

PIERRE LÉNA
CHRISTIAN GRATALOUP

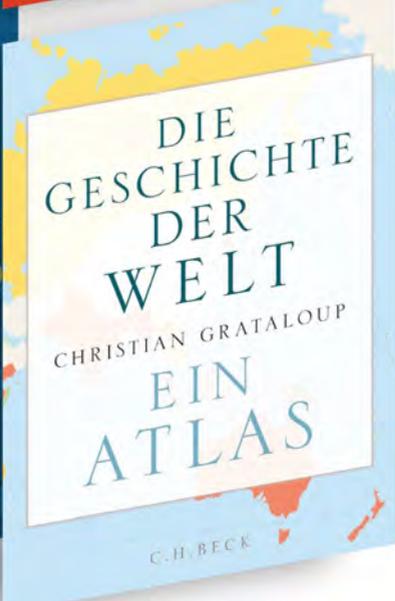
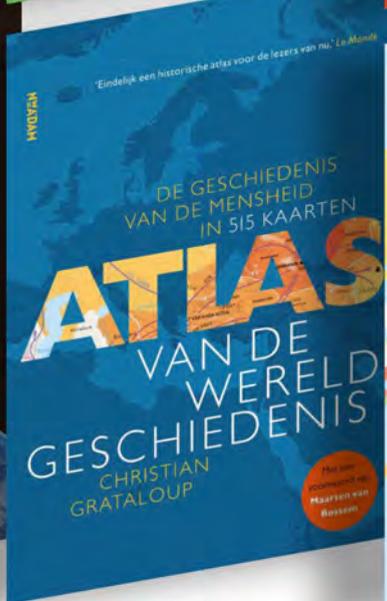
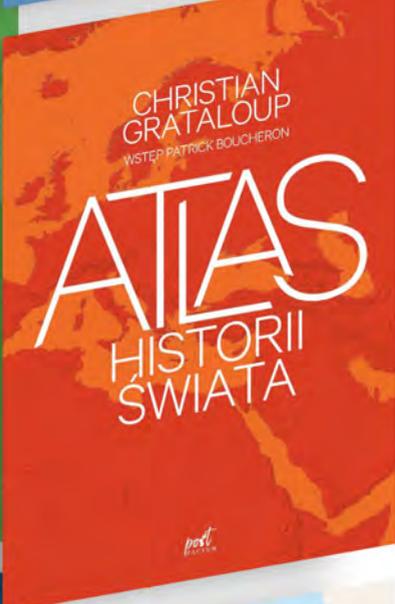
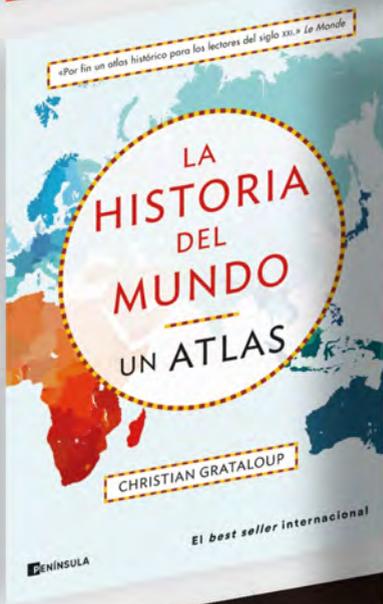
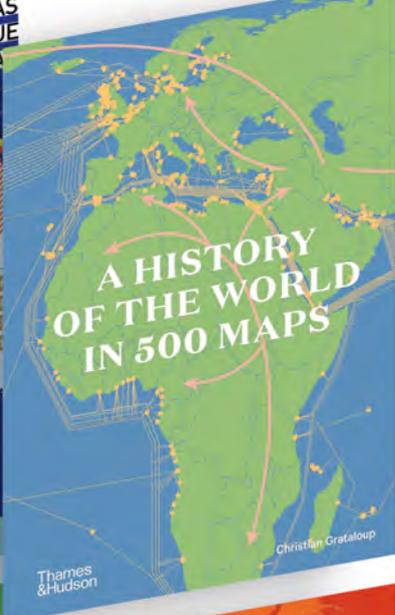
ATLAS

HISTORIQUE
DU CIEL

**LE CIEL VU DE LA TERRE
10 000 ANS D'HISTOIRE**

Une création originale Les Arènes —





Les auteurs

Pierre Léna

est astrophysicien, membre de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'Observatoire de Paris et l'Université Paris-Cité. Avec *La main à la pâte*, il s'est engagé dans la rénovation de l'enseignement des sciences à l'école et au collège depuis 30 ans. Excellent vulgarisateur, co-auteur des *Tours du monde*, *Tours du ciel* à la télévision, il a travaillé plus de trois années à la conception de cet atlas.

Christian Grataloup

est « le plus historien des géographes ». Agrégé et docteur en géographie, ancien professeur à l'université Paris Cité, il est spécialiste de géohistoire. Depuis 2019, il dirige la collection des « Atlas historiques » aux éditions Les Arènes.

Léna Hespel

est journaliste scientifique. Diplômée d'un master de biologie et de l'ESJ Lille, elle a collaboré à différents magazines de la presse scientifique (*Pour la science*, *Science et Vie*, *La Recherche...*) et de la presse professionnelle.

Philippe Pajot

Astrophysicien de formation, il est rédacteur en chef de *La Recherche*. En tant qu'auteur, il a écrit *Parcours de mathématiciens* (Le Cavalier Bleu, 2011).

Légendes Cartographie

réalise des cartes historiques et scolaires depuis plus de trente ans. L'agence a réalisé l'ensemble des cartes des atlas de cette collection.

Les contributeurs

Joël Chandelier : Maître de conférence en histoire médiévale à l'Université Paris VIII-Vincennes-Saint-Denis.

Karine Chemla : Directrice de recherche au CNRS, université Paris Cité, mathématicienne spécialiste d'histoire des mathématiques et de sinologie.

Patrick Chevalley : Créateur du logiciel Skychart / Cartes du Ciel.

David Elbaz : Astrophysicien, directeur de recherche au département d'astrophysique du CEA Paris-Saclay, éditeur de la revue *Astronomy & Astrophysics*.

Olivier Darrigol : Directeur de recherches émérite au CNRS, historien des sciences, Équipe SPHÈRE, université Paris Cité.

Ewine van Dishoeck : Astrophysicienne, professeure à l'université de Leyde (Pays-Bas), présidente de l'Union astronomique internationale pour le triennat 2018-2021.

Serge Dunis : Anthropologue, ancien professeur aux universités de Wellington, d'Hawaï et de Polynésie française.

Edward Duyker : Historien ethnographe.

Yvon Georgelin : Astronome, ancien directeur de l'Observatoire de Marseille.

Étienne Ghys : Professeur à l'École normale supérieure de Lyon, mathématicien, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Matthieu Husson : Chercheur au CNRS au sein de l'équipe d'histoire des sciences de l'astronomie (SYRTE) à l'Observatoire de Paris, spécialiste du Moyen Âge.

(Historiens, chercheurs, astrophysiciens, astronomes, anthropologues...)

Bruno Jacomy : Ingénieur, ancien directeur adjoint du musée des Arts et Métiers et conservateur en chef honoraire du patrimoine au ministère de l'Éducation nationale.

Michael Joalland : Docteur en histoire, chercheur au Centre Roland Mousnier (Sorbonne Université), historien spécialiste de Newton.

Francette Joanne : Historienne de l'art chrétien.

Etienne Klein : Physicien et philosophe des sciences.

Héloïse Kolebka : Rédactrice en chef de la revue *L'Histoire*.

Serge Koutchmy (+2023) : Astrophysicien, directeur de recherche au CNRS et à l'Institut d'astrophysique de Paris.

Daniel Kunth : Astrophysicien, Directeur de recherche au CNRS et à l'Institut d'astrophysique de Paris, auteur d'ouvrages sur l'astrologie, secrétaire général de l'Union rationaliste.

Anne-Marie Lagrange : Astrophysicienne, directrice de recherche au CNRS, Observatoire de Paris, membre de l'Académie des sciences.

Colette Le Lay : Chercheuse associée au Centre François Viète de l'université de Nantes, spécialiste d'histoire des sciences.

James Lequeux : Astronome émérite à l'Observatoire de Paris, historien des sciences.

Jean-Pierre Luminet : Astrophysicien, écrivain et historien, spécialiste des trous noirs et de cosmologie.

François Mignard : Astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur, membre de l'Académie des sciences.

Adrien Normier : Doctorant en philosophie et éthique de l'espace.

Serge Plattard : Visiting Professor à l'International Space University et professeur honoraire au University College de Londres.

Jean-Paul Poirier : Physicien du globe honoraire, membre de l'Académie des sciences, historien des sciences.

