



Crédit Photo : Ananasby Lorand Fenyes/RMG/DR

Qu'est-ce que l'astronomie?

Astronomie L'astronomie est la science de l'observation des astres, cherchant à expliquer leur origine, leur évolution, ainsi que leurs propriétés physiques et chimiques. Avec plus de 7 000 ans d'Histoire, les origines de l'astronomie remontent au-delà de l'Antiquité dans les pratiques religieuses préhistoriques. L'astronomie est l'une des rares sciences où les amateurs jouent encore un rôle actif. Elle est pratiquée à titre de loisir par un large public d'astronomes amateurs. Histoire de l'astronomie L'astronomie est considérée comme la plus ancienne des sciences¹. L'archéologie révèle en effet que certaines civilisations disparues de l'Âge du bronze, et peut-être du Néolithique, avaient déjà des connaissances en astronomie. Elles avaient compris le caractère périodique des équinoxes et sans doute leur relation avec le cycle des saisons, elles savaient également reconnaître certaines constellations. L'astronomie moderne doit son développement à celui des mathématiques depuis l'antiquité grecque et à l'invention d'instruments d'observation à la fin du Moyen Âge. Si l'astronomie s'est pratiquée pendant plusieurs siècles parallèlement à l'astrologie, le siècle des Lumières et la redécouverte de la pensée grecque a vu naître la distinction entre la raison et la foi, si bien que l'astrologie n'est plus pratiquée par les astronomes. Antiquité À ses débuts, l'astronomie consiste simplement en l'observation et en la prédiction du mouvement des objets célestes visibles à l'oeil nu. Néanmoins nous devons à ces différentes civilisations de nombreux apports et découvertes : Dans la Haute Antiquité Préalables : Inutile de préciser que

toutes les observations se faisaient à l'oeil nu puisque les anciens étaient aidés dans cette tâche par l'absence de pollution industrielle et surtout lumineuse. C'est pour cette raison que la plupart des observations à l'antique seraient impossibles aujourd'hui. Les dessins de la Grotte de Lascaux sont en étude, on a pensé que les dessins servaient d'emplacements de constellations. Il ne faut pas s'y tromper, ces observations, parfois relativement simples en apparence (simple dessin de quatre ou cinq astres), supposent déjà une haute avancée dans la civilisation, à savoir l'existence d'un ensemble regroupant au minimum : une écriture ou tout au moins de son ébauche, (une proto-écriture regroupant conjointement un ensemble de signes représentant les principaux objets et évènements) et un « système » comprenant une cosmogonie, une cosmologie, une carte du ciel connu sans oublier un calendrier (parfois très développé) et un observatoire, celui-ci souvent rudimentaire. Sans ces préalables, il ne saurait exister d'observation astronomique enregistrable. Durant des millénaires, l'astronomie fut couramment associée à l'astrologie, qui en était d'ailleurs souvent le *primum movens*. Le divorce n'interviendra qu'au siècle des Lumières pour se perpétuer de nos jours. Les systèmes les mieux connus sinon les plus développés sont : Au Néolithique : tous les grands cercles mégalithiques sont en fait des observatoires astronomiques, citons les plus connus : Nabta Playa vieux de 6 000 à 6 500 ans et Stonehenge (Wiltshire, Angleterre) 1 000 ans plus tard. Flammarion, qui le comprit l'un des premiers, parlera au sujet des cercles mégalithiques de « monuments à vocation astronomique » et d'« observatoires de pierre ».

Aux débuts de l'Histoire dans l'ancien monde : -L'astronomie indienne et chinoise : le Rig-Veda mentionne 27 constellations associées au mouvement du Soleil ainsi que les 13 divisions zodiacales du ciel. -L'astronomie sumérienne, et ses dérivées les astronomies chaldéenne, mésopotamienne, égyptienne et hébraïque. Si bien que la Bible contient un certain nombre d'énoncés au sujet de la position de la Terre dans l'Univers et sur la nature des étoiles et des planètes. -Dans le nouveau monde, les astronomies amérindiennes sont aussi déjà très développées notamment la Toltèque, la Zapotèque (assez proche) et la Maya tout à fait originale. Ainsi, sans aucun instrument optique, l'astronomie maya avait réussi à décrire avec précision les phases et éclipses de Vénus ! -En Mésopotamie, l'astronomie voit apparaître ses premiers fondements mathématiques. Le repérage des trajets des astres errants se fait d'abord sur 3 voies parallèles à l'équateur. Puis, après les premières observations systématiques de la fin du 2^e millénaire (~ -1200), les trajets du Soleil et de la Lune sont mieux connus. Vers le viii^e siècle av. J.-C. apparaît la notion d'écliptique et plus tard encore une première forme de zodiaque à 12 parties égales (dans le temps, pas encore dans l'espace). Vers le milieu du 1^{er} millénaire on voit ainsi cohabiter un repérage en 12 signes très pratiques pour les calculs de position des astres, et un repérage en constellations utilisé pour les interprétations de la divination astrale. On détermine seulement vers ce moment-là les périodes des cycles des planètes, apparaît aussi le découpage en 360° de l'écliptique. L'astronomie mésopotamienne est différenciée en général de l'astronomie grecque par son caractère arithmétique : contrairement à l'astronomie grecque, l'astronomie mésopotamienne est empirique. On ne cherche pas les causes des mouvements, on ne crée donc pas de modèles pour en rendre compte, les phénomènes ne sont pas perçus comme des apparences résultant d'un cosmos représentable géométriquement. Les astronomes mésopotamiens ont cependant le grand mérite d'avoir consigné soigneusement de nombreuses observations dès le viii^e siècle au moins. Ces observations seront très utiles aux astronomes grecs. Dans l'Antiquité classique et tardive Astronomie grecque. Les anciens Grecs, avec, entre autres, Ératosthène, Eudoxe de Cnide, Apollonius, et surtout Hipparque et Ptolémée, élaborent progressivement une théorie géocentrique très élaborée. Aristarque de Samos pose quant à lui les bases d'une théorie héliocentrique. En ce qui concerne le Système solaire, grâce à la théorie des épicycles et à l'élaboration de tables fondées sur cette théorie, il fut possible, dès l'époque

