



# Chasser la matière noire

À L'INTÉRIEUR DE L'UN DES LABORATOIRES LES PLUS PROFONDS DU MONDE, DANS UNE MINE DE L'ONTARIO, DES PHYSICIENS TRAQUENT DES ENTITÉS INSAISSISSABLES : DES PARTICULES DE MATIÈRE NOIRE. BIEN QU'ELLE REPRÉSENTE 25 % DU CONTENU DE L'UNIVERS, ON EN IGNORE ENCORE TOUT. COMMENT ATTRAPE-T-ON L'INVISIBLE? PAR MARINE CORNIOU

## La

situation a quelque chose d'ironique. Pour percer les secrets de l'Univers, les physiciens et techniciens du SNOLAB descendent chaque jour 2 km sous terre, loin, très loin du ciel et de ses étoiles. En ce matin pluvieux de juin, je m'apprête à plonger avec eux dans les entrailles de la mine Creighton, à Sudbury, à 400 km au nord de Toronto, où est enfoui ce laboratoire qui est l'un des plus profonds du monde.

Vêtus de combinaisons jaunes ou orange réfléchissantes, de bottes de sécurité et de casques, nous attendons l'heure du départ au côté des mineurs de la compagnie Vale, qui extraient du nickel de cette mine toujours en activité. À 7h 15 précisément, la porte de l'ascenseur – ou plutôt de la « cage », comme on l'appelle – s'ouvre dans un fracas métallique.

ILLUSTRATION : ALBERTO SEVESO

Nous sommes une vingtaine, mineurs, scientifiques – et journaliste – à nous y entasser, épaule contre épaule. La cage brinquebale et descend à toute allure, faisant défiler les parois rocheuses sous nos yeux. On dévale à 40 km/h, passant en trombe devant plusieurs galeries éclairées, creusées dans

le roc. La mine est immense: exploitée depuis plus de 100 ans, elle atteint 2 400 m de profondeur – 14 fois la tour du Stade olympique. J'ai beau le savoir, la descente est impressionnante. Je déglutis frénétiquement pour me déboucher les oreilles, tout en essayant de ne pas penser à l'épaisse couche de roc qui me sépare de la surface.

C'est justement ce bouclier rocheux qui a conduit les chercheurs, en 1990, à

**Neutrinos**  
Les neutrinos sont des particules émises en nombre astronomique par les étoiles, les réacteurs nucléaires, mais aussi issues du big bang. Ils sont extrêmement légers – au moins un million de fois plus léger que l'électron – et voyagent quasiment à la vitesse de la lumière. On a d'abord cru qu'ils pouvaient constituer la matière noire, avant de constater que leur masse était trop faible.

construire le Sudbury Neutrino Observatory (SNO), un détecteur de neutrinos, dans cet endroit improbable. Ces particules sont de véritables « fantômes ». Pour les repérer, il faut se protéger des rayons cosmiques, venus de l'espace, qui bombardent la Terre en permanence et saturent les détecteurs. La roche joue ici ce rôle de rempart, ou de filtre: elle laisse passer les neutrinos, mais pas le brouhaha des rayons cosmiques. Voilà qui a permis au physicien canadien Arthur McDonald d'observer ces particules en paix et de décrocher un prix Nobel

en 2015. Entre-temps, le SNO a été agrandi et transformé en SNO-LAB qui a débuté ses activités en 2012. Plus de 500 chercheurs d'une quinzaine de pays y travaillent, à l'occasion ou de façon permanente.

Ils y guettent encore les neutrinos, mais c'est une autre quête qui obsède leur esprit: celle de la matière sombre, ou matière noire. Composée de particules inconnues, celle-ci constituerait 25% du contenu de l'Univers et se trouverait partout autour de nous, y compris au fond des mines. Mais elle reste, à ce jour, l'un des plus grands mystères du cosmos. « Par définition, on ne sait toujours pas ce que c'est. On ne sait pas ce qu'on cherche », résume Pierre Gorel, l'un des scientifiques qui m'accompagnent ce jour-là. Pendant sept ans, il est descendu presque chaque jour au SNOLAB pour construire le détecteur de matière noire DEAP-3600, entré en fonction fin 2016. C'est à cette machine dernier cri que je vais rendre visite, entre

autres (de nombreuses expériences ont cours au SNOLAB).

Après trois minutes interminables, la cage s'immobilise enfin à « l'étage 68 » (6 800 pieds, soit 2 072 m, la mine allant jusqu'à 2 400 m). Le groupe de scientifiques s'engouffre dans une longue galerie, dont les parois sont couvertes de grillages pour protéger des chutes de pierres. L'air est chaud (plus de 30 °C), humide et lourd: la pression est 25% plus élevée qu'à la surface, ce qui rend la marche de 1,5 km un peu pénible. Cela tombe bien: une douche nous attend à l'arrivée.

### PURETÉ ET PROPRETÉ

« C'est l'un des laboratoires les plus propres du monde. L'équivalent d'une cuillère de poussière, naturellement radioactive, suffirait à bousiller les détecteurs », explique Pierre Gorel. Après avoir rincé nos bottes, on retire l'équipement de mineur.

