

astronomes observent que ces comètes pénètrent dans le Système solaire interne en provenance de toutes les directions. En revanche, la théorie de Oort n'explique pas l'origine des comètes à courte période qui parcourent des orbites plus petites, faiblement inclinées par rapport au plan de l'orbite terrestre (le plan de l'écliptique).

La plupart des astronomes pensaient que les comètes à courte période étaient initialement des comètes à longue période dont les orbites auraient été raccourcies et aplaties par les perturbations gravitationnelles des planètes – principalement Jupiter. Cependant, tous les scientifiques ne souscrivaient pas à cette idée. Dès 1949, l'autodidacte irlandais Kenneth Essex Edgeworth écrit un article où il proposait l'existence d'une ceinture aplatie de comètes dans le Système solaire externe. Kuiper, dans son article de 1951, envisagea aussi cette ceinture de comètes, sans mentionner le travail antérieur d'Edgeworth.

Pour Kuiper, le disque du Système solaire ne s'arrêtait pas brusquement à l'orbite de Neptune ou de Pluton. Il imaginait au contraire une ceinture au-delà de ces planètes, constituée de matière résiduelle de la formation des planètes. La densité de matière devait y être si faible que de grosses planètes n'auraient pu s'y agglomérer, mais des objets plus petits, de la taille d'astéroïdes, pouvaient exister. Éloignés du Soleil, ces vestiges de matière primordiale conserveraient des températures superficielles basses ; ils pourraient donc se composer de glace et de gaz gelés, comme les noyaux des comètes.

La théorie de Kuiper resta méconnue jusqu'à ce que Paul Joss, de l'Institut de technologie du Massachusetts, calcule, dans les années 1970, que la faible probabilité de capture gravitationnelle par Jupiter n'était pas compatible avec le grand nombre de comètes à courte période observées. Comme personne ne put confirmer ses calculs, le nuage de Oort demeura la source admise de toutes les comètes, qu'elles soient à période longue ou courte, mais le doute était semé. En 1988, les Canadiens Martin Duncan, Thomas Quinn et Scott Tremaine utilisèrent des simulations numériques pour étudier comment les planètes gazeuses géantes captaient des comètes. Tout comme P. Joss, ils conclurent que le mécanisme de capture était

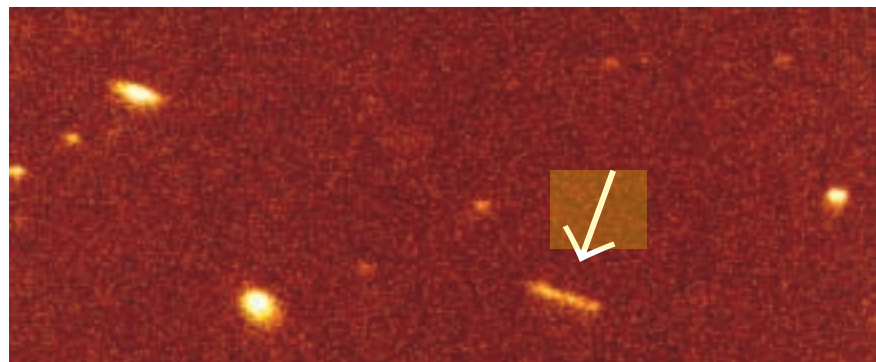
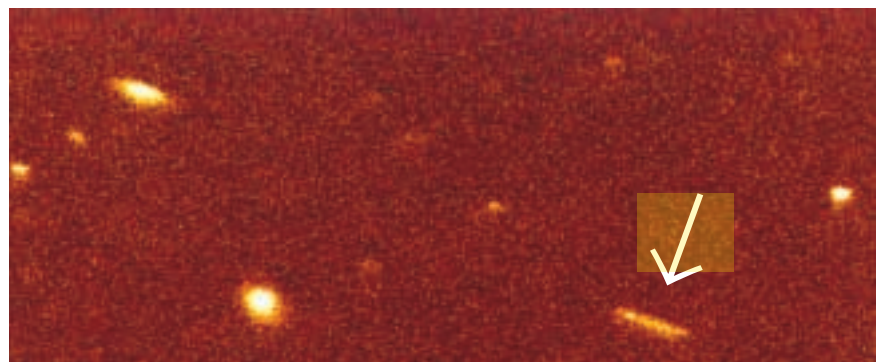
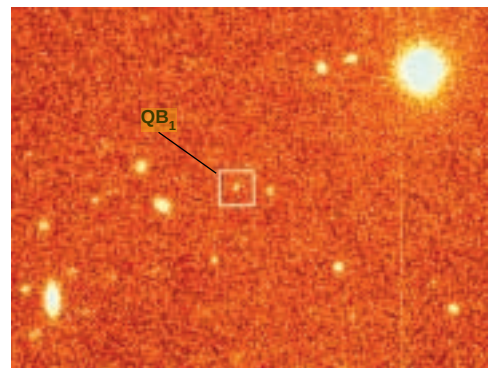
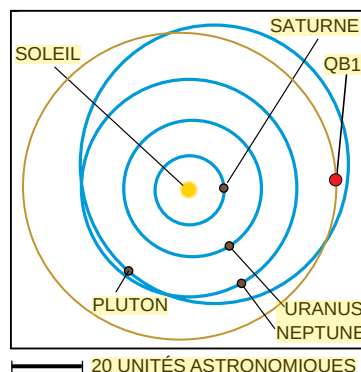
peu efficace. Leurs travaux montrèrent également que les rares comètes qui pouvaient être extraites du nuage de Oort par l'attraction gravitationnelle des planètes avaient des orbites très inclinées par rapport au plan de l'écliptique.