Dominique Proust : Astrophysicien à l'Observatoire de Paris, citoyen d'honneur de l'Île de Pâques.

Brigitte Rocca : Professeure d'astrophysique émérite, université Paris-Saclay, spécialiste des galaxies.

Patrick Rocher : Chercheur à l'Observatoire de Paris au sein de l'IMCCE.

Jean-Pierre Sarmant : Inspecteur général honoraire, physicien.

Denis Savoie : Astronome spécialisé en histoire des sciences, Universcience.

Christophe Schmit : Observatoire de Paris, SYRTE, historien des sciences.

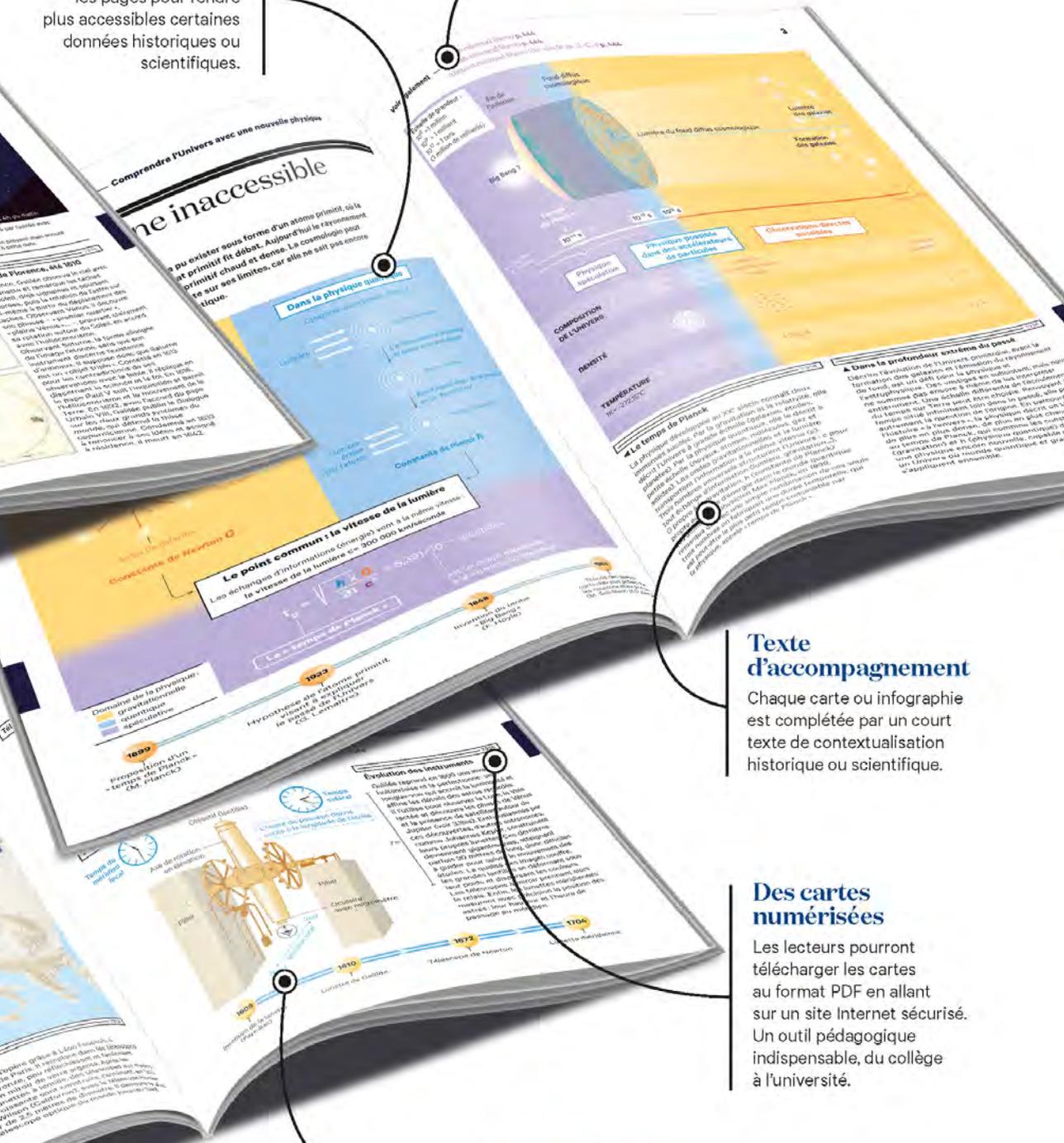
Yi Zhou : Journaliste à Radio France internationale (RFI) et écrivain.

Des infographies

Tableaux, graphiques et infographies jalonnent les pages pour rendre plus accessibles certaines données historiques ou scientifiques.

Des renvois vers d'autres cartes

Afin de faciliter la lecture, des renvois permettent d'aller vers d'autres pages ayant des liens directs entre elles.



Texte d'accompagnement

Chaque carte ou infographie est complétée par un court texte de contextualisation historique ou scientifique.

Des cartes numérisées

Les lecteurs pourront télécharger les cartes au format PDF en allant sur un site Internet sécurisé. Un outil pédagogique indispensable, du collège à l'université.

Des illustrations et des schémas

Dans un souci de pédagogie, de nombreuses explications passent par des dessins originaux et accessibles à tous.

L'histoire du regard des humains sur la voûte céleste

La Terre, planète modeste tournant autour d'une étoile banale au sein d'une galaxie comme une autre, a une particularité extraordinaire : elle abrite la vie ! Et cette vie a donné naissance à une espèce capable de réflexion complexe et cumulative. Face au ciel étoilé, face au mouvement apparent du Soleil et des changements de la Lune, toutes les sociétés humaines s'interrogent depuis des millénaires. L'observation de la voûte céleste est l'une des principales origines de toute réflexion scientifique. S'il est une science dont la naissance remonte à plusieurs millénaires, c'est bien l'astronomie. Sans elle, pas de cartographie savante, pas de calendriers précis, etc. Ces origines sont multiples : babyloniennes et chinoises, mayas et polynésiennes..., avant que ne soit développée une première synthèse grecque puis arabe. Tout s'accélère, il y a cinq siècles, dans l'Europe de la Renaissance. Une science formalisée, progressivement dégagée des contraintes religieuses et des pratiques astrologiques, se met en place et, dès le XVIII^e siècle, se mondialise. Depuis un demi-siècle, l'espace n'est plus seulement regardé. Des humains y ont fait des sauts de puce, jusqu'à la banlieue terrestre qu'est la Lune. Des machines parcourent le Système solaire et au-delà. Le ciel semble l'avenir des humains et voici son histoire.

Le pari du lecteur non spécialisé

Cet atlas fait un pari qui n'est pas évident, intéresser simultanément deux lectorats habituellement bien distincts : les amateurs d'astronomie et les lecteurs d'atlas historiques. C'est là que se rejoignent nos deux directeurs d'ouvrage : Pierre Léna pour l'astronomie et Christian Grataloup pour la géohistoire. Le pari éditorial est donc de conjuguer l'histoire des humains et celle de l'Univers.

Une histoire en trois temps, mais pas seulement

Dans un premier temps, l'Univers était modeste, généralement centré sur la Terre, et d'une durée de quelques millénaires. Il y eut un moment important entre les XVI^e et XVII^e siècles en Europe : en quelques décennies, des savoirs accumulés depuis des millénaires ont germé et prospéré brusquement. Il y eut donc un avant et un après Copernic, Kepler, Galilée et Newton, pour prendre des repères simples.

Mais tout change également au début du XX^e siècle avec la théorie de la relativité et la physique quantique. De Galilée à Einstein, les humains se sont situés dans leur galaxie et ont finalement compris que les informations qui venaient de très loin avaient été émises il y a très longtemps : le ciel est devenu histoire. Depuis un siècle, c'est tout un univers de galaxies et une histoire de plusieurs milliards d'années qui se sont ouvertes : un espace et un temps qui ne forment plus qu'un, l'espace-temps.

Donc, trois parties chronologiques :

- 1) Jusqu'au XVI^e siècle,
- 2) Du XVII^e au XX^e siècle,
- 3) Depuis 1900.

300 cartes et infographies totalement inédites

Autrefois, les globes allaient par paires : un globe terrestre avait pour pendant un globe céleste. L'Atlas historique du Ciel s'inscrit dans cette filiation. Rien d'étonnant, bien sûr, qu'il contienne de nombreuses cartes de la voûte céleste. Ces vues depuis la Terre sont situées dans des sociétés particulières qui sont également cartographiées. Entre les deux, il y a toute une histoire, celle de la construction d'un savoir, qui a nécessité beaucoup d'ingéniosité, de savoir-faire techniques, de perfectionnements mathématiques. Une histoire géographique toute en images : des cartes, bien sûr, mais aussi une grande diversité de types de figures. Rarement un atlas a rassemblé une telle variété graphique.