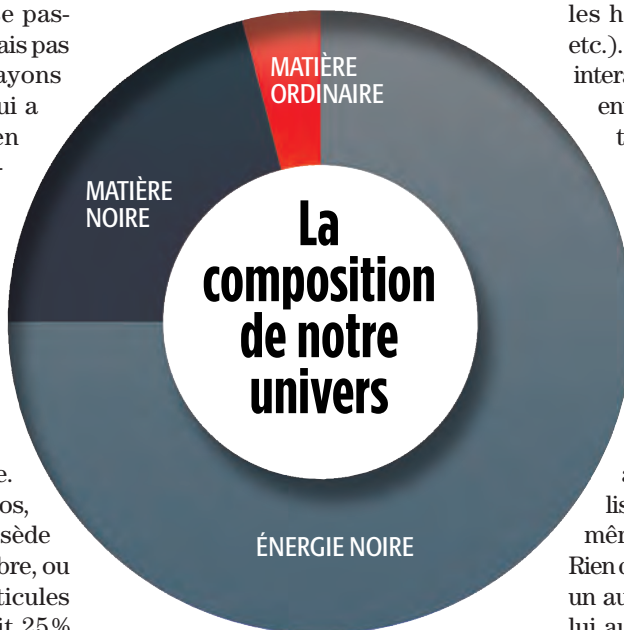
déplacé par nos semelles; le système de ventilation repousse constamment l'air venant de la mine; les murs, les sols et les plafonds sont couverts d'une peinture lisse et brillante. Après le couloir boueux de la mine, le contraste est saisissant: on se croirait dans un film de James Bond, dans une sorte de caverne ultramoderne. « Le nettoyage et le dépoussiérage sont les postes les plus importants du SNOLAB », indique Pierre Gorel.

Si l'on purifie ainsi l'environnement, c'est qu'il faut être très méticuleux pour tenter de « voir » une particule de matière noire. Comme pour les neutrinos, il faut éliminer tous les signaux parasites (rayons cosmiques, radioactivité) qui pourraient mimer le passage d'une de ces particules dans les détecteurs et induire les scientifiques en erreur. « On est constamment bombardés de matière sombre, mais ces particules interagissent très peu avec la matière ordinaire visible (qui compose les humains, les étoiles, les planètes, etc.). En fait, on ne sait même pas si elles interagissent, mais on espère qu'elles vont entrer en collision, une fois de temps en temps, avec les atomes qui sont dans le détecteur », m'expliquait quelques jours plus tôt la physicienne Pauline Gagnon, fraîchement retraitée du CERN, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire à Genève.

Le SNOLAB n'est pas le seul à traquer ces mystérieuses entités. Au total, une quarantaine d'expériences dans le monde – y compris au CERN, où se trouve le Grand collisionneur de hadrons – poursuivent le même but (voir l'encadré à la page 22). Rien qu'au SNOLAB, en plus de DEAP-3600, un autre détecteur nommé PICO attend lui aussi la rencontre providentielle, et deux autres sont en construction (SuperCDMS [Cryogenic Dark Matter Search] et MiniCLEAN). « C'est une vraie course, même entre nous », confirme Pierre Gorel. Jusqu'ici, toutefois, personne n'a jamais rien vu.

