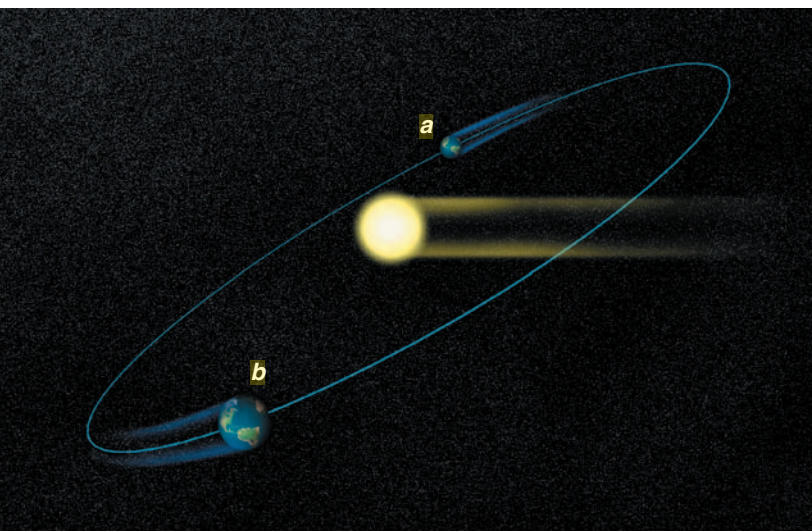
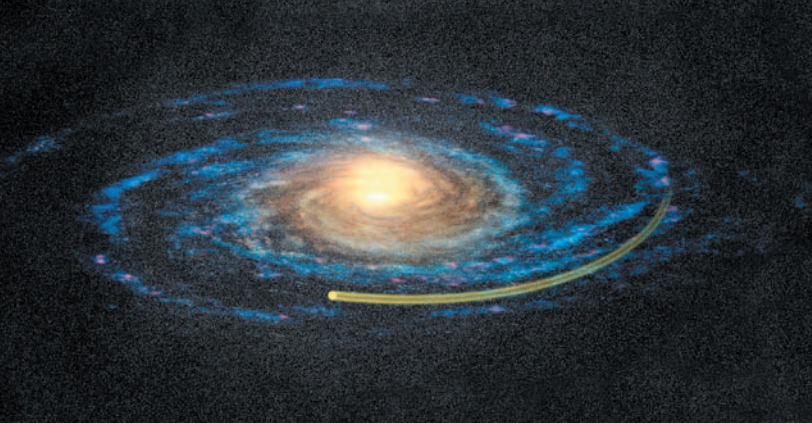
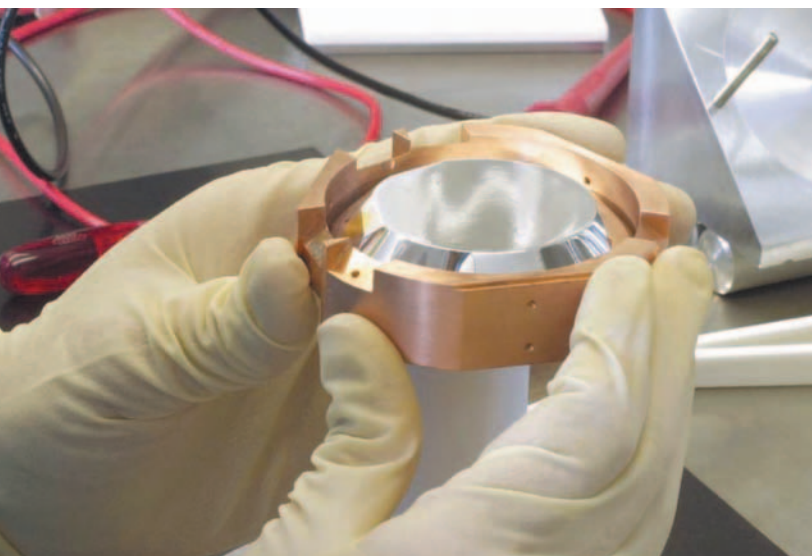




