

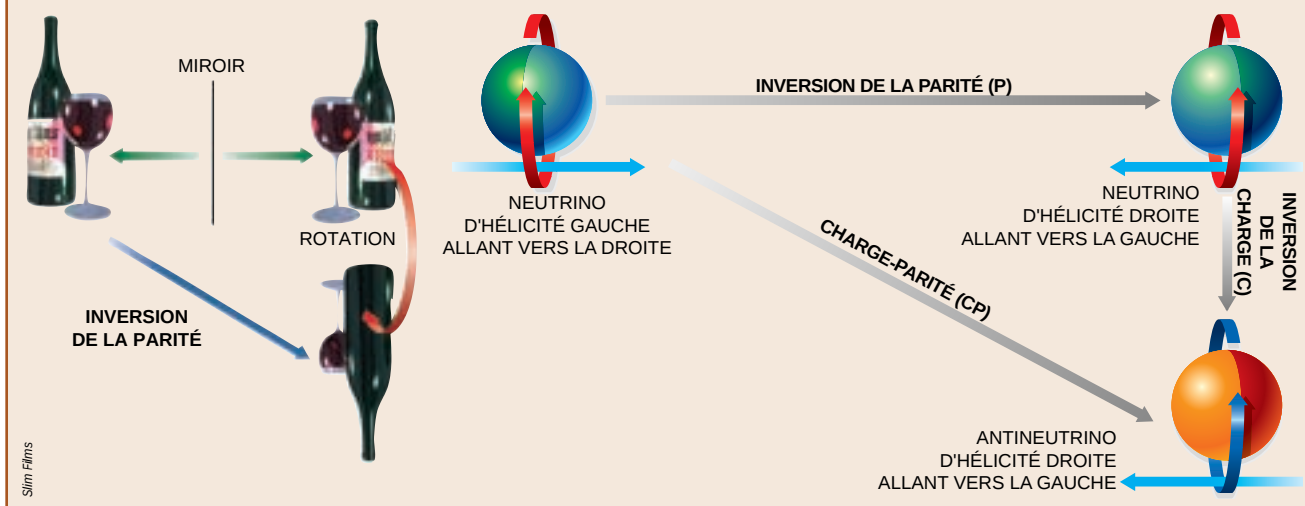
La conjugaison de charge et l'inversion de parité

L'étude des symétries est importante en physique. La conjugaison de charge (C) est l'opération qui inverse les signes des nombres quantiques, telle la charge électrique, et transforme ainsi une particule en son antiparticule. L'inversion de parité (P) correspond à une réflexion dans un miroir, puis à une rotation de 180 degrés autour d'un axe perpendiculaire au miroir. Cette opération inverse le sens de tous les vecteurs associés à un objet.

Les lois de la mécanique classique et de l'électromagnétisme

restent inchangées après chacune de ces deux opérations. Selon le Modèle standard de la physique quantique, l'interaction forte est également invariante. En revanche, l'interaction faible est modifiée par la conjugaison de charge ou par l'inversion de parité.

En 1964, des expériences ont montré que, contrairement à ce qui était admis, la combinaison des inversions de charge et de parité (symétrie CP) était violée. Les physiciens ont alors cherché pourquoi la nature est différente après une telle combinaison de symétries.



d'électrons ou de positrons à des énergies différentes, produirait un nombre élevé de collisions. Une telle machine, où le nombre de collisions serait élevé, a depuis reçu le nom d'usine asymétrique à mésons B.

En 1993, le ministère américain de l'Énergie et l'agence japonaise *Monbusho* ont approuvé deux projets de machines qui fabriqueraient environ 30 millions de paires de mésons B par an. Le projet américain, à Stanford, utilise le tunnel rectiligne qui existe déjà pour accélérer les électrons et les positons. Ces deux types de particules circuleront ensuite dans deux nouveaux anneaux, puis se heurteront en un point de croisement. La construction de cet accélérateur coûtera environ un milliard de francs. Le projet japonais, à Tsukuba, repose aussi sur l'emploi de tunnels existants : ceux qui abritaient autrefois le collisionneur *Tristan*.