### DE LA THÉORIE À L'EXPÉRIENCE

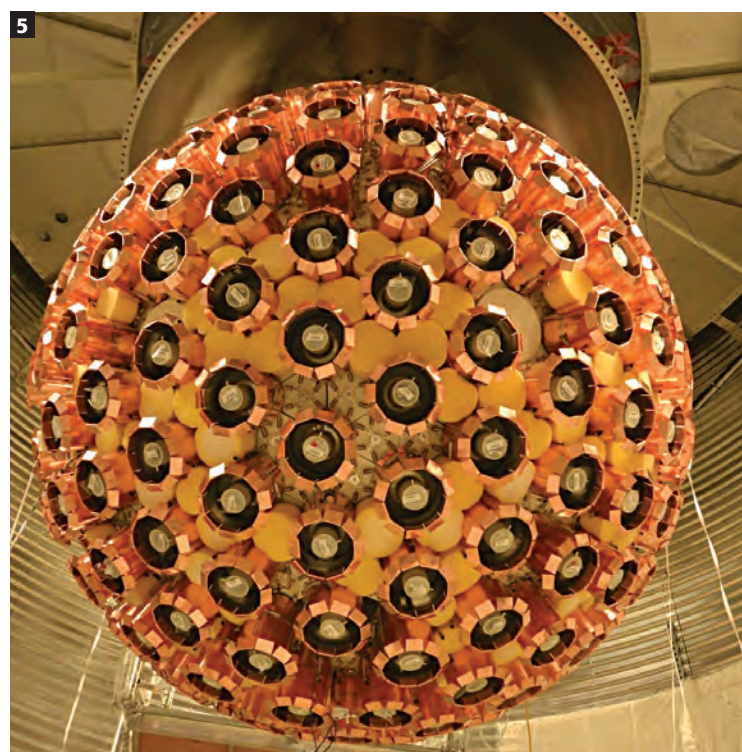
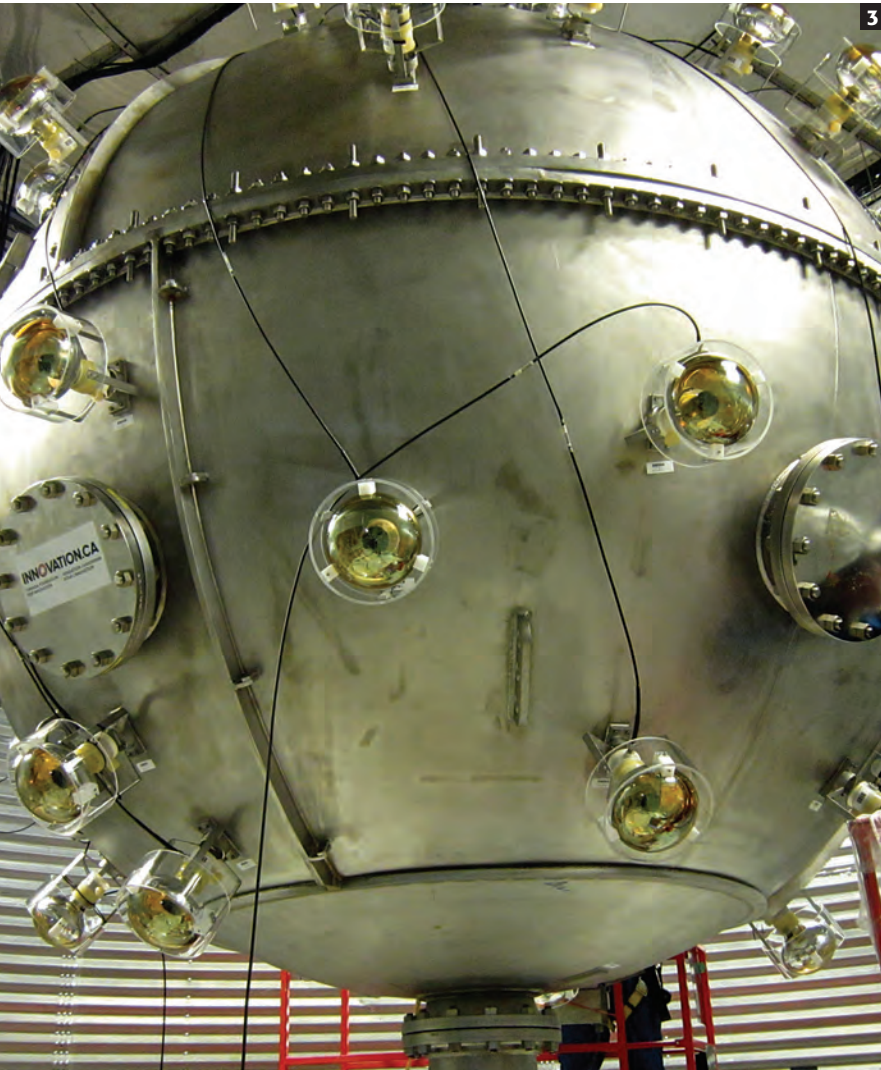
Mais alors, d'où vient la certitude que la matière noire existe? C'est en regardant des amas de galaxies qu'un astronome suisse, Fritz Zwicky, s'est rendu compte, dès les années 1930, que quelque chose



Tous les objets qui pénètrent en ces lieux sont soigneusement nettoyés dans un sas appelé *car wash*. Chaque personne doit impérativement se doucher (cheveux compris), puis revêtir une combinaison spéciale, des bottes propres et couvrir ses cheveux d'un filet. Les 5 000 m<sup>2</sup> du labo sont classés « salle blanche », ce qui signifie qu'on n'y trouve quasiment pas de particules en suspension. À l'entrée de chaque pièce, du papier collant bleu posé au sol retient le peu de poussière



1. Pour accéder au SNOLAB, il faut marcher plus de un kilomètre dans les galeries de la mine Creighton. 2. Avant d'y entrer, il faut passer les bottes au jet d'eau pour éliminer la terre. On se douche et on se change ensuite intégralement. 3. Le détecteur DEAP-3600 est enfermé dans une sphère d'acier, elle-même plongée dans une cuve métallique (en temps normal remplie d'eau). 4. La «caverne» où est placé DEAP est creusée à même la roche. Les parois sont couvertes d'une peinture anti-poussière. 5. DEAP-3600 est entouré de 255 photodétecteurs qui doivent capter les signaux lumineux émis par l'argon liquide.



# Découvrir la matière noire reviendrait à résoudre l'une des plus grandes énigmes de la physique, et à ouvrir un nouveau champ de recherche fascinant.

clochait dans l'Univers. Après avoir évalué la masse des centaines de galaxies qui composent l'amas dit de Coma, il conclut qu'elle n'est pas suffisante pour expliquer la cohésion de l'ensemble. Il manquerait jusqu'à 10 fois la masse visible!

