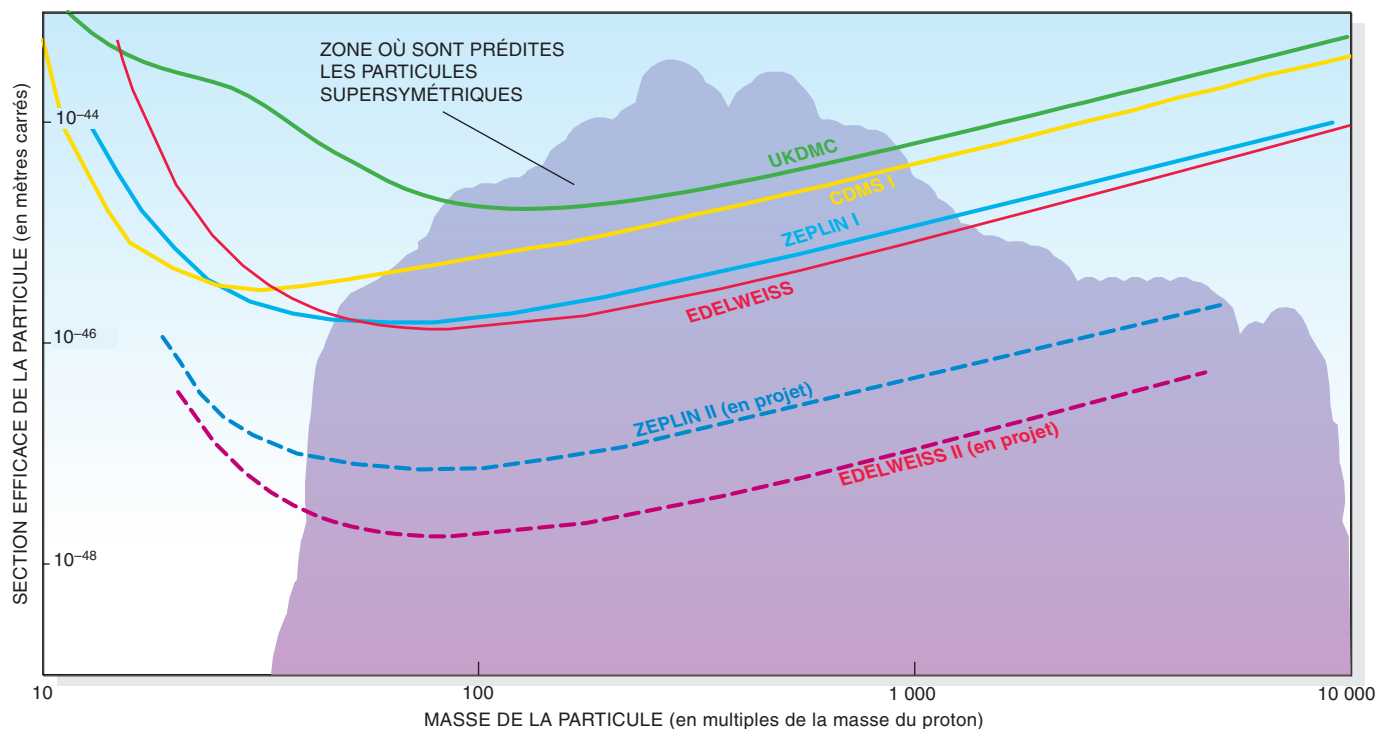




7. LA SENSIBILITÉ des détecteurs ne cesse de s'améliorer. Cette sensibilité varie avec la masse de la particule recherchée : la plupart des détecteurs ont une sensibilité maximale pour des particules ayant une masse comprise entre 50 et 100 fois celle du proton. Au-delà de cette masse, plus une particule 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.

L'embolie des arbres

PIERRE CRUIZIAT • HERVÉ COCHARD • THIERRY AMÉGLIO

Les mécanismes de transport de l'eau dans les arbres en font des systèmes hydrauliques particulièrement bien adaptés à la sécheresse et au froid. Cependant, quand de l'air réussit à se glisser dans leurs « veines », la sève ne circule plus, et la survie de l'arbre est menacée.

