

Il n'est pas indispensable que le xénon soit liquide. Certains détecteurs l'utilisent à l'état gazeux. Bien qu'un gaz ait une densité plus faible qu'un liquide, il révèle plus facilement les traces laissées par le recul du noyau. La trajectoire indique le point d'entrée de la particule, ce qui permet d'identifier la région du ciel d'où elle est venue et de vérifier si le responsable est un neutralino galactique. Des détecteurs de ce type sont en cours de développement dans les laboratoires souterrains de Boulby, en Grande-Bretagne.

L'emploi du xénon est commode parce que cet élément ne possède pas d'isotope radioactif naturel à longue durée de vie (ce qui réduit le bruit de fond) et qu'on le trouve facilement dans l'atmosphère terrestre (après purification, c'est-à-dire élimination du krypton radioactif introduit dans l'air par les essais nucléaires). Toutefois, ce n'est pas le seul matériau capable de scintiller au passage de particules. Le détecteur italien DAMA utilise un autre matériau, l'iodure de sodium. Avec une masse de 100 kilogrammes, DAMA est, aujourd'hui, le plus grand détecteur du monde.

Un peu de discernement

Le second grand défi est l'atténuation du bruit de fond dû à la radioactivité naturelle et aux rayons cosmiques. On prend en général trois mesures pour y répondre. Tout d'abord, les physiciens filtrent les rayons cosmiques en enterrant profondément leurs détecteurs sous plusieurs centaines de mètres de roche, et en les enfermant

dans des boucliers spéciaux. Le dernier-né des détecteurs du programme CDMS, qui a commencé à fonctionner à la fin 2002, est situé dans la mine de Soudan, dans le Minnesota. L'expérience *Edelweiss*, est installée depuis 1994 sous le mont Fréjus, en France. Quant au DAMA, ses instruments sont installés sous le Gran Sasso, dans le Parc national des monts de la Laga, près de Rome. La seconde mesure consiste à purifier le matériau du détecteur afin de réduire au maximum les signaux provoqués par la désintégration des noyaux radioactifs tapis au sein même du détecteur.

Toutefois, ces deux premières mesures ne suffisent pas à éliminer le bruit et la nouvelle génération de détecteurs utilise également des techniques de discrimination des événements afin de discerner les particules de matière noire des particules ordinaires. On peut, par exemple, mettre en évidence une variation annuelle du signal reçu. En effet, le flux de matière noire dans l'hémisphère Nord devrait être plus important l'été, lorsque le mouvement orbital de la Terre s'ajoute au mouvement du Système solaire à travers la galaxie, et moins important pendant l'hiver, quand le mouvement de la Terre va à l'encontre de celui du Système solaire (voir la figure 3). L'amplitude de cette oscillation annuelle du signal pourrait atteindre quelques pour cent.

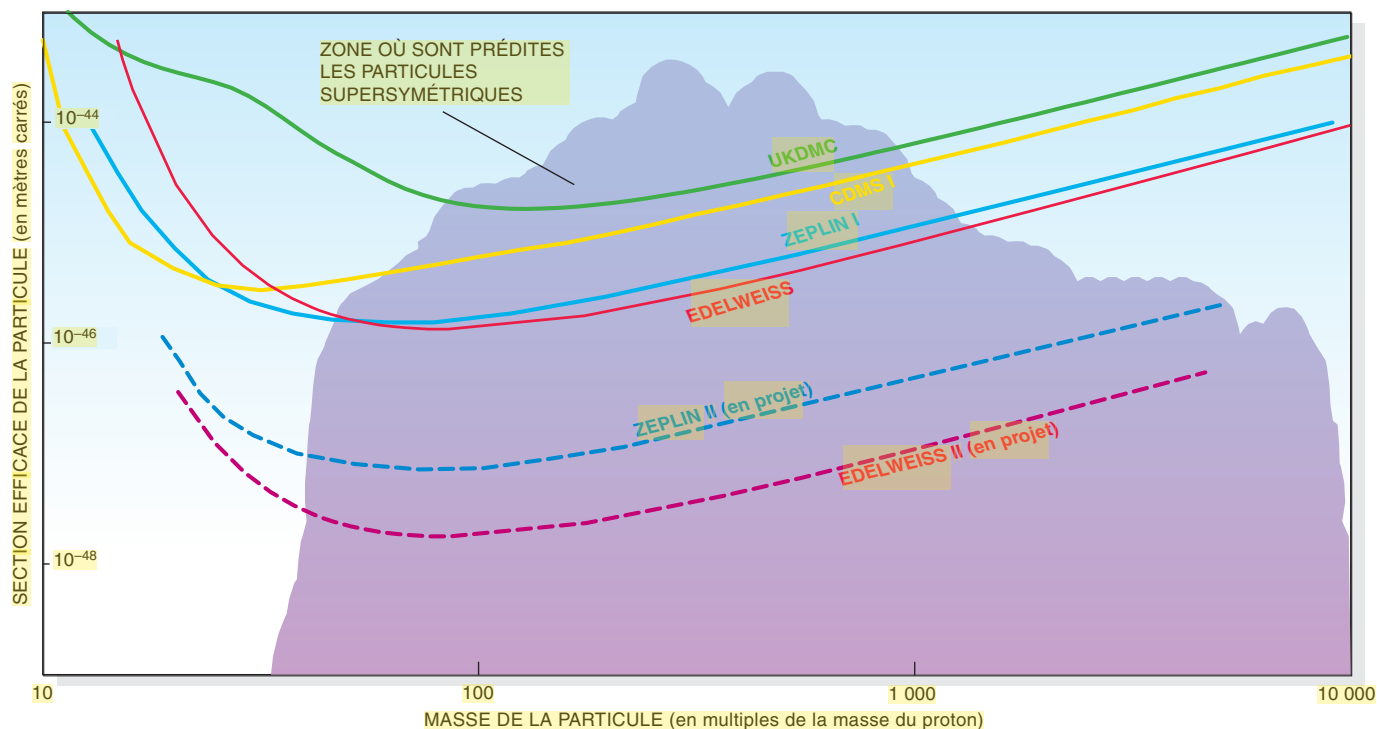
Par ailleurs, les projets les plus avancés ajoutent au détecteur principal une ligne de détection secondaire construite sur un principe différent et qui réagit de manière distincte à des types de particules distincts. Ainsi, par exemple, les particules ordinaires (qui constituent le bruit