3. UN VENT DE PARTICULES de matière noire devrait résulter du déplacement de la Terre dans l'espace. La matière noire est essentiellement un gaz stagnant (les particules ont un mouvement aléatoire, sans aucune organisation), et notre Système solaire se rue au travers de ce gaz à une vitesse de 220 kilomètres par seconde (*en haut*). À l'intérieur du Système solaire (*en bas*), la Terre gravite à la vitesse de 15 kilomètres par seconde, de telle sorte que ce vent contraire, dans l'hémisphère Nord, a une vitesse nette de 235 kilomètres par seconde en été (*a*) et de 205 kilomètres par seconde en hiver (*b*). Cette variation peut nous aider à distinguer la matière noire d'un bruit parasite.



4. DÉTECTEUR AU GERMANIUM utilisé dans l'expérience *Edelweiss*. Les physiciens espèrent que l'interaction d'un neutralino avec un noyau du détecteur provoquera une élévation de température et une ionisation caractéristiques détectables. Ce cristal de 320 grammes est très pur de façon à réduire le bruit dû à la radioactivité naturelle du matériau. De plus, l'expérience est placée au Laboratoire souterrain de Modane, sous le mont Fréjus, afin de limiter le flux de rayons cosmiques.

leur propre découplage s'est produit lorsque l'Univers était encore très chaud et très dense, à un stade bien plus précoce. C'est la raison pour laquelle on pense que ces particules ont été créées en très grand nombre (l'énergie moyenne disponible étant très élevée à cette époque). En fait, d'après les caractéristiques calculées du neutralino, on estime que la masse totale de ces particules correspond assez bien à celle de la matière noire dans l'Univers actuel. Cette adéquation est un nouvel argument en faveur d'une matière noire froide constituée essentiellement de neutralinos.

Discret, mais pas invisible

Pour détecter directement la matière noire, les physiciens des particules doivent faire quelques suppositions sur la manière dont elle interagit avec la matière ordinaire qui constitue leurs instruments. Du point de vue des astronomes, la matière noire ne se manifeste que par son influence gravitationnelle, la plus faible de toutes les interactions fondamentales : si tel est le cas, les physiciens n'ont aucun espoir de la détecter. Toutefois, cette hypothèse n'est probablement qu'une approximation pratique permettant aux astronomes de décrire les structures cosmiques sans se préoccuper du détail des propriétés des particules. Les théories supersymétriques, quant à elles, prédisent que les neutralinos sont sensibles à une interaction autre que la gravitation : l'interaction nucléaire faible (interaction qui a déjà « trahi » le neutrino). Ainsi, l'écrasante majorité des neutralinos qui frapperaient un mur de plomb de milliers de kilomètres d'épaisseur le traverserait sans encombre. Toutefois, à l'occasion, l'une de ces particules – extraordinairement malchanceuse – interagirait avec un noyau dans le mur de plomb et lui transférerait une petite partie de son énergie.

Bien que de tels événements aient des effets très faibles et soient très improbables, les physiciens ont bon espoir de les observer grâce au nombre gigantesque de neutralinos qui sont peut-être présents autour de nous. N'oubliez pas qu'ils sont censés constituer l'essentiel de la masse de la Voie lactée. Par ailleurs, la matière noire étant... noire, elle ne peut perdre son énergie en rayonnant, ce qui lui interdit de se condenser en grumeaux plus petits que la galaxie, telles des étoiles ou des planètes. Par conséquent, la matière noire doit constituer un gaz qui imprègne tout l'espace autour de nous. Notre Système solaire, par exemple, en orbite autour du centre de la galaxie, se déplace à la vitesse de 230 kilomètres par seconde et se fraye un chemin à travers ce gaz noir (*voir la figure 3*). Les astronomes prédisent qu'un milliard de particules de matière noire traversent chaque mètre carré toutes les secondes.