En 1880, le botaniste allemand Edward Strasburger démontre en public que la montée de la sève est un processus essentiellement physique qui ne doit rien aux propriétés des cellules vivantes : pour les besoins de la démonstration, il coupe un chêne centenaire et l'immerge dans une solution de picrate qui tue les cellules. Pourtant, pendant des semaines, les feuilles restent vertes et le niveau de la solution diminue. Si elle orientait les recherches dans la bonne direction, cette expérience spectaculaire n'expliquait pas comment la sève parvient au faite des arbres parfois à plus de 100 mètres dans le cas des séquoias californiens, semblant « défier » les lois de la physique. Cette sève, dite « brute » ou xylémienne, est une solution très diluée, sauf pour certaines espèces vivant en milieu salé ou désertique. Une autre sève, dont il ne sera pas question ici, la sève élaborée, ou phloémienne, transporte, sous pression, dans des cellules vivantes, les sucres issus de la photosynthèse.

L'étude de l'« architecture hydraulique » des arbres – une expression due à Martin Zimmermann, alors directeur du Laboratoire d'études forestières de l'Université de Harvard – a tout récemment livré le secret du transport de la sève brute. La comparaison d'un arbre et de ses composants qui véhiculent l'eau des racines jusqu'aux feuilles avec un système hydraulique doté d'un générateur d'énergie, d'un système de contrôle, de réservoirs et de tuyaux a été féconde. Elle a permis d'élucider de nombreuses propriétés des végétaux vasculaires, notamment leurs capacités de résistance à la sécheresse et au froid. Cette étude a aussi précisé les connaissances que l'on a de la physiologie des arbres et d'un phénomène important pour leur croissance, voire pour leur survie : les embolies, dues aux bulles d'air qui se forment dans les éléments conducteurs de la sève et en perturbent la circulation. Aujourd'hui, on sait quantifier les caractéristiques hydrauliques de différentes essences et on peut les comparer. Enfin, ces études éclairent d'une façon nouvelle les relations entre le climat et la croissance des arbres.

Nous examinerons l'anatomie du système vasculaire d'un arbre et détaillerons les contraintes auxquelles il obéit pour assurer le transport de la sève. Puis, nous décrirons les mécanismes de l'embolie végétale, comment l'arbre y résiste et les conséquences de l'état hydrique sur sa croissance.

Pour les plantes vasculaires, et notamment pour les arbres, l'énergie nécessaire au transport de la sève brute

est fournie par le Soleil dont la chaleur vaporise l'eau liquide qui arrive dans les feuilles. La vapeur d'eau s'échappe par de petites ouvertures, nommées stomates, présentes à la surface des feuilles (voir la figure 2). Cette transpiration crée un gradient d'état de l'eau, on parle de potentiel hydrique entre les feuilles et le sol (ce potentiel est voisin du potentiel chimique créé par deux concentrations différentes d'un composé présent dans deux compartiments séparés par une membrane imperméable à ce composé). Durant la transpiration, le transport de l'eau à travers l'arbre est un processus passif constitué d'un flux en phase liquide – du sol vers les feuilles – et d'un flux en phase gazeuse – des feuilles vers l'atmosphère.

Dans les vaisseaux coule la sève

La transpiration foliaire dépend des conditions climatiques et de l'ouverture des stomates, qui jouent ainsi le rôle de régulateurs du système : par exemple, un fort ensoleillement, une faible humidité de l'air et un vent soutenu entraînent des transpirations notables quand les stomates sont ouverts. Un arbre isolé transpire quelques dizaines à quelques centaines de litres par jour. Les réservoirs du « système hydraulique » de l'arbre ont un rôle mineur vis-à-vis de la transpiration. Ils sont constitués par les cellules vivantes du végétal, qui se déshydratent ou se réhydratent en fonction des besoins.

Un arbre est un système de canalisations en série que parcourent des colonnes d'eau continues, des racines jusqu'aux feuilles. Par analogie, on compare le flux d'eau à travers un arbre à un courant électrique le long d'un circuit de résistances en série : dans chaque partie du circuit (le tronc, une branche...), le flux transpiratoire est quasiment égal à la différence de potentiel hydrique

1. LES ÉLÉMENTS CONDUCTEURS du bois acheminent la sève brute des racines aux feuilles. Ils sont de deux types, tous deux constitués de cellules mortes. Les conifères sont principalement dotés de trachéides (à gauche) : des cellules uniques, de quelques micromètres de diamètre et quelques millimètres de longueur, reliées par des perforations nommées ponctuations. Le bois des arbres feuillus (à droite) est composé de vaisseaux, c'est-à-dire d'empilements de plusieurs cellules vides dont les parois transversales ont disparu (sauf celles de l'extrémité des vaisseaux). Les vaisseaux mesurent entre 0,1 et 0,6 millimètre de diamètre et parfois plusieurs mètres de longueur.