alexandrine, de calculer de manière assez précise les mouvements des astres, y compris les éclipses lunaires et solaires. Concernant l'astronomie stellaire, ils apportent d'importantes contributions, notamment la définition du système de magnitude. Ainsi, l'Almageste de Ptolémée (90 - 168) contient déjà une liste de quarante-huit constellations et 1 022 étoiles. Moyen Âge À cette époque, l'astronomie ne peut être étudiée sans l'apport d'autres sciences qui lui sont complémentaires et nécessaires : les mathématiques (géométrie, trigonométrie), ainsi que la philosophie. Elle sert au calcul du temps. Haut Moyen Âge -L'astronomie indienne aurait culminé vers 500, avec l'?'ryabha??ya, qui présente un système mathématique quasi-copernicien, dans lequel la Terre tourne sur son axe. Ce modèle considère le mouvement des planètes par rapport au Soleil. -Pour naviguer sur mer mais aussi dans le désert, les civilisations arabes avaient besoin de données très précises. Dérivée des astronomies indienne et grecque, l'astronomie arabe culminera vers le xe siècle. Il faut signaler le rôle de Boèce comme fondateur dès le vie siècle du quadrivium, qui inclut l'arithmétique, la géométrie, la musique et l'astronomie. Après les invasions barbares, l'astronomie se développe relativement peu en Occident. Elle est par contre florissante dans le monde musulman à partir du ix^e siècle : -l'astronome persan al-Farghani (805–880) écrit beaucoup sur le mouvement des corps célestes ; Il effectue une série d'observations qui lui permettent de calculer l'obliquité de l'écliptique ; -Al-Kindi (801–873), philosophe et scientifique encyclopédique, écrit 16 ouvrages d'astronomie ; -Al-Battani (855–923), astronome et mathématicien ; -Al-Hasib Al Misri (850–930), mathématicien égyptien ; -Al-Razi (864–930), scientifique persan ; -Al-Farabi (872–950) grand philosophe et scientifique. À la fin du xe siècle, un grand observatoire est construit près de Téhéran par l'astronome al-Khujandi. La philosophie (Platon et Aristote) fait partie intégrante, avec l'ensemble des autres sciences (médecine, géographie, mécanique, etc.) de ce grand mouvement de renaissance appelé âge d'or de la civilisation arabo-musulmane. Saint Bède le Vénérable au viii^e siècle développa en Occident les arts libéraux (trivium et quadrivium). Il établit les règles du comput pour le calcul des fêtes mobiles, et pour le calcul du temps, qui nécessitaient des éléments d'astronomie. D'autres éléments furent introduits en Occident par l'intermédiaire de Gerbert d'Aurillac (Sylvestre II) un peu avant l'an mille, avec la philosophie d'Aristote. Il est difficile de savoir exactement quels astronomes musulmans étaient connus de Gerbert d'Aurillac. Gerbert est important pour la compréhension du développement historique de l'ensemble du savoir occidental, qui incluait la philosophie. Bas Moyen Âge L'oeuvre d'Al-Farghani est traduite en latin au xi^e siècle, en même temps que bien d'autres traités arabes et que la philosophie d'Aristote. Article détaillé : Moyen Âge. Dans le monde musulman, on peut citer : -en Perse, Omar Khayyam (1048–1131), qui compile une série de tables astronomiques et réforme le calendrier ; -Ibn al-Haytham (965–1039), mathématicien et physicien arabo-islamique ; -Al-Biruni, (973–1048), mathématicien, astronome, encyclopédiste, etc. ; -Nasir ad-Din at-Tusi (1201–1274), philosophe, mathématicien, astronome et théologien (considéré comme l'un des fondateurs de la trigonométrie) ; -Al-Kashi (1380–1429), en Iran et Ouzbékistan actuels. On peut encore citer Al-Maghribi, Al-Sufi. Époque moderne Isaac Newton : Pendant la Renaissance, Copernic propose un modèle héliocentrique du Système solaire ayant de nombreux points communs avec la thèse de Nasir ad-Din at-Tusi, avec le De revolutionibus publié en 1543 après sa mort. Près d'un siècle plus tard, cette idée est défendue, étendue et corrigée par Galilée et Kepler. Galilée imagine une lunette astronomique, en s'inspirant des travaux du hollandais Hans Lippershey (dont la lunette ne grossissait que trois fois et déformait les objets), pour améliorer ses observations. S'appuyant sur des relevés d'observation très précis faits par le grand astronome Tycho Brahe, Kepler est le premier à imaginer un système de lois régissant les détails du mouvement des planètes autour du Soleil, mais n'est pas capable de formuler une théorie allant

au-delà de la simple description présentée dans ses lois. C'est Isaac Newton qui, en décrivant la gravitation par ses lois du mouvement permet finalement de donner une explication théorique au mouvement des planètes. Il invente aussi le télescope réflecteur, qui améliore les observations. Le passage du modèle géocentrique de Ptolémée au modèle héliocentrique avec Copernic / Galilée / Newton est décrit par le philosophe des sciences Thomas Samuel Kuhn comme une révolution scientifique².