Physiciens et ingénieurs mettent au point les détecteurs qui identifieront les rares désintégrations des mésons B liés à la symétrie CP. Ils utiliseront un détecteur au silicium du même type que ceux qui ont été utilisés pour la découverte du quark *top* (voir *La découverte du quark top*, par Tony Liss et Paul Tipton, *Pour la Science*, octobre 1997), qui permettra de mesurer la position

des particules avec une précision de 80 micromètres.

Le détecteur le plus interne de l'expérience américaine, nommé BABAR, sera placé au point de croisement des faisceaux d'électrons et de positons. Sa paroi interne, composée de silicium, formera un cylindre d'environ 30 centimètres de diamètre et de 60 centimètres de long. Les couches externes mesureront l'énergie, la vitesse et le pouvoir de pénétration de chaque particule créée. On reconstituera les événements originels à partir de ces mesures. Plus de 500 participants (dont nous-mêmes), provenant de 70 institutions de neuf nationalités différentes, construisent aujourd'hui ce détecteur et se partagent son coût de construction : 450 millions de francs (le réseau *World Wide Web*, utilisé par *Internet*, fut inventé au CERN pour faciliter les collaborations internationales de ce type).

L'expérience japonaise, nommée BELLE, est également une collaboration internationale. Ces deux usines à mésons B livreront probablement leurs premiers résultats dans les semaines à venir.

Les désintégrations de mésons B montreront sans doute d'autres types de violation CP, que le collisionneur et le détecteur de Cornell étudieront, une fois achevés les travaux en cours. Plusieurs expériences sur la physique des mésons B sont également menées dans divers accélérateurs de protons aux quatre coins du Globe ; ils fourniront des indices complémentaires sur la violation de la symétrie CP.

Ces usines à mésons B confirmeront-elles la validité du Modèle standard et aideront-elles à en déterminer les paramètres restants ? Ou bien réfuteront-elles ses prévisions ? Comprendrons-nous enfin pourquoi notre Univers est composé d'une majorité de matière ?

Helen QUINN travaille à l'Accélérateur linéaire de Stanford. Michael WITHELL est professeur à l'Université de Santa Barbara.

Richard FEYNMAN, *The Character*, MIT Press, 1965.

A. ZEE, *Fearful Symmetry : The Search*

for Beauty in Modern Physics, Macmillan Publishing, 1986.

Robert G. SACHS, *The Physics of Time Reversal*, University of Chicago Press, 1987.

Martin GARDNER, *The New Ambidextrous Universe : Symmetry and Asymmetry from Mirror Reflections to Superstrings*, W.H. Freeman and Company, 1990.

Derrière la Voie lactée

RENÉE KRAAN-KORTEWEG • OFER LAHAV

Près d'un cinquième de l'Univers échappe à l'observation, dissimulé par les étoiles et par les poussières de la Voie lactée. Depuis quelques années, les astronomes voient à travers cette matière.

1. LE DISQUE DE LA VOIE LACTÉE, sorte de crêpe cosmique contenant des étoiles, des poussières et du gaz, a une masse 100 milliards de fois supérieure à celle du Soleil. Ce disque nous cache un cinquième de l'Univers. Parmi les objets dissimulés, la galaxie sphéroïdale naine du Sagittaire, représentée ici vue de dessous (*figure principale*) et vue du dessus (*cartouche supérieur*) du plan de la Voie lactée (le dessus et le dessous étant respectivement l'hémisphère Nord galactique et l'hémisphère Sud galactique). Du Système solaire, la direction de la galaxie naine est presque totalement bloquée par le bulbe d'étoiles qui entoure le centre de notre Galaxie. Bien que la galaxie naine du Sagittaire soit la galaxie la plus proche de nous, elle n'a été découverte qu'il y a quatre ans. Une autre galaxie cachée, Dwingelloo 1, est représentée dans le cartouche.

BULBE GALACTIQUE

GALAXIE NAINES DU SAGITTAIRE



La nuit, à la campagne, une large bande lumineuse traverse le ciel : elle provient des centaines de milliards d'étoiles de notre Galaxie, la Voie lactée, ainsi que des grains de poussières interstellaires qui diffusent leur lumière. Nous sommes à environ 28 000 années-lumière du centre de la Galaxie, au milieu d'un de ses bras spiraux. Bien que superbe, la Voie lactée gêne les astronomes qui étudient l'Univers extragalactique : elle bloque la lumière en provenance de 20 pour cent du cosmos, une portion du ciel pourtant particulièrement intéressante.

