

La plupart des astrophysiciens doutent de l'existence des antiétoiles, parce que la rencontre de particules de matière, provenant de l'espace interstellaire, et de ces antiétoiles engendrerait, lors des annihilations matière-antimatière, un flux considérable de rayons gamma. Des détecteurs en orbite ont bien observé des rayons gamma de basse énergie, résultant de l'annihilation de positons, au centre de notre Galaxie, mais les astrophysiciens ne croient pas que ces positons sont produits par une antiétoile, car une telle antiétoile serait une source intense et localisée de rayons gamma bien plus énergiques que ceux qui sont observés. Notre Galaxie n'abrite apparemment pas d'antiétoile, et notre amas local de galaxies ne contient vraisemblablement pas d'antigalaxie.



Georgia Delioffo

La section a montre le détecteur de rayonnement transitoire, une série de six feuilles en fibres de polyéthylène. Les positons et les électrons engendrent des rayons X en traversant les feuilles, tandis que les protons de même énergie produisent un signal beaucoup plus faible.

La section b représente le spectromètre magnétique, où un aimant supraconducteur dévie les rayons cosmiques. Les électrons sont déviés dans une direction, tandis que les protons et les positons sont déviés dans la direction opposée. Les protons et les positons peuvent être discernés parce que la trajectoire d'un positon se courbe beaucoup plus que celle d'un proton de même vitesse.

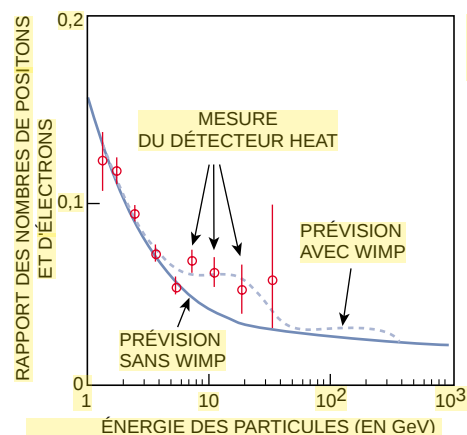
La section c montre le calorimètre électromagnétique, un empilement de feuilles de plastique et de minces couches de plomb. Quand les électrons et les positons heurtent les couches de plomb, ils produisent des gerbes de particules qui engendrent des impulsions lumineuses dans les feuilles de plastique. La plupart des protons traversent le détecteur sans modification.

Mais plus loin? L'Univers contient-il des antigalaxies isolées, très éloignées des galaxies? Au cours des dix dernières années, les astronomes ont effectué des recensements de galaxies jusqu'à un milliard d'années-lumière, mais ils n'ont pas trouvé d'antimatière cosmique : les amas de galaxies sont environnés d'immenses espaces vides. Si de grandes parties de l'Univers se composaient d'antimatière, les régions où matière et antimatière entreraient en contact auraient émis des quantités considérables de rayons gamma au début de l'Univers. Comme les astronomes n'ont pas détecté cette puissante lueur de fond, ils ont conclu que les antigalaxies, si elles existent, se trouvent hors de portée de nos télescopes ou, du moins, à plusieurs milliards d'années-lumière de nous.

De surcroît, la cosmologie moderne explique que l'Univers pourrait être composé quasi exclusivement de matière ordinaire. En raison d'une légère asymétrie des lois de la physique, la «violation CP», observée en laboratoire, le Big Bang aurait produit un léger excédent de matière : pour 30 milliards d'antiparticules créées, 30 milliards de particules plus une l'étaient. Un millionième de seconde après le Big Bang, particules et antiparticules ont commencé à s'annihiler, et il n'est finalement resté que la matière ordinaire. Ce léger excédent, qui correspond toutefois à un très grand nombre de particules, serait devenu l'Univers que nous connaissons.

Afin de tester cette théorie, des astrophysiciens recherchent les antiparticules lourdes. Certains croient à l'existence de vastes régions d'antimatière et ils supposent que des antinoyaux lourds, qui se déplaceraient presque à la vitesse de la lumière, pourraient nous parvenir. Dans les années 1960 et 1970, L. Alvarez et d'autres ont analysé des dizaines de milliers d'événements produits par des rayons cosmiques afin de déterminer si certains se composaient d'antiparticules lourdes. Des expériences plus récentes ont échantillonné des millions de rayons cosmiques. Malgré tous ces efforts, aucune antiparticule plus lourde que l'antiproton n'a été identifiée.

