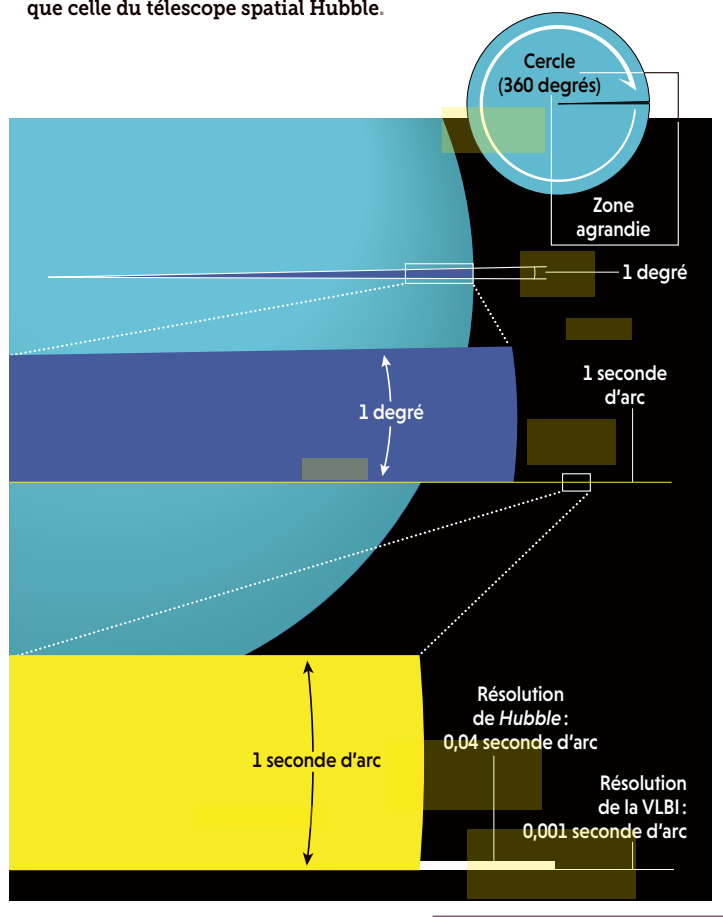


UN ŒIL DE LYNX TOURNÉ VERS LE CIEL

Pour mesurer la minuscule parallaxe d'étoiles très lointaines, se trouvant de l'autre côté de la Galaxie, les télescopes doivent avoir une résolution angulaire extrême. Cela n'est possible qu'en combinant les observations simultanées de plusieurs radiotélescopes à travers la planète. Cette illustration montre la performance de la technique VLBI (interférométrie à très longue base), dont la résolution est quarante fois meilleure que celle du télescope spatial Hubble.



> surtout présents dans les bras spiraux, laissaient penser que la Voie lactée avait quatre bras. Autre interrogation, les astronomes discutaient de la place du Soleil par rapport au centre de la Galaxie et à quelle distance il se trouve du plan du disque galactique.

Les premiers indices de l'existence de bras galactiques remontent à près de soixante-dix ans. Dans les années 1950, l'Américain William Morgan et ses collègues ont mesuré la distance d'environ 900 étoiles bleues et lumineuses. En positionnant ces astres sur une carte, ils ont fait apparaître trois segments de bras spiraux: le bras du Sagittaire, le bras local (ou bras d'Orion) et le bras de Persée. Peu après, Morgan et son équipe ont confirmé ce résultat en

utilisant cette fois les émissions électromagnétiques de nuages d'hydrogène neutre (une raie d'émission caractéristique à la longueur d'onde de 21 centimètres). Quand le gaz est en mouvement par rapport à la Terre, la longueur d'onde enregistrée se décale à cause de l'effet Doppler (vers des longueurs d'onde plus courtes si le gaz se rapproche ou plus grandes s'il s'éloigne). Les chercheurs ont ainsi mesuré la vitesse du gaz dans la Galaxie, fournissant des indices sur sa distribution.

Pour cartographier la Voie lactée, les astronomes utilisent un système de coordonnées adaptées ayant pour origine le Soleil: par analogie avec la longitude et la latitude sur Terre, on définit la longitude galactique (l) et la latitude galactique (b). La longitude galactique vaut zéro dans la direction du centre galactique et augmente suivant le plan de la Voie lactée tel qu'on le voit depuis l'hémisphère nord. La latitude galactique dénote l'angle par rapport au plan de la Galaxie.

En traçant des graphiques représentant la vitesse du gaz (hydrogène neutre, mais aussi monoxyde de carbone) en fonction de la longitude, Morgan et ses collègues ont obtenu des arcs continus. Ces derniers pouvaient être interprétés comme des bras spiraux. Cette approche, cependant, est confrontée à de nombreuses difficultés (ambiguïtés sur les distances et incertitudes assez élevées) qui ne permettent pas de préciser avec assurance la structure spirale de la Galaxie.

Pour observer les objets de la Galaxie, les astronomes sont confrontés à un obstacle: la présence de grandes quantités de poussières dans le milieu interstellaire. Ces poussières absorbent une part non négligeable de la lumière qui se propage dans la Voie lactée. Dès lors, dans à peu près toutes les directions où nous regardons, notre vue ne porte pas très loin dans le disque galactique. La taille de la Voie lactée présente un second obstacle. La lumière émise par des astres se trouvant de l'autre côté de la Galaxie met plus de 50 000 ans à nous parvenir. Du fait de ces distances, il est très difficile de déterminer quelles étoiles sont proches et lesquelles sont vraiment lointaines.