Époque contemporaine On découvre que les étoiles sont des objets très lointains : l'étoile la plus proche du Système solaire, Proxima du Centaure, est à plus de quatre années-lumière. Avec l'introduction de la spectroscopie, on montre qu'elles sont similaires au soleil, mais dans une grande gamme de température, de masse et de taille. L'existence de notre Galaxie, en tant qu'ensemble distinct d'étoiles, n'est prouvée qu'au début du xx^e siècle du fait de l'existence d'autres galaxies. Peu après, on découvre l'expansion de l'univers, conséquence de la loi de Hubble, établissant une relation entre la vitesse d'éloignement des autres galaxies par rapport au Système solaire et leur distance. La cosmologie fait de grands progrès durant le xx^e siècle, notamment avec la théorie du Big Bang, largement supportée par l'astronomie et la physique, comme le rayonnement thermique cosmologique (ou rayonnement fossile), et les différentes théories de nucléosynthèse expliquant l'abondance des éléments chimiques et de leurs isotopes.

Dans les dernières décennies du xx^e siècle, l'apparition des radiotélescopes, de la radioastronomie, et des moyens de traitement informatique, autorise de nouveaux types d'expérimentations sur les corps célestes éloignés, par analyse spectroscopique des raies d'émission émises par les atomes et leurs différents isotopes lors des sauts quantiques, et transmis à travers l'espace par les ondes électromagnétiques. L'UNESCO décrète 2009 comme étant l'Année mondiale de l'astronomie.

Disciplines de l'astronomie Observations astronomiques et gravimétriques faites sur l'île de Cayenne en Guyane française par l'astronome français Jean Richer, d'après une gravure de Sébastien Leclerc. À son début, durant l'Antiquité, l'astronomie consiste principalement en l'astrométrie, c'est-à-dire la mesure de la position dans le ciel des étoiles et des planètes. Plus tard, des travaux de Kepler et de Newton naît la mécanique céleste qui permet la prévision mathématique des mouvements des corps célestes sous l'action de la gravitation, en particulier les objets du Système solaire. La plus grande partie du travail dans ces deux disciplines (l'astrométrie et la mécanique céleste), auparavant effectué à la main, est maintenant fortement automatisée grâce aux ordinateurs et aux capteurs CCD, au point que maintenant elles sont rarement considérées comme des disciplines distinctes. Dorénavant, le mouvement et la position des objets peuvent être rapidement connus, si bien que l'astronomie moderne est beaucoup plus concernée par l'observation et la compréhension de la nature physique des objets célestes. Depuis le xx^e siècle, l'astronomie professionnelle a tendance à se séparer en deux disciplines : astronomie d'observation et astrophysique théorique. Bien que la plupart des astronomes utilisent les deux dans leurs recherches, du fait des différents talents nécessaires, les astronomes professionnels tendent à se spécialiser dans l'un ou l'autre de ces domaines. L'astronomie d'observation est concernée principalement par l'acquisition de données, ce qui inclut la construction et la maintenance des instruments et le traitement des résultats. L'astrophysique théorique est principalement concernée par la recherche des implications observationnelles de différents modèles, c'est-à-dire qu'elle cherche à comprendre et à prédire les phénomènes observés. L'astrophysique est la branche de l'astronomie qui détermine les phénomènes physiques déduits par l'observation des astres. Actuellement, les astronomes ont tous une formation poussée en astrophysique et leurs observations sont presque toujours étudiées dans un contexte astrophysique. En revanche il existe un certain nombre de chercheurs et chercheuses qui étudient exclusivement l'astrophysique. Le travail des astrophysiciens est d'analyser des données d'observations astronomiques et d'en déduire des phénomènes physiques. Les domaines d'études de l'astronomie sont aussi classés en

deux autres catégories : Par sujet, généralement selon la région de l'espace (par exemple, l'astronomie galactique) ou le type de problème traité (formation des étoiles, cosmologie) Par le mode d'observation, selon le type de particules détectées (lumière, neutrino) ou la longueur d'onde (radio, lumière visible, infrarouge).

Disciplines par sujet

Astronomie solaire L'étoile la plus étudiée est le Soleil, une petite étoile typique de la séquence principale de type spectral G2V et vieille d'environ 4,6 milliards d'années. Le Soleil n'est pas considéré comme une étoile variable, mais il subit des changements périodiques de son activité, ce qui peut être vu grâce aux taches solaires. Ce cycle de fluctuation du nombre de taches dure 11 ans. Les taches solaires sont des régions plus froides que la normale qui sont associées à une activité magnétique intense³. La luminosité du Soleil a régulièrement augmenté au cours de sa vie. Aujourd'hui, il est en effet 40 % plus brillant qu'au moment où il est devenu une étoile de la séquence principale. Le Soleil a également subi des changements périodiques de luminosité ayant eu un impact significatif sur la Terre⁴. Par exemple, on soupçonne le minimum de Maunder d'être la cause du petit âge glaciaire survenu durant le Moyen Âge⁵. Au centre du Soleil se trouve le cœur. Une zone où la température et la pression sont suffisantes pour permettre la fusion nucléaire. Au-dessus du noyau se trouve la zone de radiations, où le plasma transporte les flux d'énergie au moyen de radiations. La couche recouvrant la zone de radiations forme la zone de convection où l'énergie est conduite vers la photosphère grâce à la convection, autrement dit, les déplacements physiques du gaz. On croit que cette zone de convection est à l'origine de l'activité magnétique qui génère les taches³. La surface extérieure du Soleil est appelée la photosphère. Juste au-dessus de cette couche se trouve une mince région appelée la chromosphère. Ensuite, nous avons la couronne solaire. Le vent solaire, un flux de plasma constitué essentiellement de particules chargées, « souffle » constamment à partir du Soleil jusqu'à l'héliopause. Le vent solaire interagit avec la magnétosphère terrestre de la Terre pour créer les ceintures de Van Allen⁶. Les aurores polaires sont également une conséquence de ce vent solaire.