Une équipe scientifique de premier plan

À l'origine de cet atlas, il y a tout l'intérêt que l'astrophysicien Pierre Léna a trouvé à la lecture de l'Atlas historique mondial. C'est lui qui a proposé à Christian Grataloup de faire un atlas historique du Ciel. Le dialogue du géohistorien et de l'astrophysicien a permis la réalisation de cet ouvrage à la fois hybride et totalement inédit. Ils ont fait dialoguer des scientifiques, des journalistes et des universitaires d'horizons très variés, avec la complicité de la revue *Sciences et Avenir-La Recherche*. L'édition de ce livre a réuni plus de trente contributeurs pour proposer un ouvrage fort des derniers acquis de la recherche, tant en astrophysique qu'en archéologie ou en historiographie. Pierre Léna et Christian Grataloup, avec l'aide essentielle de la journaliste Léna Hespel, ont conçu, relu, discuté et validé chaque page de l'atlas.

Toutes les sociétés humaines ont cherché à comprendre le ciel et l'Univers

Voir le ciel à l'œil nu (jusqu'au XVI^e siècle)

De l'aube des civilisations au XVI^e siècle, la connaissance du ciel s'est faite à l'œil nu. Le ciel, c'est d'abord le Soleil et la Lune qui rythment le temps qui passe au gré des saisons. La nuit, le spectacle des étoiles sollicite la raison autant que l'imagination. Face à ces énigmes, chaque peuple construit des mythes, des récits et des tentatives d'explication. Toutes les civilisations sont concernées, mais c'est autour de la Méditerranée que s'amorce une science du ciel. Aristote à Athènes et Ptolémée à Alexandrie. Ce processus s'épanouit au XVI^e siècle, lors de la Renaissance européenne. Nicolas Copernic, Tycho Brahe et Johannes Kepler révolutionnent l'astronomie.

Le ciel se fait plus proche (du XVII^e au XIX^e siècle)

Entre le xvii^e et la fin du xix^e siècle, une évolution historique majeure s'accomplit en Europe, grâce à trois progrès de l'observation : le télescope, la photographie et la spectroscopie. L'œil humain s'agrandit pour accéder à des objets moins brillants et plus lointains. En parallèle, la découverte de la gravitation universelle rend intelligibles les mouvements des planètes et des étoiles. Ce savoir transforme profondément l'image que chaque humain se fait du monde et de la place qu'il y tient. Avec Galilée, Newton et leurs successeurs, on comprend la mécanique du ciel, on découvre de nouvelles étoiles et on apprend comment capter et déchiffrer la lumière.

La révolution de la physique (XX^e et XXI^e siècles)

Grâce à de nouveaux instruments et la nouvelle physique, quantique et relativiste, l'Univers s'agrandit avec la découverte d'autres galaxies. Les questions de l'origine et de la nature du temps, à la fois physiques et philosophiques, se transforment. Dans la seconde moitié du XX^e siècle, des humains s'aventurent dans l'espace. Des sondes sont envoyés toujours plus loin, au-delà du système solaire. La connaissance s'élargit immensément et une nouvelle géopolitique spatiale se dessine...

Sommaire

Première partie

Le ciel des humains à l'œil nu

LEVER LES YEUX VERS LES ASTRES

La nuit, le firmament et les étoiles – L'œil humain et la lumière – La Voie lactée – Le Soleil – La Lune – Les planètes – Des événements dans le ciel

LES USAGES DU CIEL

Des dieux et des humains – Le ciel : source de pouvoir – Mesurer et organiser l'espace – Aménager l'espace – Mesurer et organiser le temps – L'année et les calendriers – L'astrologie

DIVERSITÉ DES CULTURES

Les Amérindiens – Afrique subsaharienne et Australie – Polynésie – Inde et Perse, jusqu'au XI^e siècle – Proche-Orient archaïque

Deuxième partie

Le ciel de l'Eurasie

PENSER ET MESURER LE CIEL (de -1500 à 100)

L'axe de l'Ancien Monde, du vie siècle avant notre ère au XVI^e siècle après notre ère – Les précurseurs: Chaldée et Babylone – Les précurseurs hellènes – Le cercle et la sphère, géométrie et mesure – La Terre au centre (IV^e au II^e siècle av. n. è.) – Hipparque et Ptolémée, le mouvement du Soleil – Ptolémée et les planètes (II^e siècle) – Constellations et catalogues du ciel – Cartographier la Terre (IV^e siècle av. n. è. – II^e siècle) – Estimer les distances et la profondeur de l'espace

LE SPLENDIDE ISOLEMENT DE LA CHINE (de 1500 à 1919)

Le mandat du Ciel – En Chine, puissance de l'œil nu – Rendez-vous manqués avec l'Occident

Sommaire

LA LONGUE DURÉE D'ARISTOTE (V^e-XVI^e siècles)

L'astrolabe – Figures et lieux de l'Islam (VIII^e-XV^e siècles) – Les débuts de l'Islam face au ciel (VII^e – XI^e siècles) – Apports du monde islamique (XI^e – XIV^e siècles) – Le ciel dans l'Occident chrétien (V^e-XVI^e siècles)
– L'hémisphère céleste sud – Le paradis

LA RÉVOLUTION COPERNICIENNE (1540-1600)

Nicolas Copernic, la Terre en mouvement – Tycho Brahe, le plus grand astronome à l'œil nu au XVI^e siècle. – Johannes Kepler, le passeur de la Renaissance

Troisième Partie **Le ciel s'emplit**

La science se structure (XVI^e-XIX^e siècles) – L'Europe, de la Renaissance à 1914 – Les télescopes – Le ciel de Galilée

LA MÉCANIQUE DU CIEL

Naissance de la mécanique – Gravitation universelle et forme de la Terre
– Les grandes navigations – La mécanique de Newton dans le Système solaire

LES ÉTOILES ET LA GALAXIE

Mesurer la gravitation – Gravitation universelle et mouvement des étoiles
– La quête de la profondeur – La Galaxie – Mystérieuses nébuleuses
– Les infiniments petits et le ciel

CAPTER et DÉCHIFFRER LA LUMIÈRE

Fresque chronologique de la lumière – La lumière lentement comprise
– Physique du Soleil – Les étoiles et l'analyse spectrale

TEMPS, ESPACE, CIEL ET GÉOPOLITIQUE

Un temps indépendant du ciel. Naviguer – Un temps universel – La carte du ciel (1880-1914) – Mondialisation de la connaissance du ciel

Sommaire

Quatrième partie L'univers se fait histoire

COMPRENDRE L'UNIVERS AVEC UNE NOUVELLE PHYSIQUE

Émergence d'une nouvelle physique – Un immense univers de galaxies
– L'évolution des étoiles – Le milieu interstellaire – De l'hydrogène à l'uranium
– Le système solaire – Les exoplanètes – La matière courbe l'espace-temps
– D'où viennent les galaxies? – Le Big-Bang : une inaccessible origine

NOUVELLES TECHNIQUES, NOUVEAUX INSTRUMENTS

Les télescopes optiques – Les radiotélescopes – Des observatoires dans l'espace – Des particules solaires et cosmiques – Les télescopes gravitationnels – Informatique et simulation numérique
– Coopération et compétition

Cinquième partie Le ciel exploré et la conquête spatiale

ALLER DANS LE CIEL

Histoire: Fusées et satellites – L'humain dans l'espace – On a marché sur la Lune – La conquête de Mars – Le sol de Mars – Présence dans tout le Système solaire: sondes planétaires

LA TERRE COMME UN ASTRE

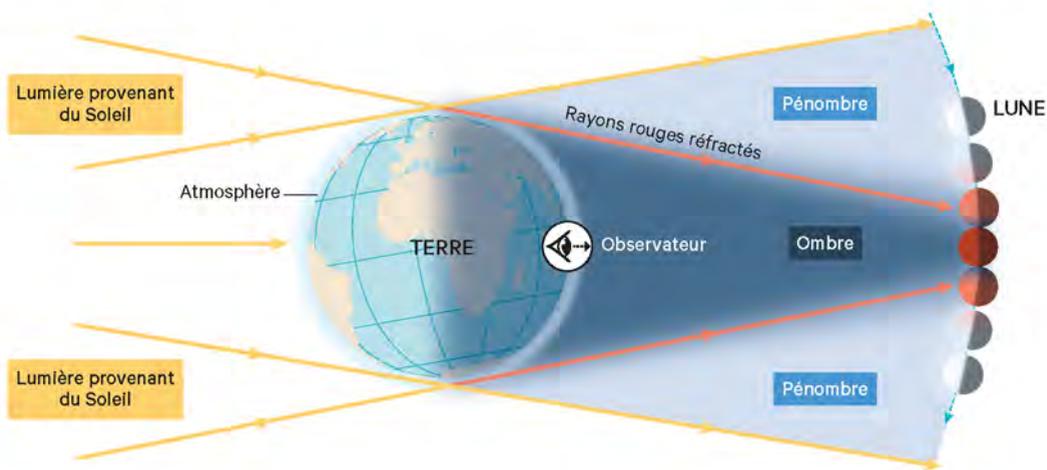
Les observatoires spatiaux « vers le bas ». Cartographie et gestion de la Terre
– Les systèmes GPS et leurs usages