Ces résultats ne condamnent pas définitivement la théorie de l'antimatière cosmique : des antigalaxies lointaines pourraient émettre des antiparticules lourdes qui seraient bloquées par les champs magnétiques de



Laurie Grace

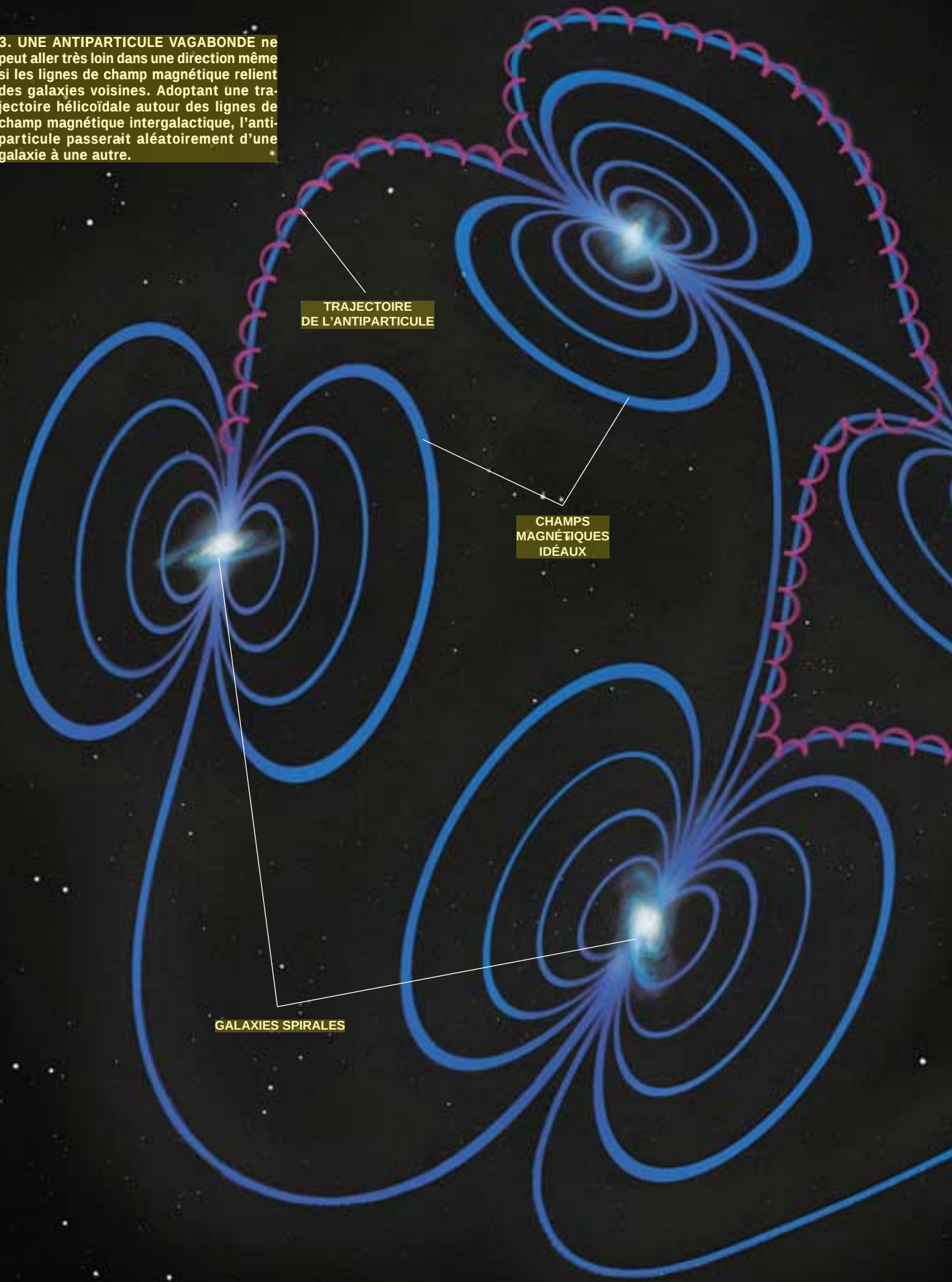
2. UN LÉGER EXCÉDENT de positons de haute énergie a été enregistré par le détecteur HEAT. Ces positons proviennent-ils de particules massives qui interagiraient peu, les WIMP?

