

de rupture possible. Enfin, évoquons la question de l'énergie. *Chandra*, par exemple, pèse cinq tonnes. C'est le plus gros satellite jamais envoyé par la navette spatiale. Pourtant, il ne consomme pas plus de puissance qu'une plaque électrique ! Les instruments embarqués doivent être conçus pour consommer peu et utiliser efficacement le peu d'énergie disponible. C'est une contrainte importante.

Pour la Science : À ces limites techniques, ne doit-on pas ajouter les contraintes théoriques ? Comment évaluer la distance des objets célestes sans repère absolu ? Comment tenir compte de l'expansion de l'Univers ?

Roland Lehoucq : Commençons par un problème très important, celui de l'évaluation de la distance. En astrophysique, tous les objets semblent disposés sur une sphère, la sphère céleste, et l'on n'a, *a priori*, aucune information sur leur distance. Quand on observe un point brillant, cela peut être une bougie toute proche ou une supernova extrêmement éloignée. Déterminer la distance permet de se faire une idée de la luminosité intrinsèque de l'objet observé, car une luminosité apparente faible n'est pas nécessairement synonyme d'éloignement. Les mesures effectuées par le satellite *Hipparcos* ont révolutionné la connaissance de notre univers proche. Ce satellite a directement mesuré la distance de près de 100 000 étoiles. Ces mesures ont révélé que 80 pour cent des distances d'étoiles que l'on avait évaluées auparavant présentaient des erreurs comprises entre 10 et 20 pour cent. Comme toutes les autres méthodes d'estimation des distances sont fondées sur la connaissance de celles des étoiles les plus proches, on comprend l'intérêt des mesures astrométriques d'*Hipparcos*, et de son successeur *Gaïa*, qui devrait observer 10 000 fois plus d'étoiles !

Parle-t-on d'éloignement spatial ou d'éloignement temporel ? En fait, les deux sont liés. Quand on reçoit un rayonnement lumineux, il a voyagé dans l'espace et conjointement dans le temps. De plus, comme l'Univers est en expansion, la lumière qui, au départ, était dans la gamme visible, arrive avec une longueur d'onde différente de celle qu'elle avait à l'émission : elle est décalée vers le rouge. Plus ce décalage (en anglais, *redshift*) est important, plus l'objet observé est éloigné. Ce paramètre nous permet d'ordonner les objets célestes dans le temps et dans l'espace. Pour en déduire une distance ou un temps de parcours de la lumière, il faut un modèle cosmologique décrivant l'évolution dynamique de l'Univers. Disposant d'un tel modèle et du décalage vers le rouge d'un objet particulier, on peut calculer séparément sa distance et le temps que sa lumière a mis pour nous parvenir. Selon le taux d'expansion de l'Univers, la lumière n'aura pas mis le même temps pour arriver et la distance de l'objet s'en trouvera modifiée : ainsi les distances calculées reposent sur le choix du modèle cosmologique, ce qui impose une limite théorique.

Pour la Science : La mesure des distances des étoiles est donc une limite qu'on devrait franchir. Mais comment évalue-t-on les distances des objets situés aux confins de l'Univers ?

Roland Lehoucq : Aujourd'hui, les objets les plus lointains observés ont un décalage vers le rouge voisin de dix. En fait, le décalage le plus lointain que l'on puisse observer, c'est celui du fond diffus cosmologique : il vaut 1 100. Nous l'avons évoqué, le fond diffus cosmologique est une lumière émise au moment où la matière de l'Univers est passée d'un état

Si certaines contraintes techniques seront levées, certaines limites théoriques persisteront, notamment le fait que l'astrophysicien observe l'Univers de l'intérieur et d'une position particulière.

de plasma à celui où les électrons et les noyaux se sont combinés pour former des atomes neutres. Dans un plasma, la lumière diffuse très facilement sur les électrons, qui sont séparés des noyaux. En revanche, dès que les électrons et les atomes ionisés se combinent, la lumière cesse quasiment d'interagir avec les électrons de la matière (à l'exception de quelques longueurs d'onde particulières). Le plasma, opaque à la lumière visible, devient matière neutre : elle est transparente. Toute la lumière émise au moment de la recombinaison (des électrons avec les atomes ionisés) a commencé à se propager dans toutes les directions de l'Univers, et nous parvient aujourd'hui après 13,7 milliards d'années d'expansion. À cause du décalage vers le rouge, on la reçoit sous forme d'un rayonnement micro-ondes, qui porte la trace de l'état de la matière au moment où l'Univers est devenu transparent. Le fond diffus cosmologique est une frontière absolue, au-delà de laquelle l'Univers est opaque. C'est une limite intrinsèque à l'observation de l'Univers dans le domaine des ondes électromagnétiques.

Ainsi, l'exploration de l'Univers est soumise à des contraintes techniques que l'on repousse progressivement. Elle est aussi soumise à des contraintes théoriques intrinsèques au modèle cosmologique, et l'on ne pourra jamais observer le rayonnement initial, au-delà du fond diffus cosmologique, du moins si l'on reste dans le domaine des ondes électromagnétiques. Une des solutions consistera sans doute à explorer l'Univers plus jeune avec des signaux différents des ondes électromagnétiques (mais cela ne sera guère facile). Enfin, contrairement au physicien qui observe de l'extérieur le système sur lequel il expérimente, l'astrophysicien observe de l'intérieur l'Univers qu'il étudie : situé au milieu d'une clairière, il ignore si les arbres qu'il observe ne représentent qu'un mince rideau d'arbres ou une épaisse forêt ! C'est une limite incontournable, inhérente à la position de l'homme dans l'Univers.

Roland LEHOUCQ est astrophysicien dans le Service d'astrophysique du Commissariat à l'énergie atomique, CEA, de Saclay.

Ce texte est un résumé d'une conférence que Roland Lehoucq a donnée au Palais de la Découverte. Le texte intégral de la conférence sera en ligne sur le site de France Culture (<http://www.radiofrance.fr/chaines/france-culture/sommaire/>) durant le mois d'août 2006.