

Les inattendus de l'astronomie

ANDRÉ BRAHIC

Excepté les étoiles à neutrons et les trous noirs, aucun objet cosmique n'était prévu. Uranie, muse pudique, dévoile avec parcimonie ses attraits.

Le monde céleste est peuplé d'êtres extraordinaires d'une diversité difficile à imaginer *a priori* : des quasars consommant de formidables quantités d'énergie, des pulsars émettant des rayonnements avec la régularité des meilleures horloges, des galaxies aux proportions fabuleuses, des étoiles de diverses tailles et de divers types, des mondes sans retour comme les trous noirs.

UNE DIVERSITÉ EXPLICABLE

Le grand «inattendu» est que nous avons les moyens de comprendre cette diversité : chaque fois que nous avons découvert une nouvelle loi de la physique, nous avons trouvé un astre où elle s'appliquait ; sans cette loi, nous n'aurions pas compris la nature de cet astre. Ainsi les physiciens ont découvert les masers au laboratoire avant de les observer dans le ciel. Dans le silence des laboratoires, les scientifiques découvrent des principes qui s'appliquent à des milliards d'années-lumière.

Il y a 2 600 ans, les Grecs pensaient autrement : ils élaboraient une physique propre à la Terre, être à part. Pour eux, en revanche, le ciel était le monde des dieux, qui ne pouvait être que le siège de mouvements «parfaits» ; donc les astres tourment, pensaient les Grecs, selon des trajectoires circulaires avec un mouvement uniforme. Aujourd'hui les physiciens pensent que les lois physiques sont universelles, et ils le vérifient : la loi de la gravitation de Newton est vérifiée au moins sur un dixième de l'Univers. Sur les neuf dixièmes restants, c'est une extrapolation.

Au fur et à mesure des progrès de la physique et des mathématiques, de nouveaux êtres sont apparus : au début de ce siècle, en 1900, nous ne connaissions que les étoiles – les galaxies n'étaient pas identifiées à l'époque – et les planètes.

En 1880, le bilan a été fait dans les merveilleux ouvrages de Camille Flammarion. Si Flammarion était encore parmi nous, et j'aimerais bien qu'il y soit parce qu'il avait un talent extraordinaire, il diffuserait avec passion les dernières nouvelles, et nous apprécierions mieux combien notre connaissance du monde s'est enrichie.

LA PROSPECTIVE N'A AUCUN FUTUR...

Les découvertes en science ne sont pas une succession de hasards. La vision d'un monde magique dont des savants en longues robes déchiffrent quelques mystères n'est que trop répandue. Si les découvertes ne résultaient que de hasards, notre vision serait celle d'un monde chaotique à l'orchestration incompréhensible. Les recherches scientifiques sont dirigées par des idées *a priori*.

La science avancerait-elle alors selon des rails bien tracés ? Non plus. Je vous engage à lire les rapports de prospective des organismes de recherche du monde entier. Vous y découvrirez en gros ce qui ne s'est pas passé. La prospective n'a pas un futur prometteur en science.

Par nature, les découvertes sont bien difficiles à prévoir. L'astronome a des surprises aussi intenses que celles de Christophe Colomb découvrant «des Indes» très différentes de celles qu'il avait imaginées. Des Amériques, ils s'en découvrent tous les ans, aussi inattendues, aussi imprévisibles.

J'ai eu le bonheur d'être un des scientifiques associés à la mission *Voyager* qui a exploré Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune : avant chaque rencontre avec une planète, nous faisons des paris sur ce que nous allons voir, et tout le monde perdait. Si vous voulez savoir à quoi ne ressemblent pas les paysages et les

planètes, feuillotez les ouvrages de science-fiction des années 1880 à 1950.

LE DIRIGISME EST PEU PRODUCTIF

Comme la prospective est difficile, le dirigisme, son corollaire, est inadéquat. Si vous voulez guérir le cancer ou le SIDA, ce n'est pas uniquement en créant un programme de recherches contre le cancer ou contre le SIDA que vous y parviendrez : les faits importants jaillissent sans cesse de directions inattendues.

À quoi sert l'astronomie ? J'ai la faiblesse de penser que c'est une activité culturelle essentielle. Mais, en dehors de cet aspect, et comme toutes les sciences, les progrès en astronomie ont des retombées économiques. Les astronomes ont mis au point des programmes de calcul des formes à partir d'observations à deux dimensions. Ainsi ils reconstituent le ciel sur la base de visées à deux dimensions. Quand les physiciens ont inventé le scanner avec lequel il faut représenter l'intérieur du corps à trois dimensions à partir de mesures d'absorption par tranches, ils ont utilisé les programmes des astronomes. Le fâcheux est que le brevet est maintenant américain : quand on achète un scanner en France, on paie des redevances qui auraient pu rester dans notre escarcelle.