Planétologie Ce domaine de l'astronomie s'intéresse à l'ensemble des planètes, des lunes, des planètes naines, des comètes, des astéroïdes, et des autres corps orbitant autour du soleil ; ainsi qu'aux exoplanètes. Le Système solaire a été relativement bien étudié, d'abord à l'aide de télescopes puis aux moyens de sondes. Cela a fourni une bonne compréhension globale de la formation et de l'évolution de ce système planétaire, bien qu'un grand nombre de découvertes soient encore à accomplir⁷. Le Système solaire est subdivisé en cinq parties : le Soleil, les planètes internes, la ceinture d'astéroïdes, les planètes externes et le nuage d'Oort. Les planètes internes sont toutes telluriques, il s'agit de Mercure, Vénus, la Terre, et Mars. Les planètes externes, des géantes gazeuses, sont Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune⁸. Derrière Neptune se trouve la ceinture de Kuiper, et finalement, le nuage d'Oort, qui s'étend probablement sur une année-lumière. Les planètes ont été formées par un disque protoplanétaire qui entourait le Soleil lorsqu'il venait de se former. Grâce à un processus combinant attraction gravitationnelle, collision, et accrétion, le disque forma des amalgames de matières qui allaient devenir, avec le temps, des protoplanètes. À ce moment-là, la pression de radiation du vent solaire a expulsé la majorité de la matière qui ne s'était pas assemblée, et seules les planètes munies d'une masse suffisante purent retenir leur atmosphère gazeuse. Les planètes ont continué d'éjecter la matière restante durant une période d'intense bombardement météoritique, comme en témoigne les nombreux cratères trouvés, entre autres, sur la Lune. Durant cette période, quelques protoplanètes ont pu entrer en collision, et selon l'hypothèse majeure, c'est ainsi que la Lune fut formée⁹. Une fois qu'une planète atteint une masse suffisante, les matériaux de différentes densités commencent à se séparer entre eux, c'est la différenciation planétaire. Ce processus peut former un noyau rocheux ou métallique, entouré par un manteau et une croûte. Le cœur peut inclure des régions solides et liquides, et dans certains cas, il peut générer son propre champ

magnétique, qui protège la planète et son atmosphère des attaques du vent solaire¹⁰.

Astronomie stellaire

La nébuleuse planétaire de la Fourmi. Les éjections de gaz de l'étoile centrale mourante montrent des lobes symétriques, à l'inverse des figures chaotiques des explosions ordinaires. L'étude des étoiles et de l'évolution stellaire est fondamentale pour notre compréhension de l'univers. L'astrophysique des étoiles a été déterminée grâce à l'observation et à la compréhension théorique ainsi que par des simulations informatiques. Une étoile se forme dans des régions denses de poussières et de gaz, connues sous le nom de nuages moléculaires géants. Lorsqu'ils sont déstabilisés, les fragments peuvent s'effondrer sous l'influence de la gravité pour former une protoétoile. Une région suffisamment dense et chaude provoquera une fusion nucléaire, créant ainsi une étoile de la séquence principale¹¹. Presque tous les éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium ont été créés dans le noyau des étoiles. Les caractéristiques de l'étoile résultant dépendent d'abord de sa masse de départ. Plus l'étoile est massive, plus sa luminosité est importante et plus elle videra le stock d'hydrogène présent dans son noyau rapidement. Au fil du temps, cette réserve est entièrement convertie en hélium, et l'étoile commence alors à évoluer. La fusion de l'hélium requiert une plus grande température dans le noyau, de cette façon, l'étoile s'agrandit et son noyau se densifie en même temps. Devenue une géante rouge, notre étoile consume alors son hélium. Cette phase est relativement courte. Les étoiles très massives peuvent aussi subir une série de phases rétrécissantes, où la fusion se poursuit en éléments de plus en plus lourds. Le destin final de l'étoile dépend de sa masse: les étoiles, qui sont plus de 8 fois plus massives que le soleil peut s'effondrer en supernova; alors que les étoiles plus légères forment des nébuleuses planétaires et évoluent en naines blanches. Ce qui reste d'une très grosse étoile est une étoile à neutrons, ou dans certains cas un trou noir¹². Les étoiles binaires proches peuvent suivre des chemins plus complexes dans leur évolution, comme un transfert de masse par le compagnon d'une naine blanche pouvant causer une supernova. Les phases finales de la vie des étoiles, y compris les nébuleuses planétaires et les supernovas, sont nécessaires à la distribution de métaux dans le milieu interstellaire; sans cela, toutes les nouvelles étoiles (leur système planétaire y compris) seraient uniquement formées à partir d'hydrogène et d'hélium.