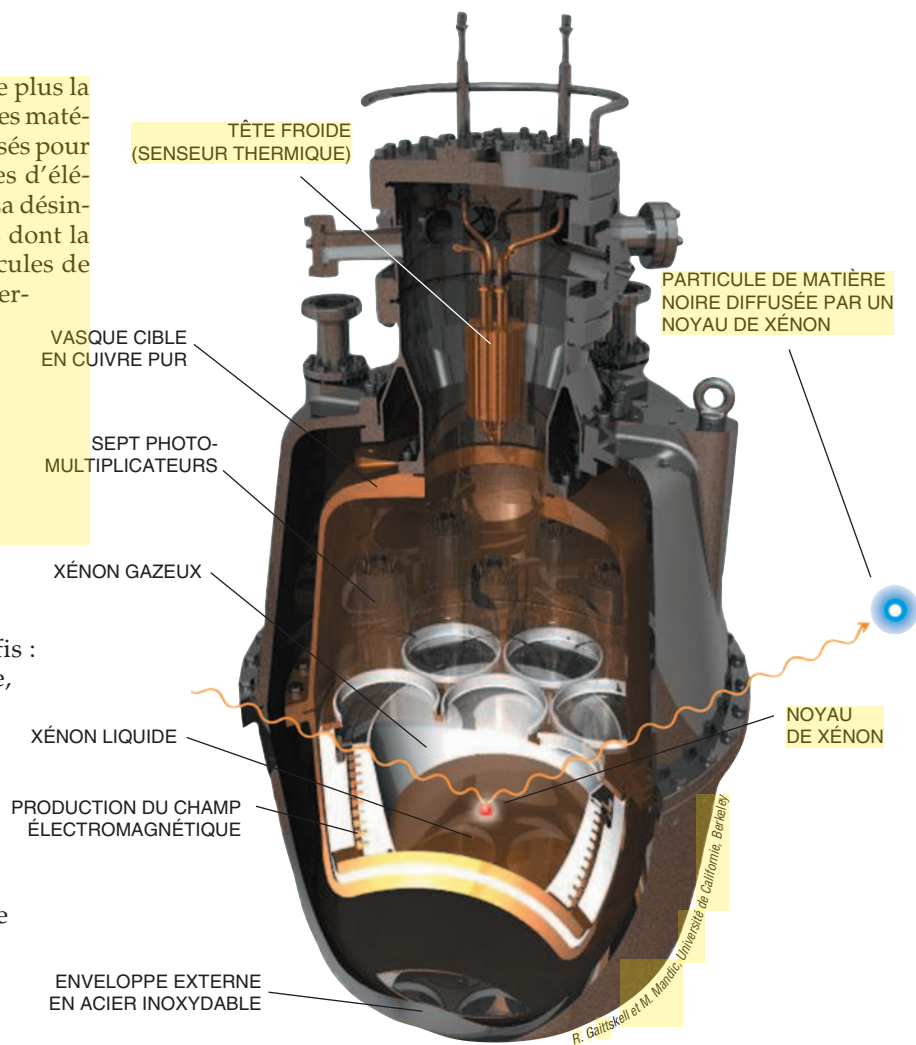
On peut établir des limites à la probabilité d'interaction des neutralinos avec la matière ordinaire à l'aide des données issues des détecteurs déjà construits et des accélérateurs de particules : puisque les neutralinos ne s'y sont jamais manifestés, ils ne sauraient interagir à un rythme supérieur à un événement par jour et par kilogramme de matière ordinaire. Leszek Roszkowski et ses collègues de l'Université de Lancaster, en Angleterre, ont récemment effectué des calculs complets fondés sur différents modèles théoriques. Leurs résultats varient entre 0,1 et 0,0001 événement par kilogramme et par jour. La sensibilité des détecteurs actuels vient de franchir la borne supérieure (0,1) de cet encadrement.

À ce stade, la difficulté principale ne concerne plus la sensibilité des détecteurs, mais leur pureté. Tous les matériaux qui constituent la Terre (y compris ceux utilisés pour construire les détecteurs), contiennent des traces d'éléments radioactifs, tels l'uranium ou le thorium. La désintégration de ces éléments produit des particules dont la signature pourrait être prise pour celle de particules de matière noire. En fait, la radioactivité naturelle terrestre est environ dix fois supérieure au signal que l'on attend de la part des neutralinos. De plus, si les détecteurs sont situés à la surface de la Terre, les rayons cosmiques produisent un signal encore dix fois plus puissant. Pour identifier des particules de matière noire, les chercheurs doivent impérativement diviser ce bruit de fond par un million.