Autre exemple, l'optique adaptative : les astronomes ont su s'affranchir des déformations optiques dues à l'atmosphère. Quand nous regardons un astre, nous le voyons à travers une espèce de rideau atmosphérique. L'étoile, dont l'image devrait être un point, est une «patate». En faisant l'opération inverse sur les photographies du ciel, opération qui nous fait repasser de la «patate» au point, nous éliminons les perturbations atmosphériques. Un Français, François Roddier, a mis au point cette technique... aux États-Unis. En France, l'effort a été moindre. L'optique adaptative a des prolongements en chirurgie oculaire pour les examens où il faut effacer les défauts des lentilles de l'œil.

HIÉRARCHIE ET FRAGMENTATION

Toutefois, le plus passionnant en astrophysique, reste l'astrophysique. Parce qu'elle pose les questions importantes sur l'existence de l'Univers. A-t-il commencé un jour ? Quand ? Est-il éternel ? Est-il limité ? D'où venons-nous ? Où allons-nous ? Qui sommes-nous ? Il n'est guère de sujet plus prenant ! Nous avons, pour la première fois dans l'histoire, des ébauches de réponses aux questions précédentes.

Deux aspects inattendus de l'évolution de l'Univers restent inexpliqués : son organisation hiérarchique et la fragmentation d'un milieu *a priori* homogène en objets individuels.

L'Univers est organisé de façon hiérarchique dont les premiers éléments sont les étoiles ; 80 pour cent de ces étoiles vivent en couples. Puis il y a des amas d'étoiles, et ces amas d'étoiles

sont réunis en galaxies. La galaxie est à l'astronome ce que la molécule est au chimiste, l'élément de base ; elle comprend des étoiles, de la poussière, du gaz, des particules de haute énergie. Notre Galaxie, la Voie lactée, comprend une centaine de milliards d'étoiles ; des galaxies comme la nôtre, il en existe quelques centaines de milliards...

Les galaxies sont regroupées dans des amas de galaxies. Dans notre petit amas local, nous avons une trentaine de galaxies voisines, les plus proches étant les nuages de Magellan et la galaxie d'Andromède. Ensuite, il y a des amas d'amas, et peut-être des amas d'amas d'amas. Jusqu'où ira-t-on ? Chaque fois que l'on passe d'un niveau de la hiérarchie au niveau supérieur, la densité de



Jean-Loup Charmet

1. CAMILLE FLAMMARION (1842-1925), popularisateur et visionnaire, n'avait, pour stimuler son imagination cosmique, que les observations de l'époque. Il rendit compte d'une rarissime aurore boréale à Paris, en 1868, et représenta un monde désolé avec quatre soleils et quatre lunes. Pas plus que les éminents prospectivistes actuels, Flammarion n'a pu imaginer les êtres cosmiques que les astronomes allaient découvrir avec les nouveaux moyens d'observation.



matière diminue; donc, si la hiérarchie se poursuivait indéfiniment, la densité de l'Univers serait quasi nulle. Cela est important, car, selon la valeur de sa densité, l'Univers est en expansion indéfinie ou, au contraire, retombe sur lui-même.

Le Soleil a une densité de l'ordre de l'unité, mais, si l'on considère cette masse dans le volume du Système solaire, la densité correspondante est très faible. La densité de la galaxie est encore inférieure, car les étoiles sont distantes. Et ainsi de suite. Pour savoir ce que devient la densité à l'infini, il faut faire un inventaire qui n'est pas terminé.

La fragmentation est le second inattendu inexplicable : à partir d'un univers homogène au moment du Big Bang, comment se fait-il que des entités -étoiles, galaxies, amas- se soient constituées? Comment ces objets de masse très particulière se sont-ils isolés? Grand mystère. Toutes les galaxies ont des masses du même ordre de grandeur ; il faut donc savoir comment ces objets se sont individualisés.

L'ÉVOLUTION DES ÊTRES STELLAIRES

Un autre sujet d'étonnement est la variabilité du monde céleste. Les étoiles, comme chacun de nous, pauvres hères, naissent, vivent et meurent. Tout évolue dans l'Univers. Évidemment, pas beaucoup à l'échelle humaine, mais, en regardant finement, les astronomes savent rendre compte de cette évolution. Ce n'est qu'à la fin des années 1930 et au milieu des années 1940 que l'on a compris pourquoi les étoiles brillaient et pourquoi elles évoluaient en épuisant leur combustible.

La durée de vie d'une étoile dépend de sa masse. Une étoile massive, par exemple dix fois la masse du Soleil, vit bien ; elle fait la fête tous les jours, elle est très lumineuse, elle rayonne beaucoup, mais ne dure pas longtemps. À l'inverse, une petite étoile, par exemple un dixième de la masse solaire, fait des économies, ne dépense pas beaucoup, n'émet pas beaucoup d'énergie, vit tristement, mais longtemps. Ces scénarios n'expliquent toutefois pas la répartition actuelle des masses des étoiles ni la fragmentation initiale. Nous sommes limités au constat de l'évolution.

