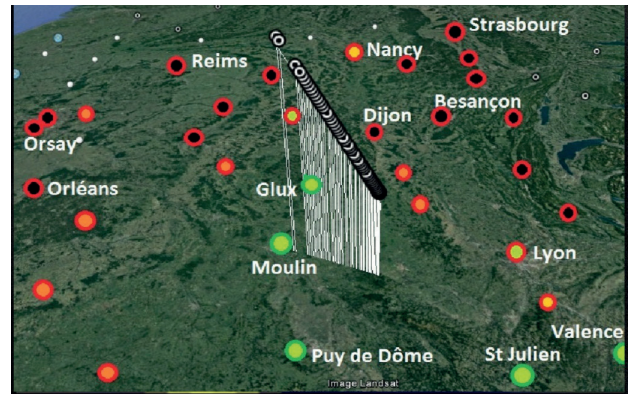
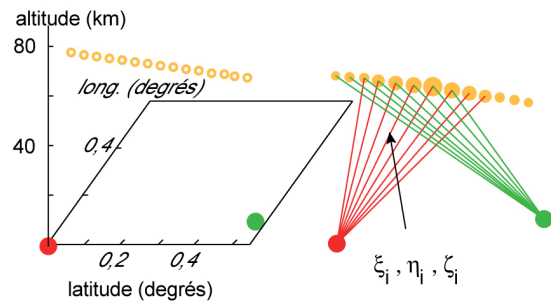


Fig.4. Mode de calcul et application.

En haut, principe de calcul de la trajectoire aérienne du météore, d'après A. Egal et J. Vaubaillon (OBSPM).
En bas exemple d'application au bolide du 6/08/2016.

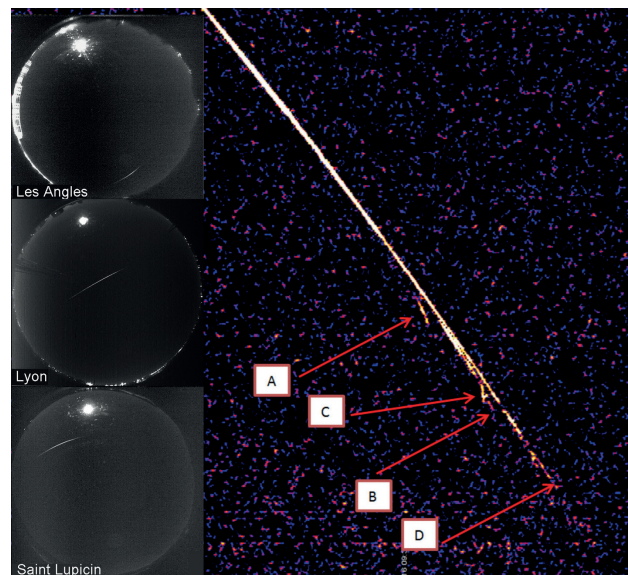


Fig.5. Détection du bolide du 22 juin 2016.

À gauche : 3 images du météore prises à partir de 3 caméras FRIPON.

À droite : Écho radar du météore qui montre 4 fragmentations.

Au final, les éclats couvrent une surface large de 2 à 3 km et longue de 10 à 50 km nommée ellipse de chute - on peut préférer l'expression « champ de dispersion » car il ne s'agit pas vraiment d'une ellipse. Cela représente plus de 20 km² à parcourir par des hommes armés de leurs jambes et de leurs yeux ! Or, il faut se dépêcher de récolter une météorite fraîchement tombée. Il est clair que les chercheurs de FRIPON ont besoin d'aide pour retrouver leurs météorites.

Pourquoi faut-il ramasser une météorite très vite après sa chute ?