L'état de l'art de la chasse à la matière noire

PROJET	LOCALISATION	DATE DE MISE EN ROUTE	DÉTECTEUR PRIMAIRE	MATÉRIAU CONSTITUANT LE DÉTECTEUR PRIMAIRE	MASSE (en kilogrammes)	MÉTHODE DE DISCRIMINATION
UKDMC	Boulby, Grande-Bretagne	1997	SCINTILLATION	IODURE DE SODIUM	5	AUCUNE
DAMA	Gran Sasso, Italie	1998	SCINTILLATION	IODURE DE SODIUM	100	AUCUNE
<i>Rosebud</i>	Rosebud	1998	CRYOGÉNIQUE	OXYDE DE BISMUTH ET DE GERMANIUM	0,02	THERMIQUE, SCINTILLATION
PICASSO	Sudbury, Canada	2000	GOUTTES LIQUIDES	FRÉON	0,001	AUCUNE
SIMPLE	Rustrel, France	2001	GOUTTES LIQUIDES	FRÉON	0,001	AUCUNE
DRIFT	Boulby, Grande-Bretagne	2001	IONISATION	XÉNON (GAZEUX)	0,003	TRAJECTOIRE
<i>Edelweiss</i>	Fréjus, France	1994	CRYOGÉNIQUE	GERMANIUM	1,3	IONISATION, THERMIQUE
ZEPLIN I	Boulby, Grande-Bretagne	2001	SCINTILLATION	XÉNON (LIQUIDE)	5	ÉVOLUTION TEMPORELLE
CDMS II	Soudan, Minnesota, USA	2003	CRYOGÉNIQUE	SILICE ET GERMANIUM	10	IONISATION, THERMIQUE
ZEPLIN II	Boulby, Grande-Bretagne	2003	SCINTILLATION	XÉNON (LIQUIDE)	30	IONISATION
CRESST II	Gran Sasso, Italie	2004	CRYOGÉNIQUE	OXYDE DE CALCIUM ET TUNGSTÈNE	10	SCINTILLATION
<i>Edelweiss II</i>	Fréjus, France	2004	CRYOGÉNIQUE	GERMANIUM	30	IONISATION, THERMIQUE

6. LES PROGRAMMES DE DÉTECTION en fonctionnement ou en projet (en gris, en bas) utilisent différentes techniques pour détecter l'énergie déposée dans la matière ordinaire lorsqu'une particule de matière noire percute un noyau atomique. Certains instruments enregistrent les impulsions lumineuses émises par les atomes excités lors du recul du noyau (scintillation). D'autres mesurent la très faible élévation de température qui s'ensuit (méthode thermique dans les détecteurs cryogéniques). Les systèmes à gouttes liquides sont maintenus en état de

surfusion et visent à observer le passage du liquide à l'état gazeux sous l'effet de la très faible perturbation induite par la matière noire. Les détecteurs modernes disposent également de méthodes de discrimination grâce auxquelles ils éliminent les événements provoqués par des rayons cosmiques ordinaires. Ils peuvent, par exemple, étudier l'évolution du signal au cours de l'année, la direction d'où proviennent les particules ou comparer leur signature thermique à l'ionisation ou à la scintillation qu'elles induisent dans la matière.