Astronomie galactique

Le Système solaire orbite au sein de la Voie lactée, une galaxie spirale barrée qui est un membre important du Groupe local. C'est une masse tournante formée de gaz, d'étoiles et d'autres objets maintenus ensemble par une attraction gravitationnelle mutuelle. Étant donné que la Terre est située dans un bras extérieur poussiéreux, il y a une grande partie de la Voie lactée que l'on ne peut pas voir. Au centre de la Voie lactée se trouve le noyau, un bulbe de forme étirée qui d'après de nombreux astronomes abriterait un trou noir supermassif en son centre gravitationnel. Celui-ci est entouré de quatre bras spiraux majeurs démarrant du noyau. C'est une région active de la galaxie qui contient beaucoup d'étoiles jeunes appartenant à la population II. Le disque est entouré par un halo sphéroïdal d'étoiles plus vieilles de population I, ainsi que par une concentration relativement dense d'amas globulaires^{13,14}. Entre les étoiles se trouve le milieu interstellaire, une région de matière éparpillée. Dans les régions les plus denses, des nuages moléculaires formés principalement d'hydrogène moléculaire contribuent à la formation de nouvelles étoiles. Cela commence avec des nébuleuses sombres qui se densifient puis s'effondrent (en un volume déterminé par la longueur de Jeans) pour former des protoétoiles compactes¹⁵. Quand des étoiles plus massives apparaissent, elles transforment le nuage en une région HII de gaz et de plasma lumineux. Le vent stellaire et les explosions de supernova servent finalement à disperser le nuage, laissant souvent derrière lui un ou plusieurs amas ouverts. Ces amas se dispersent graduellement et les étoiles rejoignent la population de la Voie lactée. Les études cinématiques de la matière présente dans la Voie lactée ont démontré qu'il y a plus de masse qu'il n'y paraît. Un halo de matière noire semble dominer la masse, bien que la nature de cette matière noire reste

indéterminée¹⁶. **Astronomie extra-galactique** Effet de lentille gravitationnelle produit par l'amas de galaxies (centre de l'image). Le champ gravitationnel de cet amas courbe la lumière émise par les objets plus lointains, et ceux-ci apparaissent déformés (objets bleus). L'étude des objets situés en dehors de notre galaxie est une branche de l'astronomie concernée par la formation et l'évolution des galaxies ; leur morphologie et classification ; l'examen des galaxies actives ; ainsi que par les groupes et amas de galaxies. Ces derniers sont importants pour la compréhension des structures à grande échelle de l'univers. La plupart des galaxies sont organisées en formes distinctes, ce qui permet d'établir un schéma de classification. Elles sont communément divisées en galaxies spirales, elliptiques et irrégulières¹⁷. Comme son nom l'indique, une galaxie elliptique a la forme d'une ellipse. Ses étoiles se déplacent sur une orbite choisie au hasard sans aucune direction préférée. Ces galaxies ne contiennent que peu ou pas de gaz interstellaire, peu de régions de formation d'étoiles, et généralement des étoiles âgées. On trouve généralement des étoiles dans les noyaux d'amas galactiques qui peuvent se former à partir de la fusion de plus grandes galaxies. Une galaxie spirale est organisée comme un disque plat en rotation, avec généralement un bulbe proéminent ou une barre en son centre, ainsi que des bras spiraux qui s'étendent vers l'extérieur. Ces bras sont des régions poussiéreuses de formations d'étoiles où les jeunes étoiles massives produisent une teinte bleue. Les galaxies spirales sont typiquement entourées d'un halo d'étoiles plus vieilles. La Voie lactée et la galaxie d'Andromède sont des galaxies spirales. Les galaxies irrégulières sont chaotiques en apparence et ne sont ni spirales, ni elliptiques. Environ un quart des galaxies sont irrégulières. La forme si particulière peut être le résultat d'une interaction gravitationnelle. Une galaxie active est une structure dont une partie significative de l'énergie qu'elle émet ne provient pas de ses étoiles, de son gaz ou de sa poussière. Ce type de galaxie est alimenté par une région compacte en son noyau, généralement grâce à un trou noir supermassif, pense-t-on, qui émettrait des radiations grâce aux matériaux qu'il avale. Une radiogalaxie est une galaxie active qui est vraiment très lumineuse dans le domaine radio du spectre électromagnétique et qui produit de gigantesques lobes de gaz. Les galaxies actives émettant des radiations très énergétiques incluent les galaxies de Seyfert, les quasars et les blazars. Les quasars semblent être les objets les plus lumineux de l'univers connu¹⁸. Les grandes structures du cosmos sont représentées par des groupes et des amas de galaxies. Cette structure est organisée de manière hiérarchique, dont les plus grandes connues à ce jour sont les superamas. Le tout est agencé en filaments et en murs, laissant d'immenses régions vides entre eux¹⁹. **Cosmologie** La cosmologie (du grec $\kappa\omicron\sigma\mu\omicron\sigma\mu\omicron\sigma\mu\omicron\sigma\mu$, « monde, univers » et $\lambda\omicron\mu\omicron\sigma\mu$, « mot, étude ») pourrait être considérée comme l'étude de l'univers comme étant un tout. Les observations de la structure de l'univers à grande échelle, une branche appelée cosmologie physique, a donné une profonde connaissance de la formation et de l'évolution du cosmos. La théorie bien acceptée du Big Bang est fondamentale à la cosmologie moderne qui dit que l'univers a commencé comme un simple point et qu'il s'est ensuite agrandi durant 13,7 milliards d'année jusqu'à son état actuel. Le concept du Big Bang peut être retracé jusqu'à la découverte du fond diffus cosmologique en 1965. Dans ce processus d'expansion, l'univers a connu plusieurs stades d'évolution. Dans les tout premiers temps, nos théories actuelles montrent une inflation cosmique extrêmement rapide, ce qui a homogénéisé les conditions de départ. Ensuite, la nucléosynthèse primordiale a produit les éléments de base de l'univers nouveau-né. Lorsque les premiers atomes furent formés, l'espace devint transparent aux radiations, libérant ainsi de l'énergie, perçue aujourd'hui à travers le fond diffus cosmologique. L'expansion de l'univers connut alors un âge Sombre dû au manque de sources d'énergie stellaires²⁰. Une structure hiérarchique de la matière commença à se former à partir de variations minuscules de la densité de matière. La matière s'accumula alors dans les