La traque a commencé

Les physiciens sont donc confrontés à deux défis : détecter une interaction, par définition très faible, et supprimer le bruit assourdissant susceptible d'en masquer la signature. En ce qui concerne le premier défi, plusieurs propriétés de la matière peuvent être utilisées pour enregistrer le recul d'un noyau qui vient d'être frappé par un neutralino. Parmi toutes les méthodes envisageables, la plus simple est de mesurer l'échauffement qui se produit lorsqu'en reculant le noyau se fraye un chemin dans la matière qui l'entoure et lui cède de l'énergie cinétique, élevant ainsi légèrement la température du détecteur. Pour mesurer cet échauffement, il est d'abord nécessaire que le matériau soit à très basse température, de l'ordre de quelques millikelvins : c'est la température de fonctionnement des détecteurs cryogéniques. Les détecteurs cryogéniques utilisés par deux des principaux programmes de recherche, le CDMS (sigle de *Cryogenic Dark Matter Search*, recherche cryogénique de matière noire) et l'expérience française *Edelweiss* sont conçus pour mesurer des phonons isolés, ou quanta de chaleur, déposés dans une certaine quantité de matériau. Ils fonctionnent à une température d'environ 25 millikelvins et utilisent des thermistors pour enregistrer les augmentations de température dans les différentes parties du dispositif avec une précision de l'ordre de un millionième de kelvin. Les détecteurs individuels ont une masse de quelques centaines de grammes, et les chercheurs peuvent en empiler un assez grand nombre, jusqu'à atteindre une masse totale de plusieurs kilogrammes, ce qui augmente la probabilité d'enregistrer un événement.

L'autre méthode consiste à déceler l'ionisation de la matière sur le chemin du noyau propulsé par l'effet de recul après l'interaction avec un neutralino. Le noyau en mouvement arrache quelques électrons aux atomes environnants, ce qui produit des ions excités que l'on nomme « excimers » (acronyme anglais pour *excitation dimmers*, variateurs d'excitation). Par la suite, ces ions capturent un nouvel électron et retrouvent leur état normal. On cherche à mesurer les petits courants électriques (de quelques centaines d'électrons) provoqués par ces événements ou à détecter la faible lumière dite de scintillation qu'ils produisent dans certains matériaux,



5. LE DÉTECTEUR ZEPLIN II contiendra 30 kilogrammes de xénon liquide dans une enceinte maintenue à basse température. Lors d'une collision entre une particule de matière noire et un noyau de xénon, des charges seront produites par le noyau reculant sous le choc ; ces charges seront accélérées et focalisées par un champ électromagnétique. Elles provoqueront dans le xénon gazeux qui le surplombe une cascade comparable à celle d'un tube au néon. Cette scintillation sera enregistrée par sept photomultiplicateurs situés au-dessus du xénon. L'étude de la forme de l'impulsion enregistrée et la mesure de l'ionisation produite par le recul du noyau devraient permettre de distinguer un événement provoqué par une authentique particule de matière noire d'événements plus banals, tels une désintégration radioactive ou un rayon cosmique.

essentiellement des gaz rares à l'état liquide. Dans le xénon liquide, par exemple, la lumière est très intense et dure environ dix nanosecondes, de sorte qu'un photomultiplicateur peut l'amplifier jusqu'à des niveaux détectables.

Au début des années 1990, l'équipe que je dirigeais avec Hanguo Wang à l'Université de Californie, ainsi que celle de Pio Picchi à l'Université de Turin, ont développé des détecteurs à xénon dans le cadre du projet ZEPLIN. Ces instruments amplifient la lumière en introduisant une couche de gaz traversée par un champ électrique ; le champ accélère les électrons repoussés par le noyau lors de son recul, et ces électrons ionisant d'autres atomes du gaz créent une avalanche de particules plus aisément détectable. À terme, il devrait être possible de construire un détecteur à xénon liquide de dix tonnes, qui serait sensible aux neutralinos, même si leur probabilité d'interaction est très faible.