Pour ces astrophysiciens, les comètes à courte période ne provenaient pas du nuage de Oort, mais de la capture, par les planètes, d'objets présents dans un anneau situé dans le Système solaire externe ; les orbites de ces comètes à courte période étaient originellement peu inclinées par rapport à l'écliptique. Toutefois, pour que les calculs soient plus rapides, ils avaient multiplié les masses des planètes par 40. Cet artifice de calcul, qui

accroissait l'attraction gravitationnelle des planètes, fut critiqué par les astrophysiciens, qui doutèrent des résultats.

La récompense de l'observation

Dès 1987, nous avons commencé une campagne d'observations pour savoir si le Système solaire était réellement vide au-delà de l'orbite de Pluton ou s'il était peuplé de petits corps froids. Pour recueillir la faible lumière réfléchie par des astres aussi lointains, nous avons abandonné les classiques plaques photographiques et avons utilisé des détecteurs électroniques à transfert de charge (CCD), plus sensibles, installés sur un grand télescope.



4. DES IMAGES successives, prises en 1992 (au milieu et en bas), dévoilent, sur le fond des étoiles fixes, l'objet QB₁ qui appartient à la ceinture de Kuiper. Cette paire d'images ne couvre qu'une petite portion du champ complet (en haut, à droite) que les auteurs ont dû analyser avant d'identifier QB₁ (flèches) et de déterminer son orbite (en haut, à gauche).

Nous avons effectué la majeure partie de notre étude au télescope de 2,2 mètres de diamètre d'Hawaï, au sommet du Mauna Kea. À l'aide d'un détecteur CCD couplé à ce télescope, nous avons pris des séries de quatre images d'une région du ciel. Chaque image était exposée pendant 15 minutes, et un ordinateur affichait la séquence des quatre images en une succession rapide. Les objets qui se déplacent légèrement d'une image sur l'autre par rapport aux étoiles en

arrière-plan sont des membres du Système solaire.

Durant cinq ans, nous n'avons rien trouvé, mais nous avons eu tant d'occasions de perfectionner nos équipements et notre technique de clignotement que nous avons conservé notre enthousiasme initial (à défaut du financement). Mais, le 30 août 1992, alors que nous prenions la troisième image d'une séquence de quatre et que nous faisions défiler les deux premières images sur l'ordinateur, nous remarquâmes un

léger déplacement de la position d'une «étoile» faible entre les deux premières images! Le mouvement, quoique léger, semblait réel, et la comparaison des deux premières images avec la troisième nous confirma que nous avions trouvé quelque chose de peu ordinaire. Le mouvement lent à travers le ciel indiquait que l'objet découvert pouvait être au-delà de l'orbite de Pluton. Des mesures ultérieures confirmèrent que l'objet n'était pas un astéroïde qui se déplaçait parallèlement à la ligne de visée ; il s'agissait d'un corps situé au-delà de l'orbite de Pluton.

Les deux nuits suivantes, nous avons à nouveau observé cet objet étrange et obtenu des mesures précises de ses positions, de sa luminosité et de sa couleur. Ces données furent transmises à l'Union astronomique internationale, qui calcula que l'objet que nous avions découvert, nommé 1992 QB₁, tournait autour du Soleil à la distance considérable de 40 unités astronomiques. C'était à peine moins loin que ce que nous avions supposé.