régions les plus denses, formant des nuages de gaz interstellaire et les toutes premières étoiles. Ces étoiles massives déclenchèrent alors le processus de ré-ionisation et semblent être à l'origine de la création de beaucoup d'éléments lourds du jeune univers. L'attraction gravitationnelle a regroupé la matière en filaments, laissant ainsi d'immenses régions vides dans les lacunes. Graduellement, des organisations de gaz et de poussière ont émergé pour former les premières galaxies primitives. Au fil du temps, celles-ci ont attiré plus de matière, et se sont souvent organisées en amas de galaxies, puis en superamas²¹. L'existence de la matière noire et de l'énergie sombre est fondamentale à la structure de l'univers. On pense maintenant qu'elles sont les composantes dominantes, formant 96 % de la densité de l'univers. Pour cette raison, beaucoup d'efforts sont déployés dans le but de découvrir la composition et la physique régissant ces éléments²².

Disciplines par type d'observation : Astronomie d'observation En astronomie, l'information provient principalement de la détection et de l'analyse de la lumière visible ou d'une autre onde électromagnétique²³. L'astronomie d'observation peut être divisée selon les régions observées du spectre électromagnétique. Certaines parties du spectre peuvent être observées depuis la surface de la Terre, alors que d'autres sont seulement observables à de hautes altitudes voire dans l'espace. Des informations spécifiques sur ces sous-branches sont données ci-dessous.

Radioastronomie La radioastronomie étudie les radiations d'une longueur d'onde supérieure au millimètre²⁴. La radioastronomie est différente des autres formes d'observations astronomiques dans la mesure où les ondes radio sont traitées davantage comme des ondes plutôt que comme des photons discrets. Il est plus facile de mesurer l'amplitude et la phase des ondes radio que celles de longueurs d'ondes plus courtes²⁴. Bien que certaines ondes radio soient produites par certains objets astronomiques sous forme d'émissions thermiques, la plupart des émissions radio qui sont observées depuis la Terre sont vues sous forme de rayonnement synchrotron, qui est produit lorsque les électrons oscillent autour de champs magnétiques²⁴. En outre, un certain nombre de raies spectrales produites par le gaz interstellaire, notamment la raie d'hydrogène à 21 cm, sont observables dans le domaine radio^{25,24}. Une grande variété d'objets sont observables en ondes radio, ce qui inclut les supernovae, le gaz interstellaire, les pulsars et les noyaux galactiques actifs ^{25,24}.

Astronomie infrarouge L'astronomie infrarouge s'occupe de la détection et de l'analyse du rayonnement infrarouge (longueurs d'onde plus longues de celle de la lumière rouge). Excepté pour les longueurs d'onde situées près de la lumière visible, le rayonnement infrarouge est fortement absorbé par l'atmosphère; d'autre-part, celle-ci produit des émissions d'infrarouge significatives. Par conséquent, les observatoires infrarouges doivent être situés sur des lieux très élevés et secs, ou dans l'espace. L'astronomie infrarouge est particulièrement utile pour l'observation des régions galactiques entourées de poussière, et pour les études des gaz moléculaires. Étant sollicitée dans le cadre de l'observation d'objets froids (moins de quelques centaines de kelvins) elle est donc également utile à l'observation des atmosphères planétaires. Parmi les observatoires à infrarouge, on peut citer les télescopes spatiaux Spitzer et Herschel.

Astronomie optique Délivré des contraintes atmosphériques, le télescope spatial Hubble a fourni des images exceptionnelles en lumière visible (entre autres). D'un point de vue historique, l'astronomie optique, également appelée l'astronomie de la lumière visible, est la plus ancienne forme d'astronomie²⁶. À l'origine, les images optiques étaient dessinées à la main. À la fin du XIX^e siècle et durant une bonne partie du XX^e siècle, les images furent faites en utilisant un équipement photographique. Les images modernes sont produites grâce à des détecteurs digitaux, particulièrement les caméras CCD. Bien que la lumière visible s'étende elle-même approximativement de 4 000 Å à 7 000 Å (400 à 700 nm)²⁶, le même équipement peut être utilisé pour observer les ultraviolets proches ainsi que le proche-infrarouge. En réalité, l'atmosphère n'est pas tout à fait transparente à la lumière visible. En effet, les images obtenues sur Terre dans ces longueurs d'ondes souffrent de distorsions dues aux

turbulences atmosphériques. C'est ce phénomène qui est responsable du scintillement des étoiles. Le pouvoir de résolution ainsi que la magnitude limite théoriques d'un télescope terrestre sont donc diminués à cause de ces mêmes perturbations. Pour remédier à ce problème, il est donc nécessaire de quitter l'atmosphère terrestre. Une autre solution, l'optique adaptative, permet également de réduire la perte de qualité de l'image.

