

Traquer la matière noire



Photo: NASA Lorsque des chercheurs se sont aperçus que les étoiles tournaient autour du centre de leur galaxie plus vite que ce que prédisaient leur masse et la loi de la gravitation, ils ont compris qu'il devait y avoir une autre forme de matière invisible qui maintient la cohésion de l'ensemble des étoiles de la galaxie. Et ils ont nommé cette autre forme de matière invisible: matière noire ou matière sombre.

Pauline Gravel

22 février 2020

Science

Les astrophysiciens ont prédit son existence au début du siècle dernier, mais ils n'ont encore jamais réussi à la déceler. La matière noire, qui serait presque six fois plus abondante que la matière ordinaire et qui constituerait plus de 25 % du contenu de l'Univers, demeure l'une des grandes énigmes de l'astrophysique. Un nouveau détecteur d'une sensibilité inégalée est actuellement en montage dans le SNOLAB, situé à deux kilomètres sous terre dans la région de Sudbury, en Ontario.

Pour le moment, la matière noire, aussi appelée matière sombre, reste une matière hypothétique, car, contrairement à la matière ordinaire dont sont composés les humains, les étoiles, voire les planètes, elle est invisible et interagit très peu avec la matière visible. Bien que plusieurs observations astronomiques

nous aient donné des preuves de son existence, personne n'a encore détecté de signal de sa présence.

Des chercheurs du Canada, de la France, de la Grande-Bretagne, de la Grèce et des États-Unis ont conçu des installations dénommées NEWS-G (New Experiments with Spheres-Gas) dans l'espoir de détecter d'hypothétiques particules de matière noire, que les physiciens ont appelées « weakly interacting massive particles » (WIMP, ou wimps), c'est-à-dire particules massives interagissant faiblement avec la matière.

Jusqu'à maintenant, divers détecteurs à travers le monde ont tenté de détecter sans succès des wimps. Cette fois, la collaboration NEWS-G concentrera sa traque sur des wimps de faible masse, soit des « light wimps » d'énergie inférieure à 3 GeV. Pour être en mesure de déceler des particules « aussi légères », les chercheurs ont dû accroître la sensibilité de leur détecteur et choisir un matériau cible — contre lequel percuteront les wimps — qui soit le plus léger possible. (Voir encadré.)

Dénommé SNOGLOBE, leur détecteur a la forme d'une sphère d'un diamètre de 140 cm qui a été construite en France. Il a ensuite été assemblé et testé pendant quelques mois dans le Laboratoire souterrain de Modane (LSM), en Savoie, avant d'être acheminé en pièces détachées au SNOLAB (Sudbury Neutrino Observatory Laboratory), en Ontario.

« La radioactivité est notre premier ennemi, affirme d'entrée de jeu le chercheur Ali Dastgheibi-Frad, responsable du détecteur au LSM, en France. Tous les éléments sont naturellement radioactifs [autant ceux entrant dans la composition du détecteur que ceux constituant la roche de la montagne où est situé le laboratoire]. Or, la radioactivité produit une multitude de signaux indésirables, parmi lesquels il faudra distinguer les quatre ou cinq signaux (appelés événements) provoqués par l'interaction entre une wimp et un atome de gaz du détecteur qui surviendront au cours d'une année. » Une tâche pour le moins délicate qui ressemble à chercher une aiguille dans une botte de foin !

C'est la raison pour laquelle les chercheurs ont misé sur diverses stratégies pour atténuer la radioactivité susceptible d'atteindre le détecteur et de masquer ainsi les signaux de wimps que l'on désire détecter. Tout d'abord, la sphère a été fabriquée avec du cuivre ultrapur, « le plus pur qui existe sur le marché », qui contient peu de traces d'uranium et de thorium, deux isotopes fortement radioactifs.

Deuxièmement, la sphère sera installée dans un laboratoire souterrain afin de la protéger du rayonnement cosmique. « Au niveau de la mer, les muons cosmiques provoquent environ 10 millions d'événements par jour par m². Au SNOLAB, qui se trouve à 2000 mètres de profondeur et qui est le deuxième laboratoire le plus profond du monde, il n'y aura qu'un seul muon cosmique par jour par m² qui sera susceptible de pénétrer dans la sphère et d'interagir avec le gaz du détecteur », précise M. Dastgheibi-Frad.

