

LES AUTRES MESSAGERS

Les ondes électromagnétiques ne sont pas les seuls messagers du cosmos. Les météorites apportent de précieuses données sur le système solaire tandis que rayons cosmiques, neutrinos et ondes gravitationnelles portent témoignage des événements violents qui leur ont donné naissance.

Météorite

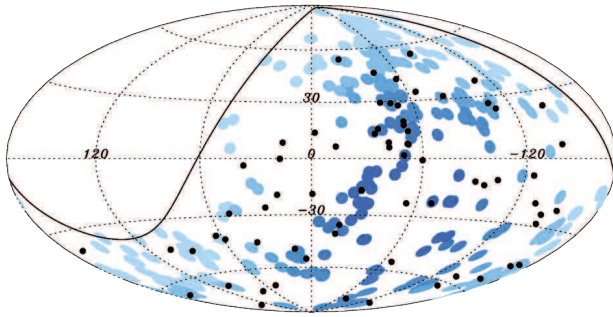
Fragment d'environ 8 cm d'une météorite ayant explosé le 8 février 1969 à son entrée dans l'atmosphère au-dessus du village de Pueblito de Allende, au Mexique. Une croûte sombre de matière fondue masque en partie la structure plus grise de l'échantillon où l'on note la présence d'éléments inclus colorés. Des études approfondies assignent un âge de 4,57 milliards d'années à ces inclusions qui sont les premiers solides à s'être condensés lors de la formation du système solaire.



L'analyse détaillée en laboratoire des météorites (gros fragments de matière provenant de l'espace) produit des données qui modifient nos connaissances sur la formation de notre système solaire, son évolution, son âge. Tant que les agences spatiales ne sont pas en mesure d'assurer le retour sur Terre d'échantillons prélevés ailleurs que sur la Lune, les météorites restent pour les décennies à venir les meilleurs pourvoyeurs d'informations sur le système solaire.

Seuls échantillons de matière provenant d'au-delà du système solaire, les rayons cosmiques apportent des informations uniques sur les milieux traversés et sur les sites aptes à les accélérer à des vitesses relativistes. Il a été ainsi démontré que le gros des rayons cosmiques qui bombardent notre planète provient de sources qui se trouvent dans le disque de notre galaxie. Font exception les rayons cosmiques les plus énergétiques qui se propagent *grosso modo* en ligne droite, ce qui permet de déterminer où leurs sources se situent sur la voûte céleste.

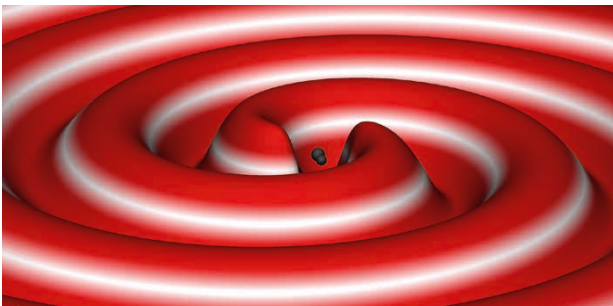
Sensibles seulement à la force faible, les neutrinos traversent sans coup férir les milieux matériels. Ceux que produisent les milieux émissifs s'en échappent ainsi sans entrave, même dans le cas des plus denses, comme les cœurs stellaires et les jets produits à la banlieue des trous noirs. Électriquement neutres, et donc insensibles aux champs magnétiques, les neutrinos ne dévient pas de leurs directions d'origine, ce qui en fait des messagers de choix pour les astronomes. Mais leur faible interaction avec la matière rend les neutrinos très difficiles à détecter. Bien



que les instruments en service (comme ANTARES) offrent des volumes de détection de plus en plus grands, seules deux sources de neutrinos cosmiques ont été identifiées jusqu'à présent : le cœur du Soleil et la supernova SN 1987A.

Les ondes gravitationnelles résultent de l'accélération de corps massifs et compacts qui produisent des oscillations de la courbure de l'espace-temps se propageant à la vitesse de la lumière. On a d'abord envisagé leur détection avec un cylindre métallique qui, au passage d'une onde gravitationnelle, devient tour à tour plus long et plus mince, plus court et plus épais. Mais comme l'espace-temps est très rigide, ces effets sont bien trop infimes pour être mis en évidence.

On a ensuite développé des détecteurs basés sur la propagation de faisceaux laser entre des miroirs disposés loin les uns des autres. Les propriétés ondulatoires de la lumière sont mises à profit pour obtenir par interférométrie une mesure très précise des variations de distance entre les miroirs. On peut alors rechercher les perturbations, même les plus minimes, dues au passage d'une onde gravitationnelle. Fin 2015, une vaste collaboration internationale est ainsi parvenue à deux reprises (le 14 septembre et le 26 décembre) à détecter une bouffée d'ondes gravitationnelles aux effets compatibles avec ceux prédits quand deux trous noirs fusionnent loin dans l'Univers.



Origine des rayons cosmiques ultraénergétiques

Carte de la voûte céleste où les points noirs dénotent les directions d'arrivée des 69 rayons cosmiques les plus énergétiques détectés par l'Observatoire Pierre Auger jusqu'à la fin de 2009. La courbe en trait plein représente la limite du champ de vue du télescope (angles zénithaux $< 60^\circ$). Les disques bleus sont centrés à la position de 318 noyaux actifs de galaxie distants de moins de 75 millions de parsecs ; ceux en bleu plus foncé dénotent un plus grand facteur d'exposition.

Émission d'ondes gravitationnelles par la fusion de deux trous noirs

Simulation des ondes gravitationnelles produites par la fusion de deux trous noirs, le type même de l'événement détecté le 14 septembre 2015. L'intensité de l'onde est indiquée par son élévation et par sa couleur, avec les champs faibles en blanc et les champs forts en rouge.