En effet, quelque part derrière le disque se trouvent des parties importantes des deux plus grandes structures de l'espace proche : le superamas de galaxies des constellations de Persée et des Poissons, et le «Grand Attracteur», une gigantesque concentration de matière dont l'existence a été déduite des mouvements de milliers de galaxies à travers l'espace. Les observations révèlent également un nombre alléchant de galaxies brillantes et proches, dans la direction du disque ; beaucoup d'autres passent vraisemblablement inaperçues. Sans la connaissance de cet angle mort, l'inventaire de notre région de l'Univers ne peut être exhaustif et plusieurs questions fondamentales de la cosmologie demeurent ouvertes : quelles sont les dimensions des structures cosmiques, comment se sont-elles formées et quelle est la densité totale de matière dans l'Univers ?

Depuis quelques années, les astronomes disposent de techniques pour percer ce voile de lumière et de poussières, et pour reconstituer l'Univers caché à partir de ses effets sur les



parties visibles. Bien que l'étude soit fastidieuse, certaines découvertes spectaculaires ont déjà récompensé leurs efforts. Entre autres, les astronomes ont découvert une nouvelle galaxie, si proche que, si sa lumière n'était pas obscurcie par le disque, elle dominerait notre ciel. Ils ont découvert des amas de galaxies colossaux, et ils ont réussi à observer le cœur de l'insaisissable Grand Attracteur.

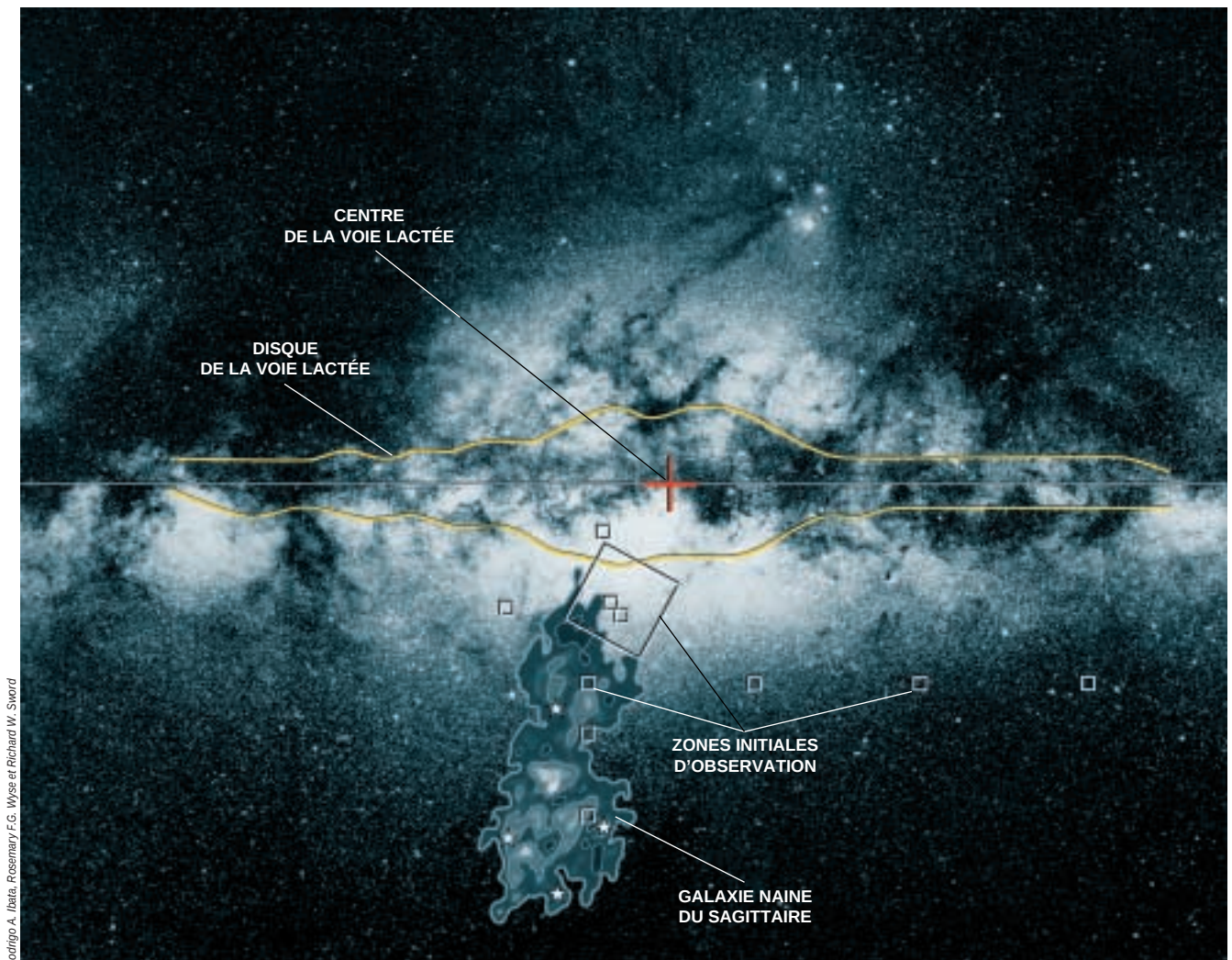
Dans les années 1920, les astronomes commencèrent à distinguer les galaxies extérieures à la Voie lactée (les nébuleuses de notre Galaxie (les nébuleuses sont des rassemblements de quelques milliers d'étoiles situées dans la Galaxie). Les galaxies étaient visibles dans toutes les régions du ciel, excepté dans la direction de la Voie lactée, qui fut ainsi nommée la zone d'exclusion (voir la figure 6). Aujourd'hui, les astronomes savent que les galaxies extérieures se composent de