Troisièmement, la sphère sera enveloppée d'un épais blindage de plomb et de polyéthylène. D'abord, une coquille de plomb de 25 cm d'épaisseur recouvrira la sphère de cuivre afin d'arrêter les rayons gamma émis par les parois rocheuses de la mine. Les trois premiers centimètres de cette coquille sont composés d'un plomb archéologique de basse radioactivité.

« Ce plomb archéologique a été trouvé au fond de la mer, au large de la Bretagne, dans la coque de navires en provenance de Grande-Bretagne. Le fait d'être resté plusieurs siècles sous l'eau a permis à ce plomb de perdre sa radioactivité. Ce plomb archéologique qui forme la première couche de blindage autour de la sphère sert à stopper la radioactivité du plomb classique dont est composé le reste du blindage », explique M. Dastgheibi-Frad.

La coquille de plomb est à son tour emballée dans une gaine de polyéthylène de 40 cm d'épaisseur. Ce polyéthylène qui a été fabriqué à l'Université de l'Alberta sert à freiner les neutrons émis par la roche environnante.

Quatrièmement, afin de diminuer la radioactivité de l'air ambiant qui provient du radon radioactif qu'il contient, on injectera autour du détecteur de l'azote, un gaz neutre qui est exempt de radon.

Finalement, le détecteur sera rempli d'un mélange de gaz constitué principalement de méthane (CH_4), un gaz doté de quatre atomes d'hydrogène, lesquels constitueront des cibles vraisemblablement aussi légères que les *light wimps*, ce qui devrait permettre du coup « un bon transfert d'impulsion si une wimp vient à entrer en collision avec un de ces noyaux d'hydrogène », souligne Gilles Gerbier, directeur de la collaboration NEWS-G et professeur à la Queen's University, à Kingston.

Ce dernier précise que toutes les composantes du détecteur sont arrivées sur le site du SNOLAB, à Sudbury. La sphère et deux des six gros morceaux de blindage de plomb qui ont fait le voyage depuis la France ont déjà été descendus dans le laboratoire souterrain. « Encore deux mois seront nécessaires pour tout acheminer sous terre. Tout devrait être assemblé vers le début de mai. Ensuite, on installera au centre de la sphère la petite bille, élément central du détecteur, qui va recueillir les impulsions électriques générées par les interactions de la matière noire avec les noyaux de gaz », explique-t-il.

Et si le SNOGLOBE ne détecte pas de wimps, cela voudrait-il dire que la matière noire n'existe pas ? « Tout le monde s'accorde pour dire qu'il faut un ingrédient supplémentaire dans l'Univers pour comprendre son fonctionnement. Cette matière noire doit être là, mais on ne sait pas en quoi elle consiste. Pour l'instant, personne n'a découvert de manière convaincante un signal pouvant nous révéler sa nature », répond M. Gerbier.

Détection des wimps de faible masse

Les chercheurs espèrent détecter des interactions entre des *light wimps* et des noyaux d'atomes de gaz, le matériau cible dont sera remplie la sphère de 1,4 mètre de diamètre. « Un peu comme quand on lance une boule de pétanque sur une autre boule, cette dernière recule parce qu'elle récupère l'énergie cinétique de la boule incidente. C'est pareil pour la wimp qui voyage dans notre voisinage à une vitesse d'environ 200 à 250 km par seconde. Quand elle heurtera un noyau d'atome de gaz, celui-ci acquerra l'énergie cinétique de la wimp, qui le fera reculer. Ce noyau sera toutefois freiné par les autres atomes de gaz de la sphère », explique Gilles Gerbier, directeur de la collaboration NEWS-G. Tout le long de son parcours, le noyau ionisera les atomes qu'il croisera sur son passage, car en les heurtant, il leur arrachera des électrons. Une fois libérés de leur atome, ces électrons se retrouveront soumis au champ électrique généré entre la coque métallique de la sphère et une petite bille maintenue au centre de la sphère par une tige. Celle-ci est parcourue par un fil qui apporte une haute tension au niveau de la bille. « Sous l'influence de ce champ électrique, les électrons se déplaceront le long des lignes de champ électrique vers la bille qui constitue le pôle positif. Les électrons collectés par la petite bille centrale généreront un signal électrique que nous détecterons et enregistrons », précise M. Gerbier.