Astronomie en ultraviolets L'astronomie en ultraviolets fait référence aux observations aux longueurs d'ondes correspondant à l'ultraviolet, c'est-à-dire entre ~ 100 et 3 200 Å (10 à 320 nm)²⁴. La lumière de ces longueurs est absorbée par l'atmosphère de la Terre, les observations de ces longueurs d'ondes se font donc depuis la haute atmosphère ou depuis l'espace. L'astronomie à ultraviolets est plus indiquée pour l'observation du rayonnement thermique et des raies spectrales des étoiles bleues chaudes (étoiles OB) qui sont très lumineuses dans ce domaine. Cela comprend les étoiles bleues des autres galaxies, qui ont été les cibles de plusieurs études sur le sujet. D'autres objets sont aussi couramment observés en UV, comme les nébuleuses planétaires, les rémanents de supernovae ou les noyaux galactiques actifs²⁴. Cependant, la lumière ultraviolette est facilement absorbée par la poussière interstellaire, les mesures ont donc besoin d'être corrigées de l'extinction²⁴.

Astronomie des rayons X L'astronomie des rayons X consiste en l'étude des objets astronomiques à des longueurs d'ondes correspondant aux rayons X, autrement dit allant d'environ 0,1 à 100 Å (0,01 à 100 nm). Typiquement, les objets émettent des rayons X comme des émissions synchrotron (produit par des électrons oscillant autour des lignes d'un champ magnétique), des émissions thermiques provenant de gaz fins (appelé rayonnement continu de freinage) qui est au-dessus de 107 kelvins, ainsi que des émissions thermiques de gaz épais (appelé rayonnement du corps noir) dont la température est supérieure à 107 kelvins²⁴. Puisque les rayons X sont absorbés par l'atmosphère de la terre, toute observation en rayons X doit être effectuée par des ballons de haute altitude, par des fusées, ou par un engin spatial. Parmi les sources de rayons X notables, nous pouvons citer les binaires X, les pulsars, les rémanents de supernovae, les galaxies elliptiques ou actives, et les amas de galaxies²⁴.

Astronomie des rayons gamma L'astronomie des rayons gamma concerne les plus petites longueurs d'ondes du spectre électromagnétique. Les rayons gamma peuvent être directement observés par des satellites tels que le Compton Gamma-Ray Observatory. La majorité des rayons gamma proviennent en réalité des sursauts gamma, des objets qui produisent un rayonnement gamma intense pour une durée variant de quelques millisecondes à quelques milliers de secondes. Seulement 10 % des sources de rayons gamma sont permanentes. Parmi ces émetteurs stables de rayons gamma, on retrouve les pulsars, les étoiles à neutrons, et les trous noirs, au même titre que les galaxies actives²⁴.

Sciences interdisciplinaires de l'astronomie : L'astronomie et l'astrophysique ont développé d'importants liens avec d'autres champs d'études scientifiques, à savoir : -L'astrobiologie étudie l'apparition et l'évolution des systèmes biologiques présents dans l'univers. -L'archéoastronomie étudie les astronomies anciennes et traditionnelles dans leurs contextes culturels, en utilisant des preuves archéologiques et anthropologiques. -L'astrochimie étudie les substances chimiques trouvées dans l'espace, généralement dans les nuages moléculaires, ainsi que leur formation, leurs interactions, et leur destruction. Cette discipline fait le lien entre astronomie et chimie. -La cosmochimie étudie les substances chimiques trouvées dans le Système solaire, y compris l'origine des éléments ainsi que les variations dans les rapports isotopiques. -Astronomie amateur Les astronomes amateurs observent une variété d'objets célestes, au moyen d'un équipement qu'ils construisent parfois eux-mêmes. Les cibles les plus communes pour un astronome amateur sont la Lune, les planètes, les étoiles, les comètes, les essaims météoritiques, ainsi que les objets du ciel profond que sont les amas stellaires, les galaxies et les nébuleuses. Une branche de l'astronomie amateur est l'astrophotographie, consistant à photographier le ciel nocturne. Une partie des amateurs aime se spécialiser dans l'observation

d'un type d'objet particulier^{27,28}. La plupart des amateurs observent le ciel aux longueurs d'ondes visibles, mais une minorité travaille avec des rayonnements hors du spectre visible. Cela comprend l'utilisation de filtres infrarouges sur des télescopes conventionnels, ou l'utilisation de radiotélescopes. Le pionnier de la radioastronomie amateur était Karl Jansky qui a commencé à observer le ciel en ondes radio dans les années 1930. Un certain nombre d'amateurs utilisent soit des télescopes fabriqués de leurs mains, soit des télescopes qui ont été construits à l'origine pour la recherche astronomique mais qui leur sont maintenant ouverts (par exemple le One-Mile Telescope)^{29,30}. Une certaine frange de l'astronomie amateur continue de faire progresser l'astronomie. En fait, il s'agit de l'une des seules sciences où les amateurs peuvent contribuer de manière significative. Ceux-ci peuvent effectuer les calculs d'occultation qui servent à préciser les orbites des planètes mineures. Ils peuvent aussi découvrir des comètes, effectuer des observations régulières d'étoiles doubles ou multiples. Les avancées en technologie numérique ont permis aux amateurs de faire des progrès impressionnants dans le domaine de l'astrophotographie^{31,32,33}.