QB₁ réfléchit une lumière plus rouge que la lumière qu'il reçoit du Soleil. Un seul autre objet du Système solaire possède une couleur semblable : c'est l'astéroïde 5145 Pholus, dont la couleur rouge provient probablement de matière sombre, riche en carbone. Nous avons été très intéressés, au cours des jours qui suivirent notre découverte, d'observer la similitude de 5145 Pholus et de QB₁. Ce dernier était-il seulement enveloppé d'une matière rouge, riche en composés organiques? Quelle était sa taille? Nos premières mesures indiquaient un diamètre de 200 à 250 kilomètres, soit environ 15 fois la dimension du noyau de la comète de Halley.

Même après la découverte de QB₁, quelques astronomes continuèrent à douter de l'existence d'objets dans le Système solaire externe, mais, en mars 1993, nous découvriâmes un deuxième objet, aussi éloigné du Soleil que QB₁. Ce nouveau corps se trouve à l'extrémité opposée du Système solaire. Au cours des trois dernières années, d'autres groupes d'astronomes ont participé à la quête et, à ce jour, la famille des objets transneptuniens de la ceinture de Kuiper compte 32 membres.

Les membres connus de la ceinture de Kuiper ont plusieurs caractéristiques communes. Par exemple, tous se situent au-delà de l'orbite de Neptune : le bord interne de la ceinture serait défini par cette planète. Tous ces nouveaux corps

La dynamique des petits corps

Aujourd'hui, en France, deux groupes de recherche sont particulièrement actifs dans l'étude de la ceinture de Kuiper : l'un au Bureau des longitudes à Paris et l'autre à l'Observatoire de la Côte-d'Azur.

Au Bureau des longitudes, François Colas, Pierre Drossart, Laurent Jorda et Jean Lecacheux envisagent plusieurs méthodes de détection de nouveaux objets. La première consiste à utiliser le télescope de 55 centimètres du pic du Midi, équipé de capteurs CCD. Ce télescope aura ainsi un champ de un degré carré et une magnitude limite de 23 (à titre de comparaison, les étoiles les plus faibles visibles à l'œil nu ont une magnitude de 5 ou 6). Bien que la magnitude limite soit modeste (le télescope spatial à une magnitude limite de 29 : il peut détecter des objets un million de fois plus faible), le champ de recherche couvert sera très grand et le temps d'observation alloué important. On peut donc espérer découvrir des classes d'objets intermédiaires entre Pluton et les corps de la ceinture de Kuiper actuellement connus. Cette équipe explore l'ensemble de la voûte céleste, sans se restreindre à l'écliptique, comme le font les autres observateurs. Le deuxième projet de recherche envisage d'utiliser l'équipement de la mission EROS 2 (à l'Observatoire européen austral du Chili) conçue pour la recherche des lentilles gravitationnelles en direction du centre galactique, pendant les deux à quatre semaines par an où le centre galactique n'est pas observable. Un troisième projet utilisera le télescope de 3,60 mètres de diamètre d'Hawaï, ce qui permettrait d'atteindre, pour un champ de un degré carré, une magnitude limite de 25 à 26. On détectera alors des objets 100 à 1 000 fois moins lumineux que ceux qui sont visibles dans le télescope du pic du Midi. Ce projet ambitieux devrait trouver de nombreux objets de la ceinture de Kuiper.

À l'Observatoire de la Côte-d'Azur, Fabrice Thomas, Michelle Moons et moi étudions mathématiquement l'évolution orbitale des objets de la ceinture de Kuiper. Nos premiers résultats donnent la structure dynamique de la ceinture ; dans la partie interne (moins de 42 unités astronomiques), les résonances avec Neptune sont les seules régions stables, alors que dans la partie externe, presque toutes les orbites sont stables, du moins à excentricité et inclinaison faibles. Ce résultat est en accord avec le fait que tous les objets découverts au-delà de Neptune et de demi-grand axe inférieur à 42 unités astronomiques se répartissent sans exception dans les résonances 4/3, 3/2 ou 5/4. Par ailleurs, tous les objets découverts au-delà de 42 unités astronomiques semblent ne pas être associés à une résonance spécifique. Aujourd'hui, nous étudions les régions de la ceinture de Kuiper d'où les objets peuvent s'échapper seulement au bout de quatre à cinq milliards d'années, réservoir probable des comètes à courte période : celles-ci ont dû s'échapper récemment de la ceinture de Kuiper (dans les derniers millions d'années écoulés) après s'y être formés quelques milliards d'années auparavant.

Alessandro MORBIDELLI,
Observatoire de la Côte-d'Azur