GÉOPOLITIQUE DU CIEL

Inégalités dans l'accès à l'espace — Appropriations, déchets et militarisation de l'espace — Éthique cosmique

La Lune, astre mobile et changeant

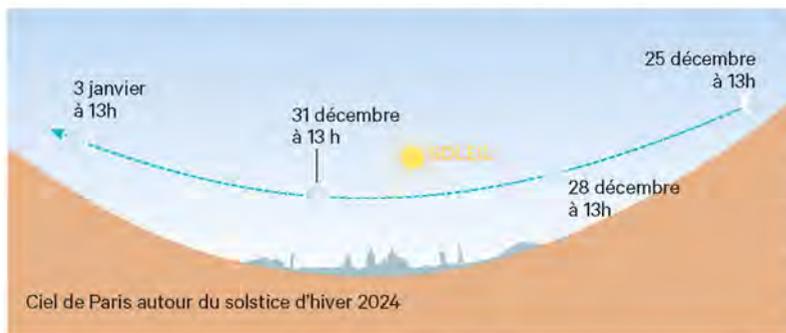
La Lune est sans doute l'objet céleste qui suscite la plus immédiate curiosité à cause des changements périodiques et rapides de son aspect, de sa position dans le ciel, de sa présence diurne ou nocturne et de ses éclipses assez fréquentes. Aussi les rapports de la Lune aux humains touchent-ils de nombreux aspects de l'existence, en particulier les calendriers, la poésie, la science.



7918

Les éclipses de Lune

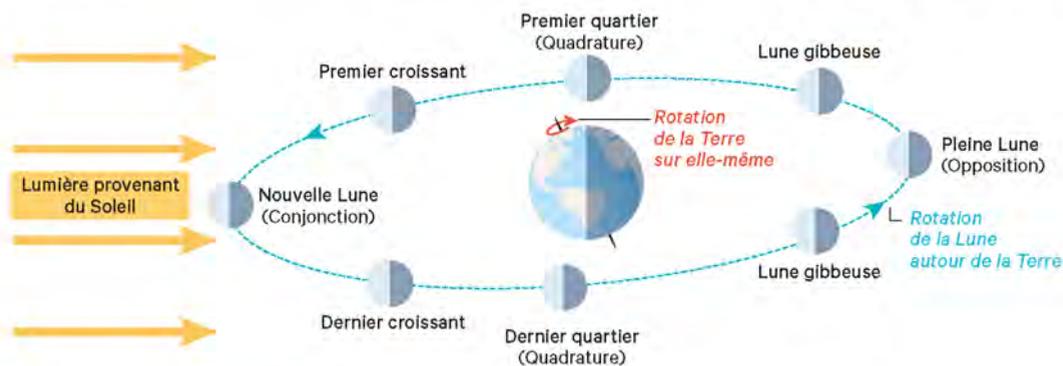
Une éclipse de Lune s'observe lorsque le Soleil, la Terre en rotation autour du Soleil et la Lune en rotation autour de la Terre se trouvent alignés. Si l'orbite de la Lune était dans le même plan que celle de la Terre, une éclipse de Lune se produirait à chaque lunaison. Les deux plans étant peu différents, ces éclipses sont fréquentes. Elles sont totales lorsque la Lune passe entièrement dans l'ombre de la Terre, partielles autrement, peu visibles si elle ne passe que dans la pénombre. Le passage dans l'ombre peut durer près de deux heures. La portion de Lune située dans l'ombre prend une teinte orangée, car les rayons solaires sont courbés par réfraction de l'atmosphère terrestre, qui absorbe la lumière bleue. Le bord de l'ombre sur la Lune est courbe, indiquant la forme de la Terre.



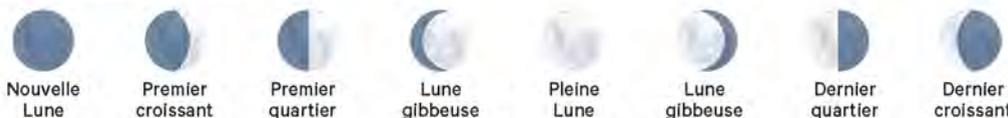
7918

Lune de jour, Lune de nuit

De même que le Soleil, la Lune se déplace sur la sphère céleste, par rapport aux étoiles. Faisant le tour de la Terre en environ 28 jours, alors que la Terre tourne sur elle-même en un jour, la Lune, vue de la Terre, est tantôt proche de la direction du Soleil (nouvelle Lune), tantôt à l'opposé de celui-ci (pleine Lune). À Paris, quand le Soleil culmine au sud, les positions et phases de la Lune sont tracées, tous les trois jours à cette heure. De nuit, deux semaines plus tôt, la Lune, également tous les trois jours, est presque opposée au Soleil. On voit aussi que, jour après jour, elle se déplace lentement d'ouest en est sur la sphère céleste, dans la bande du zodiaque, tout en étant emportée par le mouvement diurne d'est en ouest.