Dans les années 1970, l'Américaine Vera Rubin fait le même constat, à l'échelle des galaxies en rotation. Elle réalise que les étoiles les plus éloignées du centre, qui devraient tourner plus lentement que les étoiles internes selon les lois de la gravitation, vont beaucoup trop vite! À cette vitesse, la galaxie devrait se disloquer. Et pourtant, ces étoiles éloignées semblent «coller» au reste, comme par magie. Une magie qu'elle explique par la présence d'une matière inconnue, invisible, qui ajouterait la masse (et donc la gravité) nécessaire au maintien des étoiles. «Ensuite, d'autres preuves sont venues de la cosmologie», rappelle Pauline Gagnon. Par exemple, la

lumière provenant de galaxies lointaines se «courbe» ou dévie beaucoup plus que prévu lorsqu'elle passe près d'autres galaxies – c'est ce qu'on appelle l'effet de lentille gravitationnelle, accentué par une masse «cachée» (voir l'illustration ci-contre). Un autre indice vient de l'observation de la structure de l'Univers, qui révèle que les galaxies se seraient agglutinées à l'origine sous l'effet d'un «catalyseur», lequel serait justement la matière sombre. Quant à savoir à quoi ressemble cette mystérieuse glu intergalactique...

Si les théoriciens s'entendent sur le fait qu'il s'agit de particules exotiques (c'est-à-dire différentes de la matière ordinaire), le consensus s'arrête là. «Les modèles sont très flexibles. Rien n'interdit d'ailleurs qu'il y ait plusieurs particules de masse différente. On est un peu dans le noir», ironise au téléphone Gilles Gerbier, professeur à la Queen's University, en Ontario, qui travaille

à la mise en place du nouveau détecteur SuperCDMS, au sein du SNOLAB.

Parmi les candidats théoriques les plus sérieux à la matière noire se trouvent les WIMP (pour *weakly interactive massive particles*), ou particules massives interagissant faiblement. En français, on les appelle aussi «mauviettes», traduction littérale de *wimps*. Ce sont elles que l'équipe du SNOLAB essaie d'attraper. Justement, j'emboîte le pas à Pierre Gorel dans les larges couloirs lumineux, jusqu'à une pièce immense creusée dans le roc qui abrite son «bébé», DEAP-3600. Rien d'excitant à première vue: le détecteur est caché dans une grande cuve cylindrique de plusieurs mètres de haut. «DEAP est une sphère de 85 cm de rayon, qui contient 3,6 tonnes d'argon liquide. Elle est construite dans un acrylique très pur, donc avec une radioactivité intrinsèque minimale. La boule est enfermée dans une coque d'acier, elle-même plongée dans de

## Un éventail de méthodes

Ne sachant pas à quoi ressemble leur proie, les physiciens ont imaginé un éventail de méthodes pour tenter d'apercevoir la matière noire. «Le grand rêve de tout physicien, c'est que les détecteurs souterrains et les détecteurs en orbite repèrent des particules identiques de matière noire, et qu'on réussisse en outre à les produire artificiellement dans l'accélérateur du CERN», explique Alain Bellerive, de l'université Carleton, impliqué dans l'expérience ATLAS au CERN et chercheur au SNOLAB.

### DÉTECTION DIRECTE

C'est la méthode employée au SNOLAB. Pour concevoir des outils permettant une détection directe, on mise sur divers matériaux. D'abord, l'argon ou le xénon liquide, comme dans DEAP ou Xenon 1T. «Ce sont des gaz nobles, faciles à purifier et qui sont de bons scintillateurs [NDLR: qui émettent des photons]», explique Pierre Gorel. Le détecteur PICO, lui, contient un liquide en surchauffe qui entre en ébullition s'il est percuté par une WIMP. Les bulles ainsi créées sont décelées par des caméras et des microphones qui enregistrent le bruit de la bulle dans le détecteur.

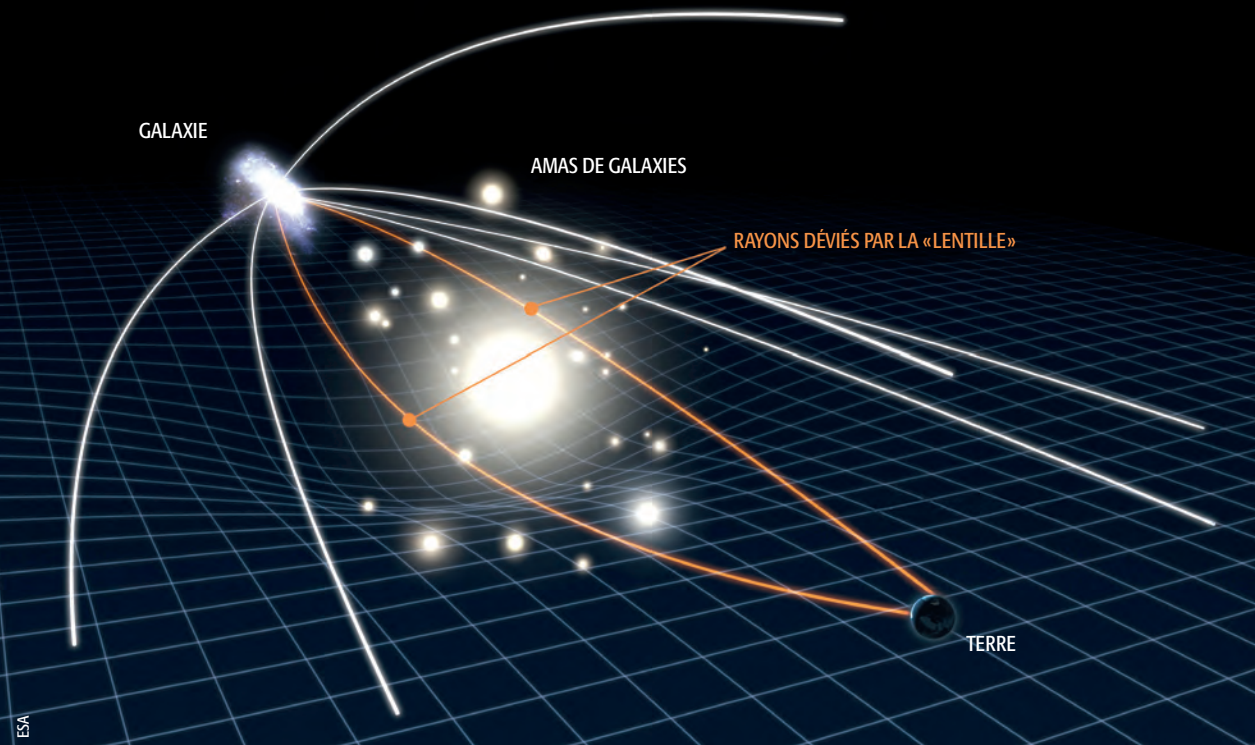
Autre technique: les détecteurs «solides», constitués généralement de germanium à très basse température (expériences CDMS et EDELWEISS