l'espace intergalactique. Des mesures récentes du rayonnement synchrotron traversant des amas de galaxies ont montré que le champ magnétique au sein de tels amas est environ un million de fois moins puissant qu'à la surface de la Terre. Comme l'intensité de ces champs a probablement augmenté d'un facteur 1 000 pendant la formation des amas, les astrophysiciens supposent que le champ entre des galaxies très éloignées est un milliard de fois plus faible que le champ terrestre.

De tels champs ne dévierait même pas l'aiguille d'une boussole, mais ils pourraient dévier des antiparticules qui parcourraient les vastes distances de l'espace intergalactique : la trajectoire des antiparticules s'enroulerait en une hélice de quelques années-lumière de diamètre autour des lignes de champ magnétique. Comment les champs magnétiques sont-ils orientés dans l'espace intergalactique? Sont-ils cohérents, comme le champ d'un barreau aimanté ordinaire? Ou les lignes de champ sont-elles enchevêtrées? Dans cette deuxième hypothèse, les antiparticules ne pourraient s'aventurer très loin : elles rebondiraient aléatoirement entre les lignes de champ, tels des ivrognes à la sortie d'un bar. Là où une personne sobre met quelques heures à parcourir les dix kilomètres qui la séparent de son domicile, l'ivrogne, qui se déplace au hasard, mettrait plusieurs années.

En revanche, si le champ magnétique intergalactique est cohérent, les lignes de champ peuvent s'étendre entre les galaxies : les antiparticules seraient alors canalisées entre des galaxies voisines, sur des autoroutes

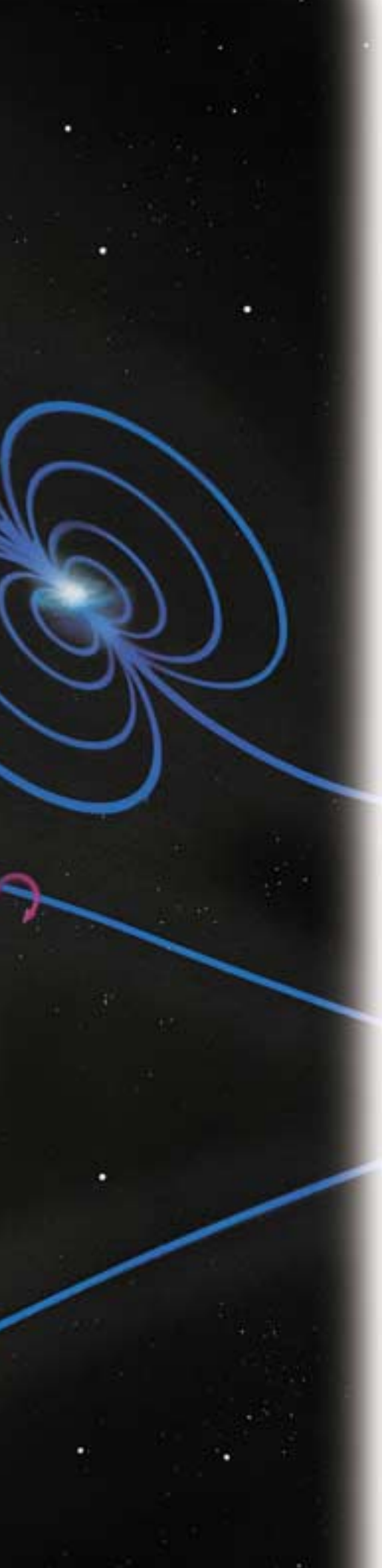
3. UNE ANTIPARTICULE VAGABONDE ne peut aller très loin dans une direction même si les lignes de champ magnétique relient des galaxies voisines. Adoptant une trajectoire hélicoïdale autour des lignes de champ magnétique intergalactique, l'antiparticule passerait aléatoirement d'une galaxie à une autre.