La Lune montre toujours la même face vers la Terre



7918

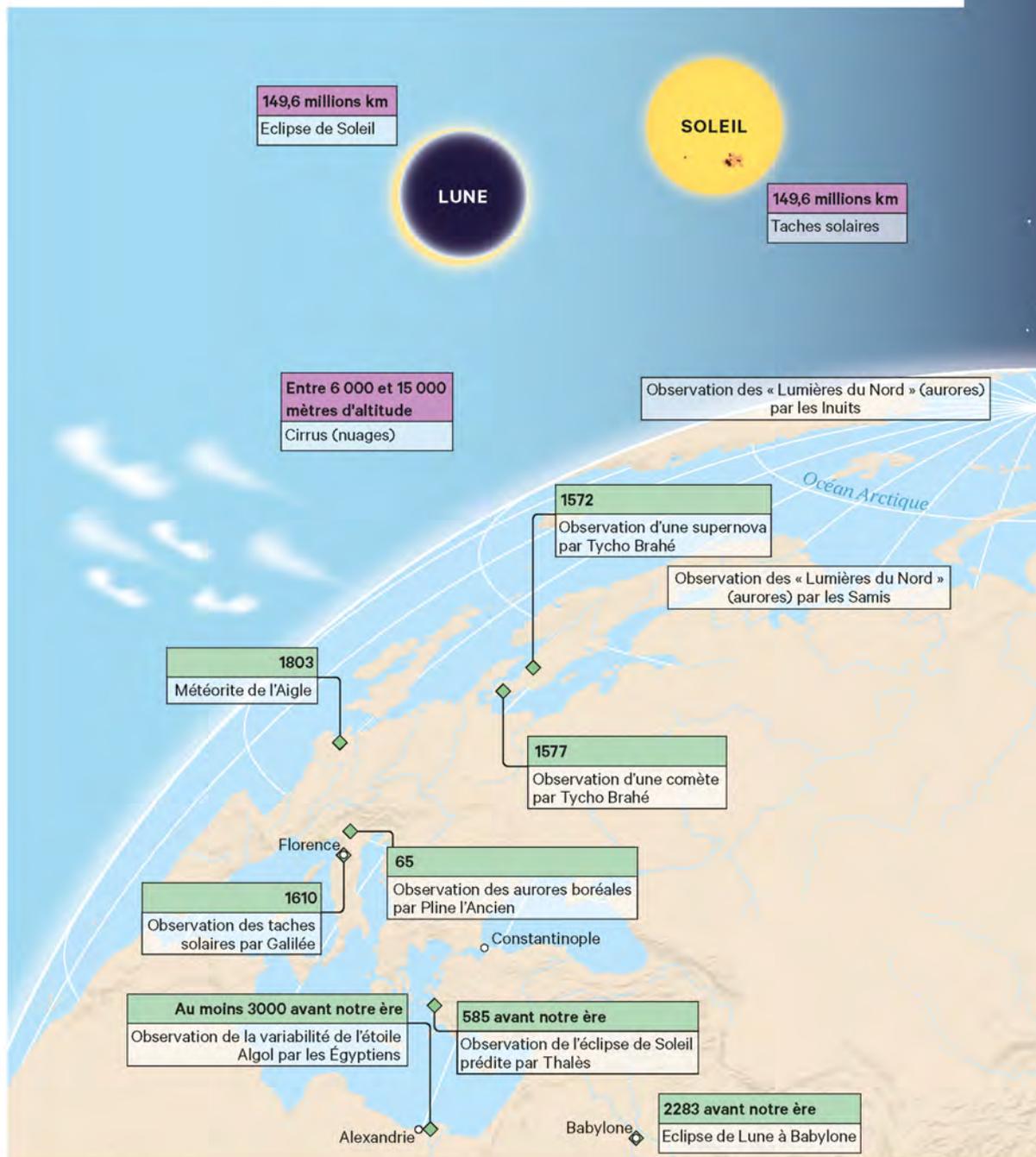
Les phases de la Lune

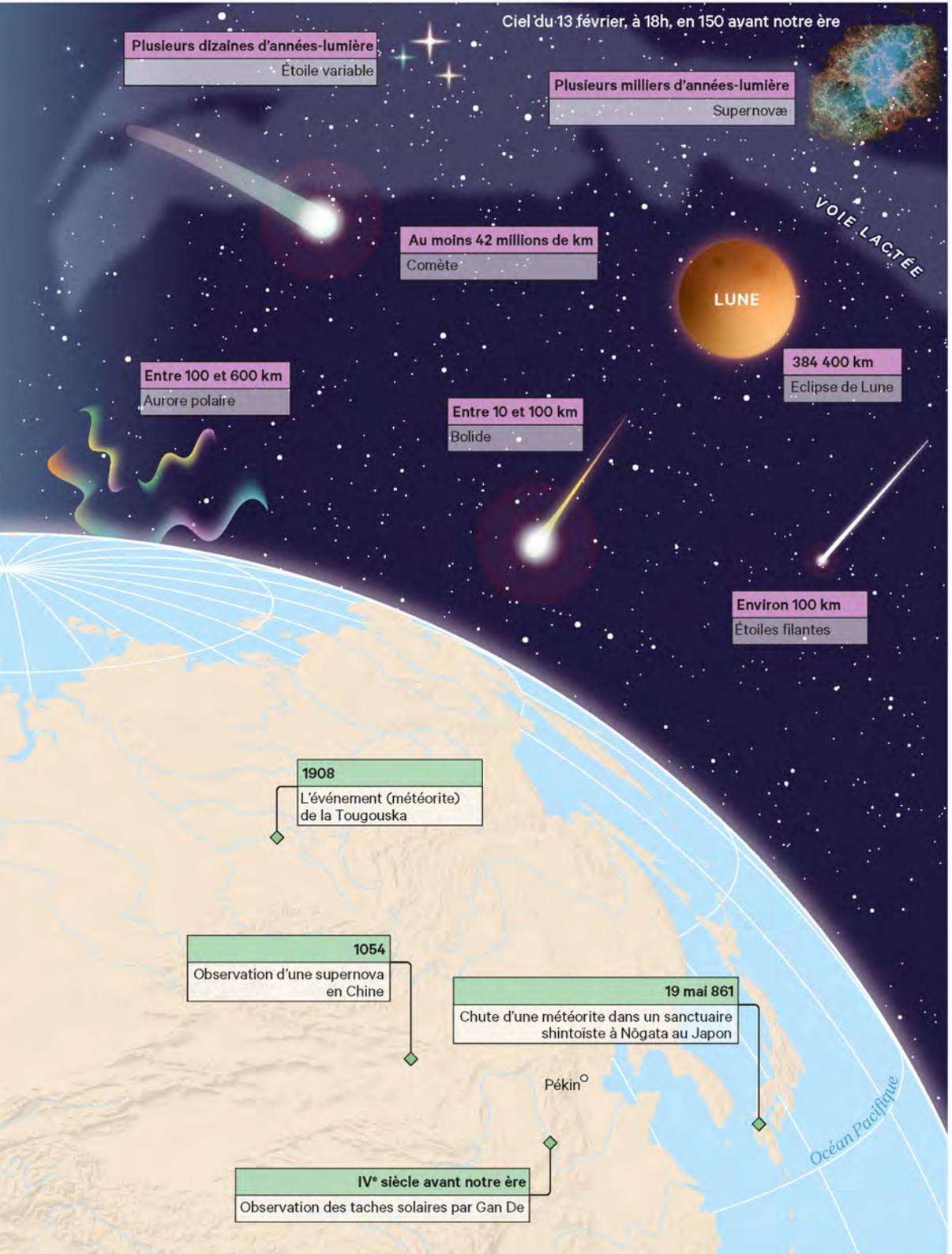
La Lune présente toujours à la Terre le même hémisphère, appelé face visible. L'autre hémisphère ne fut connu qu'après qu'un satellite lancé depuis la Terre l'a photographié en 1959. La Lune tournant en 28 jours environ autour de la Terre, et celle-ci autour du Soleil en 365 jours environ, la combinaison de ces deux mouvements produit pour l'observateur terrestre

la régularité des phases lunaires : tantôt la face visible est entièrement éclairée (pleine Lune), tantôt elle est entièrement dans l'ombre (nouvelle Lune), avec les phases intermédiaires. Ce rythme mensuel du temps, ainsi que la visibilité de la Lune depuis partout sur Terre ont permis la conception de calendriers lunaires dans de nombreuses cultures.

Des événements dans le ciel

La régularité des mouvements célestes, l'aspect immuable de la voûte étoilée contrastent avec la variabilité des arcs-en-ciel, des aurores boréales et autant d'autres événements célestes : étoiles filantes, éclipses ou comètes...





Le ciel : source de pouvoir (de -4000 ans à aujourd'hui)

Au fil de quarante siècles, la connaissance du ciel donne du pouvoir à ceux qui l'étudient, ainsi qu'aux princes. Observer et prévoir les changements du ciel, construire l'espace et le temps par leur mesure et leur organisation sociale, créer des références universelles ou encore se rendre dans le ciel à partir du XX^e siècle sont quelques aspects de ces pouvoirs.

Observer et prévoir

La régularité des phénomènes célestes permet leur prévision, utile pour l'agriculture comme pour la science. Les événements irréguliers, comme les éclipses ou les comètes, ne doivent pas prendre au dépourvu le pouvoir politique.

Construire le temps et l'espace

La mesure du temps permet au pouvoir de fixer les cérémonies et l'organisation sociale par le calendrier. La stabilité du ciel permet d'organiser l'espace : plan d'une ville, d'un bâtiment religieux, déplacement de soldats.

Créer des références universelles

L'arithmétique ou la géométrie se développent et les mesures de temps ou de longueur, que met en place le pouvoir, facilitent les échanges.

Aller dans le ciel

La puissance politique et les progrès techniques permettent l'exploration du Système solaire et au-delà, mais aussi des possibilités de surveillance et d'affrontement.

AMÉRIQUE DU NORD

1967

Le Traité sur l'espace, signé par les États-Unis, le Royaume-Uni et l'Union soviétique, régit l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique

1884

Heure GMT (heure moyenne de Greenwich) : première heure universelle

1792-1798

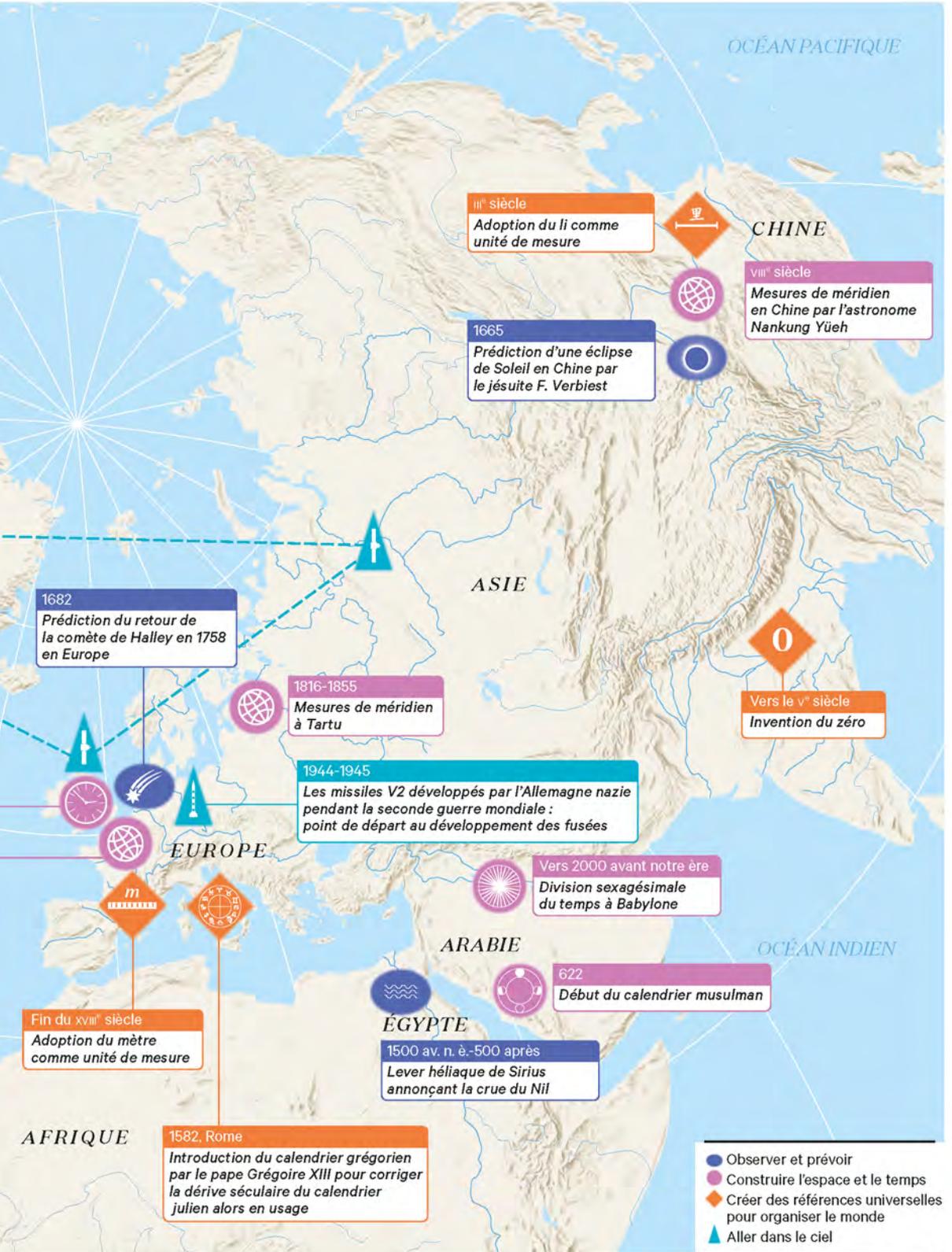
Mesures de méridien en France

AMÉRIQUE DU SUD

Chez les Incas

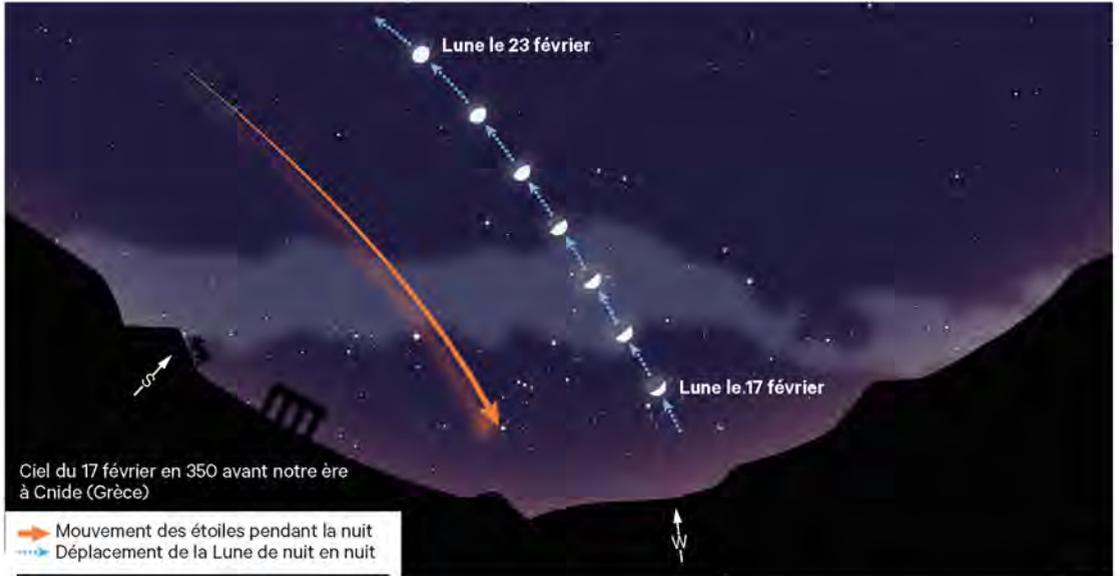
Les plantations de pommes de terre se basent sur le passage au zénith de l'étoile sacrée de Wilkawara (Sirius)

Océan Atlantique

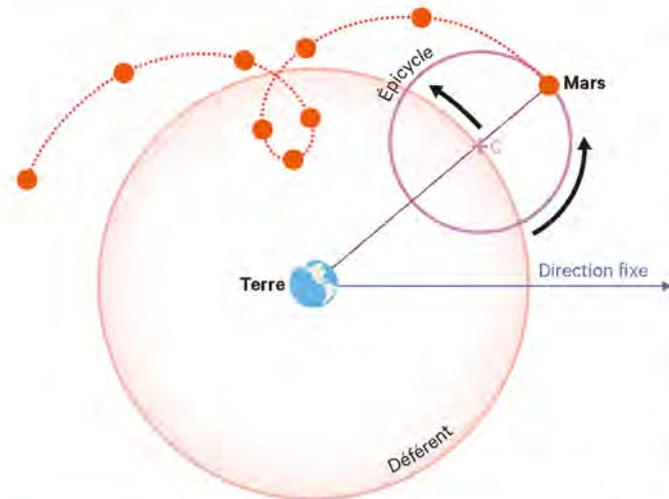


La Terre au centre (IV^e siècle av. n. è.)

Aux IV^e et III^e siècles, l'observation des mouvements – Lune, Soleil, planètes – a progressé, tandis que chaque penseur cherche à mieux décrire l'organisation du monde. Aristarque de Samos place le Soleil au centre (héliocentrisme) et met tous les astres en mouvement autour de lui, seule la Lune tourne autour de la Terre. Eudoxe de Cnide place la Terre au centre (géocentrisme).



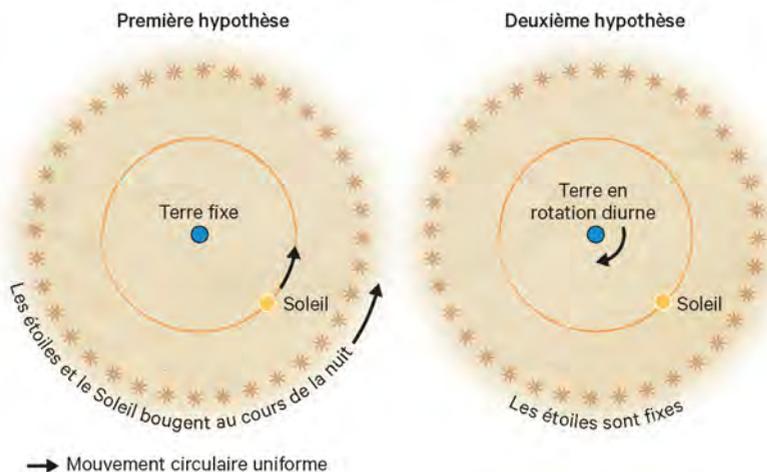
7918



- Trajectoire de Mars dans l'espace vue de la Terre
- ⊕ Épicycle, cercle de centre C, parcouru par la planète Mars
- ← Mouvement circulaire uniforme
- ⊕ Déferent: cercle ayant pour centre la Terre, parcouru par le point C

Des planètes qui posent question

Nuit après nuit, la Lune se déplace parmi les étoiles et son aspect change (ci-dessus). Puisque sa lumière provient du Soleil, sa rotation autour de la Terre est acceptée dès le VI^e siècle avant notre ère. Le parcours peu régulier des planètes interroge. Ainsi, Mars s'arrête parmi les étoiles, revient en arrière (rétrogradation), puis repart, et ceci se répète au fil des années. Apollonius de Perge (vers -200) introduit une idée qui fera son chemin: seul un cercle parcouru à vitesse constante peut décrire un mouvement céleste. Pour concilier l'observation de la planète Mars avec ce postulat, il propose que le mouvement observé combine deux cercles: Mars décrit un petit cercle, dont le centre parcourt un grand cercle centré sur une Terre immobile. En outre, ces cercles, comme la sphère des étoiles, sont emportés par la rotation quotidienne.