Pour répondre à cette question, évoquons l'histoire de la météorite d'Orgueil. Il s'agit d'une météorite tombée en 1864 dans le Sud-Ouest de la France, dont la chute et le fracas furent rapportés par de nombreuses personnes. À l'époque, on sait depuis un demi-siècle que les météorites sont d'origine extraterrestre, la science n'est pas cloisonnée en un métier, on parcourt davantage la campagne. La population s'est mobilisée et les 14 kg de météorite réunis sont confiés au MNHN. Le muséum en distribue toujours pour répondre aux projets scientifiques internationaux car cette météorite (chondrite carbonée CI) est unique par sa composition très proche de celle du Soleil (aux éléments volatiles près). Deux mois après sa chute, on retrouvait encore des morceaux, mais cette fragile météorite s'était transformée alors en une boue inexploitable pour la science.

Notre atmosphère humide altère rapidement ces pierres venues de l'espace.

Vigie-Ciel, programme de science participative

Afin de collecter rapidement les météorites dont il aura déterminé la zone de chute, FRIPON s'est allié à la communauté Vigie-Ciel. Ce groupement, ouvert à tous, unit des personnes animées par l'envie de participer à la science. Les membres de Vigie-Ciel disposeront en 2017 d'un site WEB pour échanger leurs connaissances, leurs expériences, leurs remarques et leurs documents. Ils y trouveront des jeux et exercices pour apprendre à observer les météores, identifier les cratères d'impacts et reconnaître une météorite tombée sur le sol (figure 6).



Fig. 6. Météorite in situ (© Jason Utas), récoltée près de Sutter's Mill (Californie).

Ce dernier point, en particulier, nécessite un certain entraînement quand on voit la somme de cailloux

terrestres que des non avertis confondent avec des météorites : résidus de haut-fourneau ou marcassite (sulfure de fer) pour les plus fréquents.

Reconnaître une météorite

Sans entrer dans les détails, une météorite fraîchement tombée se caractérise le plus souvent par la présence d'une mince croûte de fusion noirâtre, des faces plutôt planes, des angles émoussés et une forte densité.

La densité élevée résulte du contenu en fer. Elle dépasse le plus souvent celles des roches terrestres : 8 pour une météorite de fer, autour de 3,5 pour une chondrite classique, à comparer à 3,2 pour un basalte. Un contre-exemple est fourni par un fragment de croûte planétaire qui, dépourvu de fer, a une densité comparable à celle d'une roche terrestre. Il peut nous arriver à tous de shooter dans un fragment de Mars sans le savoir...

Les autres caractères découlent du trajet aérien. Lorsqu'elle pénètre dans l'atmosphère, son énergie cinétique est en partie transférée à l'air environnant qui, fortement compacté et ionisé, émet de la lumière (celle du météore).

On atteint 5 000 °C. La roche de surface fond et la pellicule fondue est éliminée au fur et à mesure de la course, de sorte qu'il ne reste qu'une fine couche noire à l'arrivée au sol. La météorite, cependant, reste froide en son cœur car la chaleur n'a pas le temps de pénétrer. Elle se fragmente dans l'air à cause des contraintes thermomécaniques selon des plans. Les angles et les arêtes sont arrondis par les frottements visqueux de l'air.

Vigie-Ciel et ses outils

Comme l'identification d'une météorite passe aussi par la manipulation de véritables échantillons, Vigie-Ciel a conçu des expositions et animations ludiques (figure 7) mise à disposition dans toute la France par l'intermédiaire de relais régionaux.



Fig.7. Simulation d'une recherche de météorite sur le terrain.

Ceux-ci recevront en juin 2017 des mallettes pédagogiques. Elles contiennent roches et activités destinées à familiariser le public avec les météorites et leurs intérêts scientifiques mais aussi avec les cratères d'impact et leur reconnaissance par satellite. Les activités sont aussi construites pour être utiles dans le monde scolaire en développant des savoir-faire utiles à toutes les disciplines.

Quant au 3^e axe de Vigie-Ciel, la surveillance des météores, il se fera directement à partir du site WEB.