**TRAJECTOIRE
DE L'ANTIPARTICULE**

**CHAMPS
MAGNÉTIQUES
IDÉAUX**

GALAXIES SPIRALES



cosmiques longues de plusieurs millions d'années-lumière. Les antiparticules sauteraient ainsi de galaxie en galaxie, tout comme un ivrogne qui suivrait les pâtés de maison, choisissant les directions au hasard, aux croisements. Les antiparticules pourraient ne couvrir que quelques centaines de millions d'années-lumière à partir de leur source, même si elles voyageaient pendant un temps comparable à l'âge de l'Univers. Cette distance est bien plus courte que les milliards d'années-lumière nous séparant de l'antigalaxie la plus proche.

Même si, par hasard, une antiparticule approchait de notre Galaxie, rien n'indique qu'elle atteindrait la Terre : le champ magnétique de l'intérieur de la Galaxie, bien plus intense que le champ intergalactique, dévie la grande majorité des antiparticules incidentes ; l'ivrogne enfin arrivé chez lui ne trouve plus les clefs pour ouvrir la porte.

Les prochains vols

La recherche d'antiparticules lourdes dans notre Galaxie continue. Le Ministère américain de l'énergie finance aujourd'hui le projet d'envoi d'un détecteur d'antimatière dans un satellite. Le dispositif, nommé spectromètre magnétique alpha (AMS) cherchera principalement des antiprotons et des antineutrons. La NASA prévoit de tester le détecteur AMS à bord de la navette spatiale au cours de l'année 1998. Si tout se passe bien, le détecteur sera ensuite envoyé dans la station spatiale pour une durée de trois ans, à partir de 2002.

Sur une durée de fonctionnement aussi longue, AMS devrait avoir une sensibilité 100 fois supérieure à celle des précédents détecteurs d'antimatière. Saura-t-on toutefois distinguer les particules des antiparticules ? Pour identifier une antiparticule lourde parmi 100 millions de particules, un détecteur doit déterminer correctement la déviation de chaque particule dans un champ magnétique. Les instruments

les plus précis qui ont été embarqués dans des ballons font parfois plus de 15 mesures pour déterminer la déviation des particules rapides, mais le détecteur AMS n'en fera que six.

Un autre détecteur d'antimatière cosmique, PAMELA, doit également être lancé à Baïkonour, en l'an 2000. Plus complexe que AMS, il cherchera les positons, les antiprotons et les antineutrons lourds. En raison de sa petite taille, il collectera moins de rayons cosmiques, de sorte que sa recherche d'antiparticules lourdes risque de ne pas être assez minutieuse.

D'autres recherches d'antimatière cosmique par ballon sont prévues. Par exemple, nous construisons aujourd'hui une nouvelle version du détecteur HEAT afin d'observer les antiprotons de haute énergie, au cours de vols plus longs. En Antarctique, la NASA a testé des ballons de haute altitude qui ont volé jusqu'à 20 jours autour du pôle Sud, et l'équipe NASA des îles Wallops met au point des enveloppes de ballon allégées afin d'obtenir des vols qui dureraient jusqu'à 100 jours ; les vols d'essai de ces ballons auront lieu dans les prochains mois.

La recherche de l'antimatière cosmique bat son plein. Avec les premières expériences, les astrophysiciens voulaient prouver que matière et antimatière existent en quantités égales dans l'Univers, mais ils ont détecté une asymétrie de l'Univers. Puis les détecteurs d'antimatière ont trouvé très peu de positons et d'antiprotons dans les rayons cosmiques, et aucune antiparticule lourde. Les physiciens conservent l'espoir que des antiétoiles et des antigalaxies se cachent quelque part dans l'Univers, à des milliards d'années-lumière de notre Galaxie, mais les antiparticules lourdes de ces régions lointaines atteignent-elles la Terre ? L'enjeu de la quête est considérable : c'est l'identification de la nature de la matière sombre, qui semble composer les halos des galaxies.

Gregory TARLÉ et Simon SWORDY sont respectivement professeurs de physique à l'Université du Michigan et à l'Université de Chicago.

Edward W. KOLB et Michael S. TURNER, *The Early Universe*, Addison-Wesley, 1990.

James W. CRONIN, Thomas K. GAISER et Simon P. SWORDY, *Les rayons cosmiques*, in *Pour la Science*, mars 1997.

Fred C. ADAMS et al., *Constraints on the Intergalactic Transport of Cosmic Rays*, in *Astrophysical Journal*, vol. 491, pp. 6-12, 10 décembre 1997.