7918

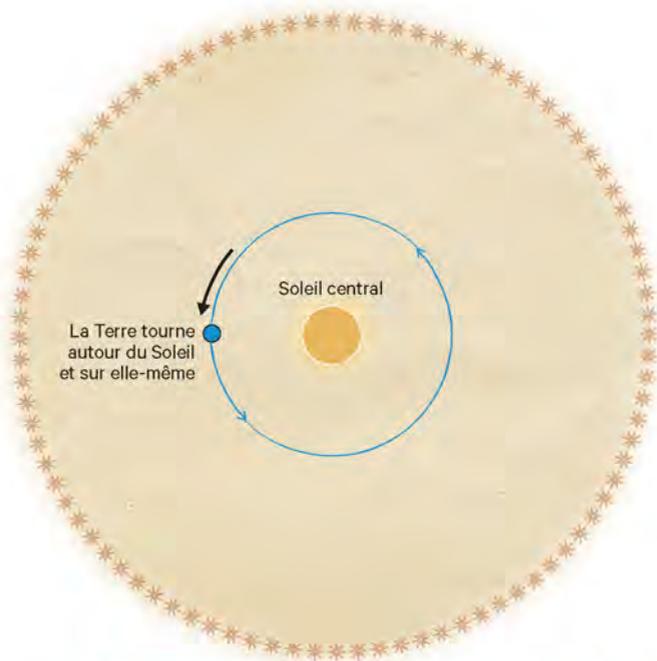
Terre fixe ou en rotation sur elle-même ?

Comment comprendre la simple observation du mouvement quotidien des étoiles la nuit, de celui du Soleil le jour ? Soit la lointaine sphère céleste, porteuse des étoiles, est fixe, et la Terre tourne sur elle-même en 24 heures, soit l'inverse : la Terre est immobile dans l'espace et la sphère céleste est en mouvement. Pour Aristarque de Samos, cité par Archimède (vers -220), mettre la Terre en rotation, plutôt que tous les astres, est plus simple.

7918

Terre ou Soleil au centre de rotation du monde ?

Comment interpréter le mouvement du Soleil au fil de l'année ? Si la Terre est immobile et centrale (géocentrisme), le Soleil tourne autour d'elle ainsi que les étoiles, comme le propose Eudoxe de Cnide (vers -360). Si le Soleil est central, la Terre possède un double mouvement : une rotation quotidienne et une orbite annuelle autour du Soleil (héliocentrisme d'Aristarque). Vers -330 avec Aristote et d'autres, nombre d'arguments s'opposent à la rotation diurne de la Terre, car un objet posé sur le sol devrait être emporté vers l'ouest ; de plus, aucune sensation de mouvement n'est perçue. L'expérience montrant que tous les corps tombent vers la Terre, celle-ci ne peut qu'être au centre du monde. Désormais Aristarque est oublié, le géocentrisme est la conception qui domine jusqu'à la Renaissance.

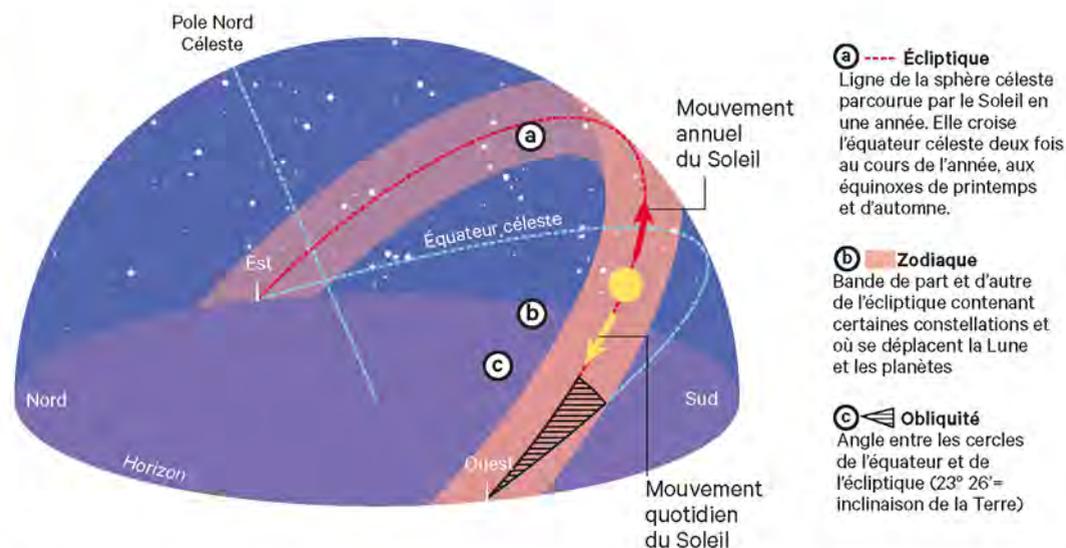


Arguments qui réfutent l'héliocentrisme

- 1 • Pas de parallaxe dans les constellations au fil de l'année
- 2 • Terre lourde, donc tout doit tomber vers son centre : Soleil central impossible
- 3 • Les objets devraient s'envoler vers l'Ouest

Hipparque et Ptolémée, le mouvement du Soleil

Au II^e siècle avant notre ère, grâce aux conquêtes d'Alexandre, l'héritage astronomique babylonien est transmis à la Grèce. À Rhodes, Hipparque, mathématicien et astronome, invente l'astrolabe, établit le premier catalogue d'étoiles, prévoit les éclipses avec ses tables de la Lune et du Soleil, et raffine la trigonométrie pour relier angles et longueurs dans le cercle.