Le but de ces outils, mis au point avec l'appui des scientifiques de FRIPON, est de former des équipes locales de chercheurs-cueilleurs de météorites. Lorsque les scientifiques de FRIPON détecteront un objet digne de déclencher une campagne de terrain, ils alerteront après calcul de l'ellipse de chute la communauté Vigie-CIEL pour réunir sur le lieu les joyeux volontaires désireux de participer à l'aventure. Il y aura bien sûr des membres à l'œil formé qui marcheront en ligne dans l'espoir de récolter les fragments météoritiques, accompagnés d'animateurs et de scientifiques. Mais il y aura aussi des membres qui préféreront préparer la logistique pour faciliter la cueillette : ravitaillement, autorisations de circuler, communication entre groupes, maintien du moral des troupes, hébergement éventuel, etc.

Nous ne savons pas encore si la campagne durera un ou plusieurs jours, nécessitant alors un roulement des équipes mobilisées. Mais nous savons que le jeu en vaut la météorite. Au bout d'une récolte fructueuse se profilent une distribution pondérée de la météorite entre les structures locales et la science puis des analyses et articles auxquels seront associés les cueilleurs, et surtout un immédiat fieffé raout !

FRIPON et Vigie-Ciel sur le terrain

Les formations d'animateurs commencent en juillet 2017. Destinées aux futurs animateurs et formateurs, elles garantissent les connaissances indispensables sur les 3 pôles de Vigie-Ciel : observation des météores, collecte de météorites, identification de cratères. Elles veulent de plus faire respecter l'esprit participatif et bienveillant de Vigie-Ciel : utilisation des outils dans un but non dogmatique, ouverture vers la curiosité scientifique, attitude complaisante sur le terrain.

Doté d'une personne formée, chaque relais régional pourra alors organiser des formations et des campagnes de recherche sur son terrain en déléguant de même cette possibilité à des relais locaux. Ces relais régionaux et locaux ont un rôle clé dans le dispositif, car un important travail sera d'alerter les

populations locales pour les inciter à chercher sur les terrains privés leur appartenant, ou à inviter des équipes de « retrouveurs » pour le faire. Il s'agit, en fait, de renouer avec la tradition du XIX^e siècle, au cours duquel les météorites étaient toujours trouvées par de simples citoyens qui faisaient en sorte qu'elles parviennent aux savants de l'époque et/ou soient conservées dans les musées. Revenir à l'efficacité d'une météorite tous les deux ans retrouvée, comme c'était le cas alors, serait déjà un progrès considérable par rapport à une tous les dix ans. Mais les membres du réseau espèrent faire encore mieux et atteindre l'objectif d'une météorite par an.

Des simulations de recherche sur le terrain ont été menées : jusqu'à 80 participants lors du festival d'astronomie de Fleurance. Cependant, la réalité de terrain reste à vivre. Une campagne a été menée récemment près de Roanne, moins pour retrouver la potentielle météorite tombée en août 2016 que pour se confronter aux difficultés logistiques. Le bilan appelle à une organisation rigoureuse et une large information des habitants locaux, assorties d'une mention permanente du but non-lucratif de l'aventure. Il est en effet indispensable d'expliquer au public que les récoltes de météorites menées par Vigie-Ciel sont destinées à servir la science.

Pourquoi faut-il conserver les météorites pour la science ?

Parlons de la météorite d'Alais (Alès aujourd'hui). Tombée en 1814, elle fut récoltée abondamment (6 kg) mais il n'en subsiste que quelques grammes. Cette fragile CI, aussi précieuse que la météorite d'Orgueil, a dû finir en poussière sur des cheminées puis à la poubelle. Perdue pour la science...

Le programme scientifique FRIPON et le programme de science participative Vigie-CIEL éviteront de tels désastres. ■

FRIPON en bref

> 20 laboratoires impliqués

100 caméras ; < 100 km entre 2 caméras

25 récepteurs radios

1 500 euros = caméra + PC

Extension en Europe en cours

Porté par l'Observatoire de Paris

Financé par l'ANR depuis 2014

FRIPON.org

Vigie-Ciel en bref

Communauté large

23 relais régionaux

Outils pédagogiques à disposition

Porté par le MNHN de Paris

Composante de 65 millions d'observateurs

Financé par les investissements d'avenir depuis 2015

Site WEB lancé courant 2017