UNE GALAXIE POUSSIÉREUSE

Ces dernières années, de nouveaux télescopes spatiaux sensibles à la lumière visible et des radiotélescopes au sol sont entrés en fonction. Ils fournissent de nombreuses informations sur les questions qui nous intéressent. Par exemple, la mission *Gaia*, lancée en 2013, a pour objectif de mesurer avec précision la distance de plus d'un milliard d'étoiles dans la Galaxie. Ces données révolutionneront certainement nos connaissances sur les différentes populations stellaires présentes dans la Voie lactée. Mais parce que cet observatoire

spatial travaille dans la gamme optique, dont la lumière est absorbée par la poussière interstellaire, *Gaia* ne peut pas sonder facilement des bras galactiques lointains. Par chance, ces nuages de particules sont transparents pour les ondes radio. Ce qui fait de ces dernières un bon outil pour explorer l'intégralité du disque et en cartographier la structure.

Actuellement, il existe deux grands projets de cartographie de la Voie lactée qui utilisent la même technique d'astronomie radio: l'interférométrie à très longue base ou VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*). Le programme *Vera* (*VLBI exploration of radio astronomy*) implique quatre radiotélescopes japonais répartis sur tout l'archipel. *Bessel* (*Bar and Spiral Structure Legacy*) s'appuie sur les dix radiotélescopes du VLBA (distribués de Hawaï aux îles Vierges américaines dans les Caraïbes). Les télescopes de ces deux dispositifs sont séparés par des distances comparables au diamètre de la Terre. Dès lors, ces réseaux atteignent une résolution angulaire qui surpasse celle de n'importe quel autre télescope actuel, quelles que soient les longueurs d'onde considérées.

La mise en place technique de la VLBI est délicate. Les radiotélescopes du réseau doivent effectuer leurs observations simultanément et

télescope spatial Hubble présente une résolution de 0,04 seconde d'arc.

Grâce à la technique VLBI et la précision angulaire associée, nous calculons la distance d'étoiles lointaines en utilisant la méthode de la parallaxe. Cela consiste à observer un objet depuis deux positions différentes et à mesurer le déplacement apparent par rapport à un arrière-plan très lointain et considéré comme fixe. On peut reproduire cet effet avec son pouce, bras tendu, que l'on examine alternativement avec l'œil gauche puis l'œil droit. Nos yeux étant séparés de quelques centimètres, le pouce semble bouger d'un angle, la parallaxe, d'environ six degrés quand on ferme un œil puis l'autre. Si l'on connaît la distance qui sépare les deux points d'observation et que l'on mesure la parallaxe, on peut calculer la distance. Plus un objet est lointain, plus la parallaxe est faible, d'où la nécessité de faire appel à la VLBI pour les grandes distances au sein de la Voie lactée.

DES MASERS INTERSTELLAIRES

Pour cartographier les bras spiraux de la Galaxie, nous nous sommes intéressés à un type particulier d'étoiles jeunes et massives. Ces astres, à courte durée de vie, sont souvent associés aux régions des bras où la formation d'étoiles est intense. Par ailleurs, ils ont une température si élevée qu'ils ionisent le gaz environnant: ce dernier brille alors de la lumière bleue si caractéristique des bras spiraux que nous observons dans les galaxies lointaines. Mais de notre point de vue, plongés dans la Voie lactée, cette lumière bleue et ces étoiles sont difficiles à voir directement à cause de la poussière interstellaire.

La solution se trouve en périphérie de ces régions fortement ionisées: les molécules d'eau et de méthanol y sont excitées par la lumière de l'étoile et constituent alors de puissantes sources d'émission radio. Il s'agit en fait d'un phénomène naturel de «maser» dont le rayonnement est peu atténué par la poussière galactique. Le maser est l'équivalent en radio des lasers dans le domaine optique. Dans le contexte astrophysique, les émissions maser proviennent de nuages de gaz aussi vastes que le Système solaire et d'une masse comparable à Jupiter. Sur une image radio du ciel, ces régions forment des «points» très brillants, auxquels il est possible d'appliquer la méthode de la parallaxe pour déterminer leur distance.

Avec les projets *Bessel* et *Vera*, les astronomes ont calculé (à partir des masers et de la parallaxe) la distance de près de 200 jeunes étoiles chaudes à travers la Voie lactée. Ces résultats nous donnent un assez bon aperçu d'environ un tiers de la Galaxie et mettent en évidence la présence de quatre bras principaux. ➤



La Voie lactée serait dotée d'une barre centrale et de quatre bras spiraux



synchroniser les données recueillies grâce aux meilleures horloges atomiques. Les chercheurs centralisent ensuite ces informations sur un ordinateur qui doit calculer des corrélations croisées de tous les signaux. Après une phase de calibration importante, le résultat est une image numérique de ce que l'on pourrait voir si nos yeux étaient séparés l'un de l'autre par une distance supérieure à 12 000 kilomètres (le diamètre terrestre). On atteint ainsi une résolution angulaire incroyable, meilleure que 0,001 seconde d'arc (il y a 3 600 secondes d'arc dans 1 degré et l'ensemble de la sphère céleste fait 360 degrés). Par comparaison, l'œil humain est capable de distinguer des éléments séparés au mieux de 40 secondes d'arc, et le