7. LA SENSIBILITÉ des détecteurs ne cesse de s'améliorer. Cette sensibilité varie avec la masse de la particule recherchée : la plupart des détecteurs ont une sensibilité maximale pour des particules ayant une masse comprise entre 50 et 100 fois celle du proton. Au-delà de cette masse, plus une particule est lourde, plus elle doit avoir une section efficace (la probabilité d'interaction avec un noyau du détecteur, par

exemple) élevée pour pouvoir être décelée. On a représenté les courbes de sensibilité de différents projets : ces projets CDMS, ZEPLIN et *Edelweiss* sont déjà susceptibles d'explorer une portion notable du domaine (en mauve) où les théoriciens prédisent l'existence de particules supersymétriques. Dans les années qui viennent, les différentes expériences devraient couvrir presque tout cet éventail.

de fond) produisent plus d'ionisation que les particules de matière noire : en effet, elles ionisent la matière du détecteur lors de leur passage, puis lorsqu'elles mettent en mouvement le noyau qu'elles percutent (alors qu'un neutralino n'ionise le détecteur qu'indirectement, en interagissant avec un noyau). Ainsi, *Edelweiss* combine cette mesure d'ionisation à la méthode cryogénique, ce qui, permet dès à présent d'éliminer 99,9 pour cent du bruit de fond et de distinguer un simple photon gamma d'une particule de matière noire.

Pour le moment, aucune particule de matière noire n'a été observée. Il y a deux ans, les chercheurs du DAMA ont signalé la possible détection d'une particule 60 fois plus massive que le proton, mais le CDMS n'a pu la découvrir et les premières mesures d'*Edelweiss* indiquent avec un très haut niveau de confiance que cette particule n'existe pas (du moins, si elle existait, elle n'entrerait pas dans le cadre de la supersymétrie, ce que l'on considère comme très improbable). Toutefois, nous ne devrions pas attendre très longtemps avant que les prochaines générations de détecteurs ne tranchent la question et ne concluent à la présence ou à l'absence de neutralinos dans notre environnement. En effet, de nouveaux détecteurs seront bientôt mis en service au CDMS, et *Edelweiss* devrait voir sa sensibilité multipliée par 100 dans les prochaines années. L'ensemble de ces instruments permettra de couvrir l'essentiel du domaine théorique à l'intérieur duquel les physiciens des particules prédisent l'existence du neutralino (voir la figure 7).

Et si les détecteurs ne trouvent rien ? Il faudra en conclure que la supersymétrie ne permet pas de régler le problème de la matière noire et que la nature a prévu autre chose. Les théoriciens devront envisager d'autres

voies, même si cela leur répugne. Au contraire, si nous trouvons le neutralino, cela serait l'une des plus grandes découvertes du XXI^e siècle. La découverte de ce qui constitue un tiers de la masse de l'Univers (c'est-à-dire presque tout, sauf l'énergie sombre) serait une révélation spectaculaire qui aurait de multiples conséquences. Si les détecteurs peuvent repérer les particules de matière noire, les accélérateurs de particules, tel le grand collisionneur hadronique du CERN (le LHC), pourraient peut-être créer ces particules, c'est-à-dire fabriquer de la matière noire dans des conditions expérimentales contrôlées ! La confirmation de la supersymétrie impliquerait, par ailleurs, l'existence d'un grand nombre de particules nouvelles attendant d'être dévoilées et conforterait la théorie des supercordes d'où les physiciens ont tiré l'idée de supersymétrie. Finalement, le plus grand des mystères de l'astronomie moderne n'en serait plus un.

David CLINE est professeur de physique à l'Université de Los Angeles, et travaille au détecteur CDMS du CERN de Genève.

GERARD JUNGMAN, MARC KAMIONKOWSKI et KIM GRIEST, *Supersymmetric Dark Matter*, in *Physics Reports*, vol. 267, n° TK, pp. 195 – 373, 1996.

DAVID CLINE, *Sources and Detection of Dark Matter and Dark Energy in the Universe*, Springer, 2001.

Y. RAMACHERS, *WIMP Direct Detection Overview*, Invited review at NEUTRINO 2002, Munich, Allemagne 25 au 25 mai 2002.

MARC LACHIEZE-REY, *La masse cachée de l'Univers*, in *Pour la Science*, n° 300, octobre 2002.