Notes et références

1. James Lequeux, « ASTRONOMIE », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 22 octobre 2012. [lire en ligne [archive]]
2. Thomas Samuel Kuhn, La Structure des révolutions scientifiques, 1962
3. a et b Johansson Sverker, « The Solar FAQ » [archive], Talk.Origins Archive, consulté le 11 août 2006
4. Lerner & K. Lee Lerner, Brenda Wilmoth, « Environmental issues : essential primary sources. » [archive], Thomson Gale, 2006 (consulté le 11 septembre 2006)
5. Pogge, Richard W., « The Once & Future Sun » [archive], New Vistas in Astronomy [archive], 1997 (consulté le 7 décembre 2005)
6. D. P. Stern, M. Peredo, « The Exploration of the Earth's Magnetosphere » [archive], NASA, 28 septembre 2004 (consulté le 22 août 2006)
7. J. F. Bell III, B. A. Campbell et M. S. Robinson, Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing, John Wiley & Sons, 2004, 3e éd. (lire en ligne [archive])
8. E. Grayzeck, D. R. Williams, « Lunar and Planetary Science » [archive], NASA, 11 mai 2006 (consulté le 21 août 2006)
9. Roberge Aki, « Planetary Formation and Our Solar System » [archive], Carnegie Institute of Washington—Department of Terrestrial Magnetism, 5 mai 1997 (consulté le 11 août 2006)
10. Roberge Aki, « The Planets After Formation » [archive], Department of Terrestrial Magnetism, 21 avril 1998 (consulté le 23 août 2006)
11. « Stellar Evolution & Death » [archive], NASA Observatorium (consulté le 8 juin 2006)
12. Jean Audouze et Guy Israel, The Cambridge Atlas of Astronomy, Cambridge University Press, 1994, 3e éd. (ISBN 0-521-43438-6)
13. Ott Thomas, « The Galactic Centre » [archive], Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, 24 août 2006 (consulté le 8 septembre 2006)
14. Danny R. Faulkner, « The Role Of Stellar Population Types In The Discussion Of Stellar Evolution », CRS Quarterly, vol. 30, no 1, 1993, p. 174-180 (lire en ligne [archive])
15. Hanes Dave, « Star Formation; The Interstellar Medium » [archive], Queen's University, 24 août 2006 (consulté le 8 septembre 2006)
16. Sidney Van den Bergh, « The Early History of Dark Matter », Publications of the Astronomy Society of the Pacific, vol. 111, 1999, p. 657-660 (lire en ligne [archive])
17. Keel Bill, « Galaxy Classification » [archive], University of Alabama, 1er août 2006 (consulté le 8 septembre 2006)
18. « Active Galaxies and Quasars » [archive], NASA (consulté le 8 septembre 2006)
19. Michael Zeilik, Astronomy: The Evolving Universe, Wiley, 2002, 8e éd. (ISBN 0-521-80090-0)
20. Hinshaw Gary, « Cosmology 101: The Study of the Universe » [archive], NASA WMAP, 13 juillet 2006 (consulté le 10 août 2006)
21. « Galaxy Clusters and Large-Scale Structure » [archive], University of Cambridge (consulté le 8 septembre 2006)
22. Preuss Paul, « Dark Energy Fills the Cosmos » [archive], U.S. Department of Energy, Berkeley Lab (consulté le 8 septembre 2006)
23. « Electromagnetic Spectrum » [archive], NASA (consulté le 8 septembre 2006)
24. a, b, c, d, e,



f, g, h, i, j et k A. N. Cox (éd.), *Allen's Astrophysical Quantities*, New York, Springer-Verlag, 2000 (ISBN 0-387-98746-0) 25. a et b F. H. Shu, *The Physical Universe*, Mill Valley, California, University Science Books, 1982 (ISBN 0-935702-05-9) 26. a et b P. Moore, *Philip's Atlas of the Universe*, Great Britain, George Philis Limited, 1997 (ISBN 0-540-07465-9) 27. « The Americal Meteor Society » [archive] (consulté le 24 août 2006) 28. Jerry Lodriguss, « Catching the Light: Astrophotography » [archive] (consulté le 24 août 2006) 29. F. Ghigo, « Karl Jansky and the Discovery of Cosmic Radio Waves » [archive], National Radio Astronomy Observatory, 7 février 2006 (consulté le 24 août 2006) 30. « Cambridge Amateur Radio Astronomers » [archive] (consulté le 24 août 2006) 31. « The International Occultation Timing Association » [archive] (consulté le 24 août 2006) 32. « Edgar Wilson Award » [archive], Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (consulté le 24 août 2006) 33. « American Association of Variable Star Observers » [archive], AAVSO (consulté le 24 août 2006) Bibliographie André Brahic, *Enfants du soleil : histoire de nos origines*, Paris, O. Jacob, 1999, 366 p. (ISBN 9782738105905, présentation en ligne) François Forget, François Costard et Philippe Lognonné, *La planète Mars : histoire d'un autre monde*, Paris, Éditions Belin, coll. « Bibliothèque scientifique », 2003, 144 p. (ISBN 9782701126579) Jean-Pierre Luminet, *Le destin de l'univers : trous noirs et énergie sombre*, Paris, Fayard, coll. « Le temps des sciences », 2006, 588 p. (ISBN 978-221363081-6) Articles généraux sur l'astronomie Astrophysique Cosmologie Astronomes célèbres Union astronomique internationale Chronologies en astronomie Histoire de l'astronomie Astronomie du Système solaire Conquête de l'espace Satellites artificiels et sondes spatiales Satellites naturels Télescopes, observatoires et la technologie d'observation Instruments et techniques astronomiques Astrophotographie Logiciels d'astronomie Lunette astronomique Observatoire Radioastronomie Radiotélescope Télescope Liens externes (fr) Site officiel de l'Agence spatiale européenne (en) Site officiel de l'Observatoire européen austral ESO (en) Site officiel de la NASA (en) Site officiel : Astronomy and Astrophysics, la revue des chercheurs européens (en) Site officiel : The Astrophysical Journal, la revue américaine