notamment). Si un noyau de germanium est percuté, l'impact produira de la chaleur (une hausse d'un millionième de degré) et des électrons; un signal faible, mais mesurable.



NASA

Spectromètre magnétique alpha



L'effet de lentille gravitationnelle permet aux astronomes d'observer les galaxies très lointaines, qui seraient normalement « cachées » par d'autres objets situés devant elles. Les rayons lumineux qu'elles émettent sont courbés par les amas de galaxies rencontrés sur le trajet, dont la masse déforme localement l'espace-temps. L'image de la galaxie d'arrière-plan parvient donc jusqu'à la Terre, mais de façon distordue. En étudiant ces images déformées, il est possible d'évaluer le degré de distorsion et d'en déduire la distribution de masse de l'amas, et donc la quantité de matière sombre qu'il contient. La matière visible (gaz et galaxies) représente, en général, environ 10 % de la masse responsable des effets de lentille.

l'eau qui constitue un blindage supplémentaire contre la radioactivité venant de la roche», explique-t-il non sans fierté en pointant le silo hermétique.

Le concept du détecteur est simple à comprendre : la matière noire nous bombarde constamment. Une fois de temps en temps (rarement), on s'attend à ce qu'elle percute un noyau d'argon dans DEAP. « Le noyau va alors reculer, un peu comme une boule de billard qu'on frappe », explique le chercheur. En

retrouvant son état initial, ce noyau va émettre un photon, c'est-à-dire un signal lumineux qu'on espère capter grâce aux 255 photodétecteurs installés tout autour de la boule d'acrylique. Reliés au silo de DEAP, d'innombrables conduits de ventilation, machines de refroidissement et ordinateurs vrombissent, reliés à un réseau complexe de câbles multicolores. « On apprend au fur et à mesure comment le détecteur fonctionne. En théorie, on pourrait déjà avoir des signaux », soutient

le chercheur, un sourire en coin.

Mais il faudra écouter le murmure capté par DEAP pendant trois ans encore pour pouvoir distinguer un « vrai » signal du bruit de fond qui ne peut être éliminé totalement. Car les impacts de matière noire dans l'argon, s'ils surviennent, seront rares. Ces particules fugaces heurteront-elles les détecteurs plusieurs fois par jour ? Par an ? Comment être sûr qu'un signal est bien celui d'une WIMP, et pas celui d'un rayon cosmique ou d'un

## DÉTECTION INDIRECTE

Faute de réussir à « attraper » directement ces particules, certains physiciens tentent de déceler les indices de leur existence. C'est ce qu'on appelle la détection indirecte. Arrimé à la Station spatiale internationale, le spectromètre magnétique alpha (AMS) scrute dans ce but les rayons cosmiques, cette pluie de particules venues de l'espace, qui voyagent à des vitesses voisines de celle de la lumière. En 2013, les scientifiques d'AMS annonçaient des résultats étonnants. « Dans les rayons cosmiques, ils ont trouvé des électrons, comme partout, mais aussi des positrons qui sont l'antimatière

des électrons. C'est très rare, car l'antimatière semble avoir disparu de l'Univers, on ne sait trop pourquoi. Une des hypothèses, c'est que ces positrons pourraient être produits par des particules de matière noire qui s'annihilent entre elles, en produisant un électron et un positron », explique la physicienne Pauline Gagnon. Reste à éliminer toutes les autres sources possibles, et à confirmer qu'il y a bien un excès de positrons. « AMS pourrait avoir la réponse d'ici quatre ans », croit-elle.