milliards d'étoiles et d'innombrables nuages de gaz et de poussières. Dans la zone d'exclusion, la lumière des galaxies est invisible, noyée par la lumière des nombreuses étoiles de notre Galaxie ou absorbée par les poussières galactiques.

Les astronomes étudièrent d'abord peu la zone d'exclusion, se concentrant sur des régions non obscurcies du ciel. Puis, il y a 20 ans, une observation cruciale montra que l'astronomie ratait peut-être quelque chose. Des mesures du fond diffus cosmologique, un rayonnement issu d'un événement qui s'est déroulé peu après le Big Bang, révélaient une asymétrie dipolaire : ce rayonnement était environ 0,1 pour cent plus chaud que la moyenne dans une direction du ciel, et plus froid de la même proportion dans la direction opposée. Ces mesures, confirmées par le satellite COBE en 1989 et en 1990, indiquent que notre Galaxie et ses

voisines, le «Groupe local» de galaxies, se déplacent à une vitesse de 600 kilomètres par seconde dans la direction de la constellation de l'Hydre (le Groupe local de galaxies comporte une trentaine de galaxies, dont les principales sont la Voie lactée, Andromède et M33). Cette vitesse et sa direction sont obtenues après soustraction de tous les mouvements connus, tels la révolution du Soleil autour du centre galactique et le mouvement de notre Galaxie vers sa voisine, la galaxie spirale d'Andromède.

Pourquoi le Groupe local se déplace-t-il vers la constellation de l'Hydre? Les galaxies s'assemblent en groupes, réunis en amas qui, eux-mêmes, s'agglomèrent en superamas séparés par des régions dépourvues de galaxies. Si la matière est répartie irrégulièrement autour du Groupe local, elle peut exercer une attraction gravitationnelle dans une direction.



Rodrigo A. Ibata, Rosemary F.G. Wyse et Richard W. Smeed

2. DES GALAXIES CACHÉES apparaissent quand on analyse soigneusement les clichés astronomiques. Dwingeloo 1, d'abord détectée par un radiotélescope néerlandais, en 1994, est une galaxie

spirale visible comme un fond peu brillant dans la constellation de Cassiopée (page suivante). En revanche, la galaxie sphéroïdale naine du Sagittaire ne peut être distinguée directement : ses étoiles sont