Ce constat n'allait pas de soi : avant 1644, avant Descartes, le dogme était la fixité d'un monde créé par un dieu. Dans le ciel, seuls les nuages évoluaient. Dogme fort, car les contradicteurs, comme Giordano Bruno, finissaient sur le bûcher. Newton aurait pu imaginer une évolution du monde en raison de l'attraction des masses, mais, conservateur prudent,

n'osa pas franchir le pas. 1644 est la date clef. Descartes écrit que le Système solaire a dû être formé à un moment donné et évoluer. Pendant presque deux siècles, deux écoles anglaise et française se sont combattues.

L'école anglaise disait : le Système solaire a été formé par une catastrophe. Une étoile s'est approchée du Soleil, a arraché de la matière qui a constitué les planètes. La probabilité qu'une étoile passe près d'une autre dans la Galaxie est extrêmement faible, l'événement doit se produire une fois tous les 7 à 8 milliards d'années. Cela signifiait que le Système solaire est unique. Conclusion : nous sommes unique(s)!

Les Français, derrière Laplace, raisonnaient différemment : quand une étoile se forme, argumentaient-ils, la périphérie de l'étoile est un milieu plus froid où se forment les planètes. Pour une fois, les Français auront raison : pas de catastrophisme, une évolution banale, et donc nous ne sommes pas uniques : il doit y avoir des planètes autour d'autres étoiles.

Bien plus tard, une autre polémique a opposé les écoles soviétique et américaine : les Américains soutenaient qu'une planète se forme par la contraction d'une protoplanète géante ; les Soviétiques affirmaient qu'elle se constitue par accumulation de corps plus petits. La suite a donné raison aux Soviétiques : une planète se forme par agglomération de planétoïdes, de petits objets de 500 mètres de dimension en moyenne. Quand le choc de deux planétoïdes est violent, les objets se cassent et redonnent de la poussière. Quand le choc est doux, les objets fusionnent. De cette succession de divorces et de mariages sont nées les planètes du Système solaire. Là encore, selon ce raisonnement, il doit exister des planètes hors du Système solaire.

La difficulté est que l'on ne peut expérimenter. L'astronome ne peut casser la Terre en deux, tordre le plan de la Galaxie, ni augmenter la température du Soleil. Heureusement l'exploration spatiale supplée, dans une certaine mesure, à nos manques. Grâce à elle, nous voyons des objets qui sont plus gros que la Terre, d'autres plus petits, d'autres plus chauds, d'autres plus froids, certains plus denses, d'autres moins denses. Cette variation des paramètres physiques, impossible à reproduire en laboratoire, existe naturellement dans la variété des objets observés.

Ainsi le volcanisme n'est pas spécifique de la Terre, et l'on peut mesurer les paramètres sur les autres planètes pour mieux comprendre les mécanismes qui le régissent. Autre exemple, la climatologie. On sait mal modéliser les échanges océan-atmosphère et l'effet de la rotation

rapide de la Terre sur le climat. Sur Vénus, il n'y a pas d'océan, et la rotation de l'astre est lente. En étudiant Vénus, on isole les paramètres importants sur Terre.

Ce n'est pas en restant le nez au niveau des marguerites qu'on comprend les problèmes : relevons la tête, la diversité des objets de l'Univers est la richesse de demain.

Un progrès qui a été à la source de découvertes inattendues est l'observation à d'autres longueurs d'onde que le visible. Le rayonnement électromagnétique couvre un large spectre, et les informations captées dans chaque domaine de longueur d'onde sont d'égale importance. Mais nous n'avions que nos yeux pour voir, et les observations se sont, pendant des siècles, cantonnées au visible. L'histoire de notre reconstitution de l'Univers ressemble au monde perçu par un enfant qui, à la naissance, serait affublé de lunettes vertes. Il n'aurait vu que les feuilles et n'aurait pas imaginé que les arbres ont un tronc. Imaginez sa joie quand, débarrassé de ses lunettes, il verrait le bleu, le rouge, le marron, découvrirait que les feuilles s'accrochent aux branches, qu'il existe des voitures rouges.

LES QUASARS

Les astronomes ont vécu cet émerveillement au cours des 20 dernières années : ils ont découvert l'Univers en rayons X, en rayons gamma, en ultraviolets, en infrarouges et vu que le visible ne rend compte que d'une partie de l'Univers. Les quasars ont été découverts par un tel élargissement de notre champ de vision.

Nombre de techniques mises en œuvre en astronomie sont des retombées des recherches militaires. Les astronomes sont de grands récupérateurs de matériel de guerre : la lunette astronomique de Galilée en est le premier exemple. De même, les Anglais, durant la Seconde Guerre mondiale, avaient remarqué que les radars chargés de détecter les avions de la *Luftwaffe* étaient troublés quand on les pointait en direction du Soleil : le Soleil est un émetteur radio.

Les astronomes ont récupéré les radars militaires et ont cartographié les sources radio de l'Univers. Certaines sources sont très violentes, très brillantes, très puissantes, mais la technique de résolution des radiosources n'était pas bonne et leur localisation imprécise. Un jour, une de ces sources est occultée par la Lune, dont on connaît la position à 14 décimales près, et l'on obtient ainsi sa position. À cet endroit, on trouve une petite source visible, de magnitude 14, et ce que les