## CRÉATION ARTIFICIELLE

Dernière option pour voir la matière noire : la créer de toutes pièces. C'est ce qu'on



CERN

tente de faire au CERN, dans le Grand collisionneur de hadrons, le plus puissant accélérateur de particules au monde. En faisant s'entrechoquer à haute vitesse des faisceaux de protons, les physiciens espèrent générer un « feu d'artifice » de nouvelles particules. Incluant quelques

miettes de matière sombre. « Le problème, c'est que, si on en produit, elles vont traverser nos détecteurs sans laisser de traces. Ce qu'on tente de déceler, c'est un déséquilibre dans nos détecteurs. Lors d'une collision de deux protons, des particules sont éjectées dans toutes les directions. Mais si certaines d'entre elles s'échappent sans laisser de traces, on va voir un déséquilibre dans la répartition d'énergie, précise Pauline Gagnon. Avec les données obtenues en 2016, rien ne nous a sauté aux yeux. Maintenant, c'est un travail de longue haleine : il faut passer en revue des milliards et des milliards d'événements pour déceler d'éventuelles petites anomalies. » Affaire à suivre.

# «Si la matière noire n'existe pas, cela veut dire qu'on s'est trompé sur la loi de la gravitation.»

– Gilles Gerbier, physicien

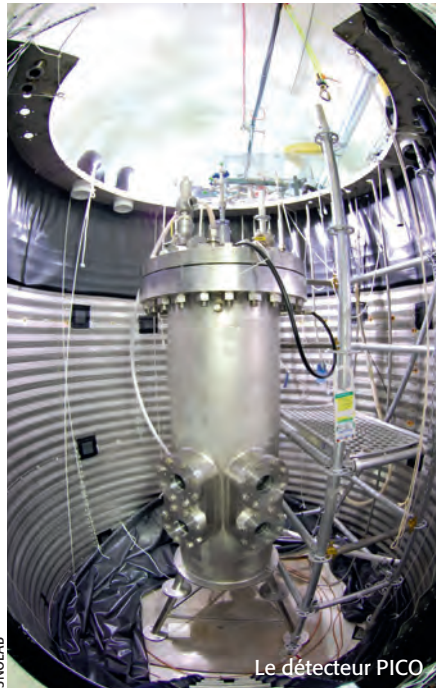
rayonnement gamma résiduel? Pierre Gorel est confiant: «S'il y a une chance pour que la matière noire interagisse, il suffit d'attendre assez longtemps avec des détecteurs assez gros, et ça va arriver. C'est une question de statistiques!»

## L'ÉTAU SE RESSERRE

Pourtant, jusqu'ici, les statistiques n'ont pas joué en faveur des chercheurs et toutes les expériences dans le monde ont fait chou blanc.

Il faut dire que les « chasseurs » partaient de loin, ne connaissant aucun des deux critères qui servent habituellement à cerner une particule: ni sa masse ni son affinité pour le détecteur. « Avec une masse élevée, il est plus facile d'induire une vibration dans le détecteur, un peu comme une boule de quilles qui frappe plus fort qu'une balle de ping-pong, explique Pauline Gagnon. L'autre inconnue, c'est la probabilité avec laquelle les WIMP vont interagir avec le détecteur. » Vont-elles s'y arrêter? Passer à travers? Cette capacité à frapper la cible, qu'on appelle la « section efficace », détermine elle aussi la fréquence des signaux observés.

« C'est un peu comme si les particules étaient des enfants dans une cour d'école. Certains parlent avec tout le monde, ont beaucoup d'amis. D'autres interagissent peu, comme des fantômes qui passent à côté des autres sans les toucher », poursuit la physicienne. Les neutrinos, par exemple, sont les champions de l'esquive. On estime que, sur 10 milliards de neutri-



Le détecteur PICO

nos traversant la Terre, un seul d'entre eux aura une interaction avec un atome de notre planète... Les WIMP sont-elles aussi insaisissables? Tout indique que oui. « Hélas, les particules lourdes qui interagissent beaucoup avec la matière ordinaire, on ne les a pas trouvées. On avait l'espoir de les voir au CERN, avec l'accélérateur de particules, mais on n'a rien vu. Aujourd'hui, on cherche donc les petites masses, qui filent à travers la matière », résume Pauline Gagnon. L'avantage, c'est que le champ de recherche est de plus en plus restreint. Un peu comme

si on avait passé le contenu d'un lac au tamis: n'ayant pas trouvé de gros poissons, on utilise désormais un tamis plus fin pour essayer d'attraper les petits.

Le moins que l'on puisse dire, c'est que, depuis 50 ans, la matière noire sait se faire désirer et a épuisé bien des physiciens! La découvrir reviendrait à résoudre l'une des plus grandes énigmes de la physique, et à ouvrir un nouveau champ de recherche fascinant. L'enjeu est énorme; les moyens aussi: « On doit mettre au point des détecteurs de plus en plus gros, dans des lieux avec très peu de bruit de fond », dit Gilles Gerbier, également titulaire de la Chaire d'excellence en recherche du Canada sur l'astrophysique des particules. En Chine, le détecteur PandaX 4t est en cours de construction sous une montagne haute de 2 400 m et les plans de son successeur, PandaX 30t, sont déjà dans les tuyaux. Au fond de la mine Soudan, aux États-Unis, LUX-ZEPLIN (10 tonnes de xénon!) verra le jour en 2020. Même au SNOLAB, le détecteur PICO, qui fonctionne avec un fluide en surchauffe (qui forme des bulles s'il est percuté par une WIMP), passe au format XL. Le jour de ma visite, le détecteur, d'une contenance de 45 litres, avait été sorti de sa cuve. « D'ici un an, on l'aura remplacé par PICO-500 kg, beaucoup plus gros », m'expliquait le responsable, Ken Clark, devant le PICO déchu, une sorte de bombonne de verre pleine de liquide.

Avec ses trois tonnes d'argon, DEAP a donc une longueur d'avance. Son concurrent principal est l'euro péen Xenon1T,

## Et si Newton avait fait fausse route ?

Si la matière noire n'existe pas, il faudra accepter, pour expliquer la cohésion des galaxies, que la loi de la gravitation n'est pas telle que ce que l'on croit. Décrite en 1687 par Newton, la théorie postule que tout corps doté d'une masse est un centre de pesanteur, qui « attire » l'ensemble des autres corps vers lui. L'intensité de cette force de gravitation dépend de la masse des corps et du carré de la distance qui les sépare. S'il n'y a finalement pas de matière noire, et donc pas de masse cachée, c'est que la gravité est plus intense que ce que prévoit la loi de Newton. La théorie MOND, élaborée en 1983, propose justement de modifier la loi de Newton à très grande distance. Autrement dit, elle fonctionnerait différemment lorsque les accélérations sont très faibles, par exemple en bordure des galaxies spirales. Voilà qui pourrait aussi expliquer l'expansion de l'Univers, que l'on attribue aujourd'hui à une autre grande énigme: l'énergie noire, qui constituerait 70% du cosmos. De quoi éliminer d'un coup tout le côté sombre de l'Univers.





Situé en Italie, Xenon1T renferme 3,5 tonnes de xénon liquide, et pourra en contenir à terme 7,5 tonnes.

## Les autres candidats à la matière noire

Si les **WIMP** sont les candidates les plus en vogue, d'autres « particules » ont été envisagées pour pourvoir le poste vacant de la matière noire (et certaines sont encore en lice).

On a considéré pendant un temps que des objets massifs comme les étoiles à neutrons ou les naines brunes, des astres peu lumineux, puissent être faits de matière noire. Or, ces **MACHO** (pour *massive astronomical compact*

*halo objects*) sont trop peu nombreux pour valider les calculs.

Plus récemment, on a pensé aux particules décrites par la théorie de la supersymétrie qui associe à chaque type de particule connu une particule « miroir ». L'une d'elles, le **NEUTRALINO**, posséderait les propriétés attendues de la matière noire. On espérait trouver ces particules supersymétriques au CERN,

mais rien n'a été vu.

La piste des **NEUTRINOS** n'est pas tout à fait abandonnée. Ils seraient des candidats parfaits s'ils pesaient plus lourd, et d'aucuns pensent qu'il existe des « neutrinos stériles », qu'on n'a pas encore attrapés, qui pourraient constituer la masse manquante du cosmos.

Autre candidat sérieux : l'**AXION**, une particule dont l'existence a été postulée dans les années 1970 et qui serait

apparue dans les premiers instants de l'Univers. Plusieurs expériences, comme ADMX à l'université de Washington ou CAST, au CERN, la recherchent activement.

On vous épargne ici la description des autres candidats, aux noms aussi exotiques que les théories qui les portent : le **WIMPZILLA**, les **PÉPITES DE QUARTZ**, les **BRANONS**, les particules de **KALUZA-KLEIN**, les **MAJORONS**, etc.

ROBERTO CORRIEN AND PATRICK DE PERIO

situé au Gran Sasso, en Italie. Il renferme 3,5 tonnes de xénon liquide, et pourra en contenir à terme 7,5 tonnes. Cela sera-t-il suffisant ? Pas sûr... Les 135 scientifiques de l'expérience Xenon1T, lancée en 2015, sont revenus bredouilles de leurs premières analyses, en mai dernier. « On est à l'échelle des tonnes et on atteint les limites. Construire des détecteurs plus gros coûterait trop cher », explique Pierre Gorel.

Et si on ne trouve rien dans les 5 à 10 ans qui viennent ? « Ça voudra peut-être dire que les WIMP ont une masse très faible, mais on n'aura pas le moyen technique de les distinguer des neutrinos dans les détecteurs. On risque d'être coincés », explique Gilles Gerbier.

La situation commence à inquiéter

sérieusement les physiciens. Plusieurs équipes affirment que, si on n'a rien vu jusqu'ici, c'est tout simplement parce que la matière noire n'existe pas. On ferait fausse route depuis le début. « Des théories nouvelles, qui se passent de matière noire, il y en a à la pelle ! Les théoriciens ont beaucoup d'imagination. Selon eux, si la matière noire n'existe pas, cela veut dire qu'on s'est trompé sur la loi de la gravitation. Ainsi, la constante de gravitation varierait en fonction de la distance », résume Gilles Gerbier sans trop y croire (voir l'encadré page précédente).

Pierre Gorel non plus n'est pas prêt à renoncer. « Il faut continuer à chercher la matière noire avec différentes méthodes et matériaux », dit-il. D'autant qu'une découverte ne pourra être proclamée que si

elle est confirmée par deux expériences indépendantes. « On a bien mis 48 ans à trouver le boson de Higgs, s'exclame Pauline Gagnon. Ce n'est pas une tâche facile ! »

Tous espèrent que le signal tant attendu se fera entendre pour la première fois ici, à 2 km sous terre, dans cet antre surréaliste. Le retour à la réalité est d'ailleurs un peu brutal : la poussière chaude de la mine, les bottes lourdes, les secousses de la cage, la pluie fine sur le stationnement et ses dizaines de pick-up. Mais ces chercheurs de l'ombre m'ont transmis leur fébrilité. Comme eux, j'espère que le SNOLAB nous donnera bientôt le fin mot de l'histoire. Et comme eux, je sens poindre la crainte que l'objet de cette quête ne soit qu'une illusion. **OS**



# Pendant ce temps à Modane...

PAR PIERRE SORMANY

**P**our accéder au Laboratoire souterrain de Modane (LSM), le laboratoire le plus profond d'Europe, il faut emprunter le tunnel de Fréjus, un étroit couloir routier de 13 km entre Modane en Savoie, et Bardonneche dans le Piémont italien. Si les quelques techniciens qui y travaillent ont accès à un minuscule espace de stationnement en bordure de la route, les visiteurs occasionnels n'ont pas le choix : il faut interrompre la circulation pour permettre au minibus de s'arrêter devant une porte coulissante, le temps de faire descendre les gens le plus vite possible. Puis la porte se referme hermétiquement, pour éviter toute pollution.

À l'intérieur, la première impression est décevante : une voûte de béton vide et grise sert d'antichambre. Au fond, une petite porte étanche donne accès au labo. L'espace utile y est restreint – à peine 450 m<sup>2</sup>. Et encombré. Des bombes de gaz, des plaques de plomb empilées, des enchevêtrements de fils, des escabeaux, etc. « On utilise tout l'espace qu'on peut; surtout, ne touchez à rien », rappelle notre hôtesse, Charlotte Riccio, technicienne supérieure, responsable du contrôle de qualité.

Au-dessus de nous, 1 700 m de roc. C'est un peu moins que pour le labo de Sudbury, enfoui à plus de 2 000 m. Dans les deux cas, le couvert rocheux sert de blindage naturel contre le rayonnement cosmique qui nous expose, à la surface, à une dose quotidienne de 8 millions de particules par mètre carré. Ici, ce rayonnement ne dépasse pas quatre particules par mètre carré par jour. Mais il faut aussi tenir compte de la radioactivité naturelle des matériaux terrestres. Au LSM, on ne laisse pas entrer l'air extérieur (qui peut contenir du radon), on décontamine tous les appareils utilisés dans les expériences et on stocke les métaux utilisés pour le blindage bien au-delà de la demi-vie de leurs isotopes radioactifs, pour s'assurer qu'ils sont inertes. « Bienvenue dans l'endroit le moins radioactif du monde » confirme Charlotte Riccio, en ajoutant que, dans ce labo, la source principale de radiation résiduelle vient des émissions naturelles... de nos corps !



La commune de Modane, en France

SNOLAB

L'absence quasi totale de radiations dans le LSM en a fait un lieu privilégié pour calibrer les appareils de mesure et concevoir les systèmes de blindage utilisés dans les autres observatoires de physique des particules. On y étudie aussi la croissance de colonies bactériennes dans un environnement sans rayons cosmiques, question de voir l'influence de ce rayonnement sur l'évolution.

Le laboratoire offre aussi des services d'analyse. La mesure du rayonnement du césium 137, un élément qui n'existait pas en nature avant les premières bombes atomiques de 1945, permet de vérifier, par exemple, l'authenticité de vins millésimés sans avoir à déboucher les bouteilles. On utilise aussi cet indicateur pour assurer la traçabilité de produits agricoles. « Toutes ces analyses peuvent être faites ailleurs, mais le bruit de fond du rayonnement cosmique rend les mesures plus difficiles. Ce qu'on réalise en trois jours à la surface, on peut le faire en quelques heures ici », explique notre guide.

Mais ce n'est pas seulement pour faciliter ces analyses qu'on a construit cette étrange caverne, en 1982. La première cible des recherches, c'était le neutrino. Car quand on dit que tout le rayonnement cosmique est bloqué, on exclut ces particules sans charge électrique et qu'on a longtemps cru sans masse.

Il y a quelques années, un physicien italien, Ettore Majorana, avait postulé que le neutrino pourrait être sa propre antiparticule, cette propriété pouvant expliquer comment a été « autocréée » la masse qui compose la partie visible de notre univers. Si son hypothèse est vraie, les neutrinos pourraient se désintégrer spontanément, en émettant deux électrons dont on connaît précisément l'énergie. Ce sont ces paires d'électrons que l'énorme détecteur de Modane, baptisé Super-NEMO (pour Neutron Ettore Majorana Observatory), tente de détecter.

À ses côtés, on a installé le détecteur EDELWEISS, avec en son cœur 30 kg de balles de germanium refroidies presque au zéro absolu (-273,15 °C). À cette température, les atomes ne bougent plus. On croit toutefois que le seul passage de particules massives à proximité des noyaux atomiques pourrait les faire osciller. EDELWEISS est conçu pour mesurer ces oscillations. « C'est actuellement une des expériences les plus sensibles au monde pour détecter la matière noire », selon le directeur du labo, Fabrice Piquemal. Il devra toutefois faire preuve de patience car, pour l'heure, les scientifiques du LSM, à l'instar du reste de la communauté des astrophysiciens, n'ont toujours pas vu l'ombre de la « masse manquante » de l'Univers. 