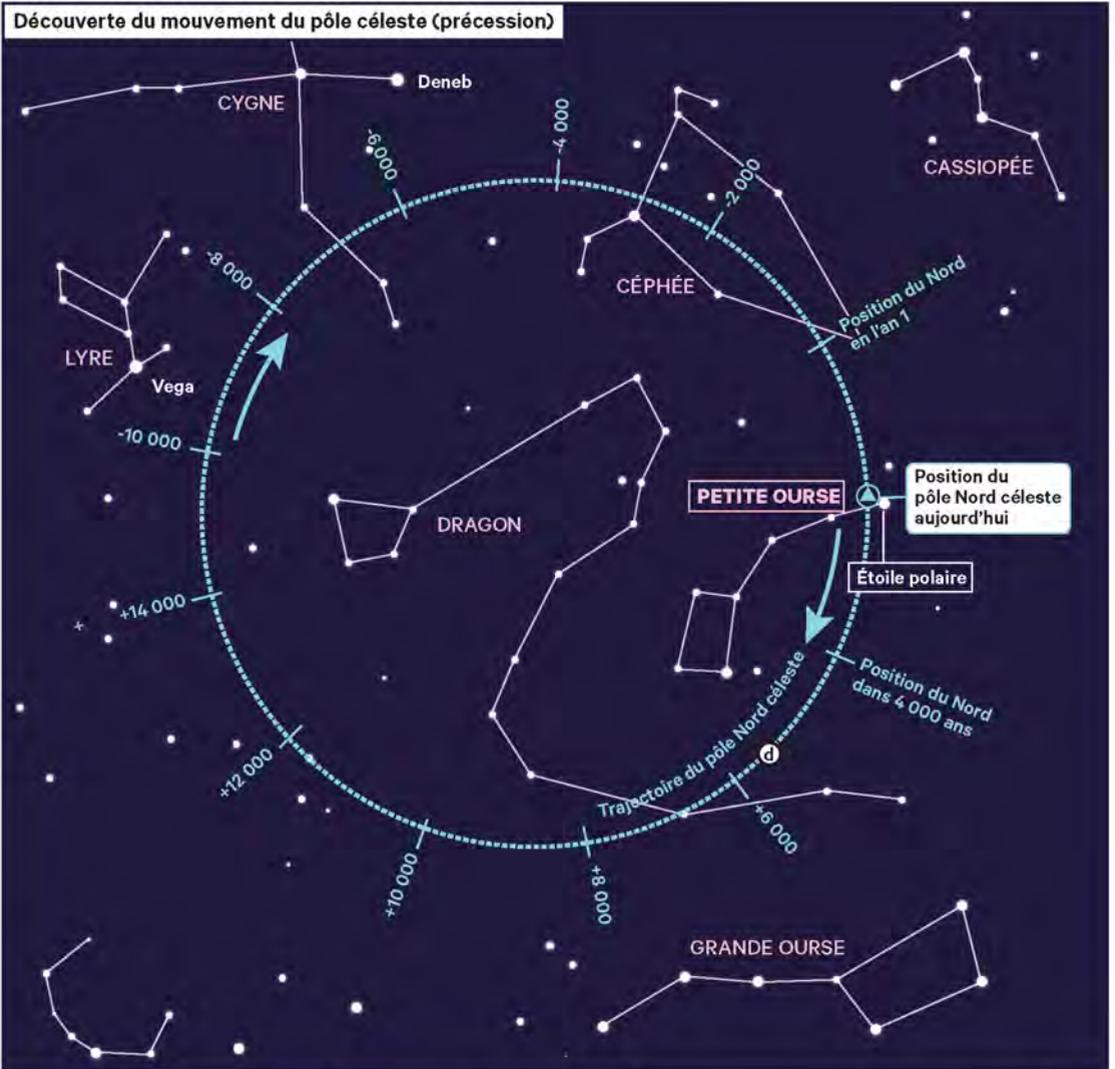


Le mouvement annuel du Soleil

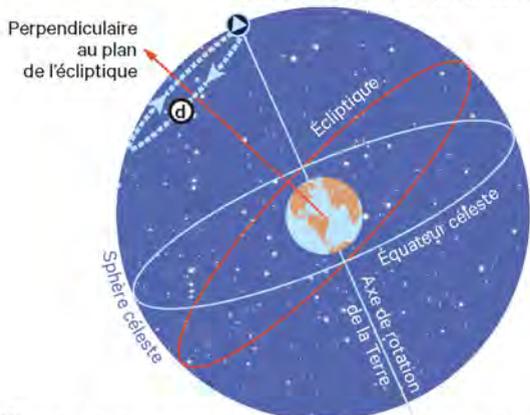
Pour déterminer si la durée de l'année solaire est immuable et vaut 365,25 jours comme admis alors, Hipparque améliore l'observation des ombres solaires aux équinoxes et évalue cette durée à 365,2467 jours. Les longueurs des saisons étant connues comme inégales, il les précise : en -130, le printemps est six jours plus long que l'automne. Un mouvement

géocentrique, circulaire et à vitesse constante du Soleil sur l'écliptique, ne peut expliquer ces différences. Hipparque suppose alors que le cercle décrit à vitesse constante par le Soleil n'est pas centré sur la Terre, mais légèrement excentré. Ce modèle lui permet de calculer des tables du mouvement du Soleil qui seront utilisées pendant plus d'un millénaire.





Position du pôle Nord céleste actuel



d Cercle décrit par le pôle Nord céleste en 26 000 ans en raison du changement d'orientation de l'axe de la Terre par rapport aux étoiles (=précession)

La précession des équinoxes

L'équinoxe de printemps se produit lorsque le Soleil, parcourant l'écliptique, traverse l'équateur céleste. L'intersection des deux cercles de la sphère, appelée « point vernal », marque le début du printemps et leur angle est appelé « obliquité ». Confrontant ses observations à celles de ses prédécesseurs des deux siècles écoulés, Hipparque constate que ce point n'occupe pas la même position par rapport aux étoiles qui l'entourent et calcule qu'il doit faire un tour complet en 26 000 ans (appelé « précession des équinoxes »). En conséquence, le pôle Nord céleste, fixé par l'orientation de l'axe de rotation diurne de la Terre, décrit un cercle parmi les étoiles. Alpha de la Petite Ourse, étoile Polaire d'aujourd'hui, perdra ce rôle de pôle Nord céleste dans quelques centaines d'années.

Constellations et catalogues du ciel

Héritiers des constellations égyptiennes et babyloniennes, ainsi que du nom des étoiles brillantes, Hipparque puis Ptolémée mesurent la position d'un millier d'étoiles, affectées chacune à une constellation. Les mesures de Ptolémée, avec sa sphère armillaire, sont assez précises pour vérifier que les étoiles sont bien fixes les unes par rapport aux autres. Ce sont les premiers catalogues d'étoiles de l'histoire.

L'Épopée de la création

Écrite au XII^e avant notre ère, l'Épopée de la création (*Enūma eliš*) met en scène le dieu créateur Marduk, qui affecte trois étoiles à chacun des douze mois de l'année et ordonne leur mouvement. À chaque mois sont attribuées trois constellations. Leurs noms sont ceux d'animaux, d'outils agricoles.

Les catalogues d'étoiles

En l'an -150 à Rhodes, Hipparque identifie 850 étoiles, donnant leurs coordonnées et classant leur éclat. Trois siècles après, Ptolémée fait la liste de 48 constellations, dont 47 sont conservées aujourd'hui. Un œil nu, avec un ciel pur loin des villes, distingue 9000 étoiles sur la sphère céleste.

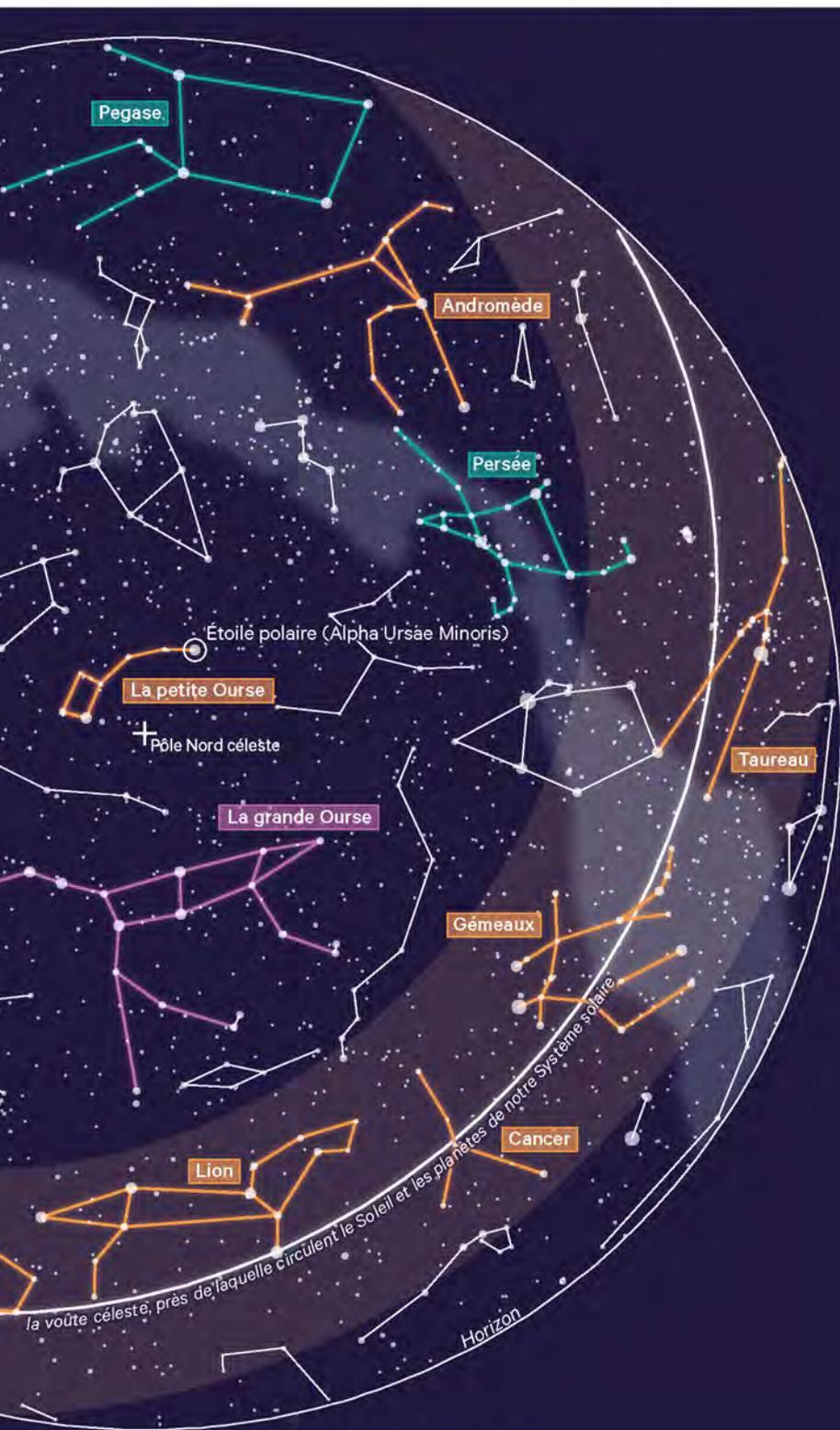
Hipparque et le palimpseste

La réalité du catalogue d'étoiles d'Hipparque était contestée, car seul celui de Ptolémée était connu. La découverte en 2020 d'un parchemin du V^e siècle, effacé et réemployé (palimpseste), cite directement le catalogue d'Hipparque avec des positions au degré près, donc plus précises que chez Ptolémée.

L'étoile Polaire n'est pas située au centre de cette carte du ciel, datée de 150 avant notre ère, du fait du changement continu de direction de l'axe de rotation de la Terre (précession des équinoxes), selon un cycle de 26 000 ans.

-  Constellation actuelle dont l'héritage remonte avant le V^e millénaire avant notre ère
-  Constellation actuelle héritée des Mésopotamiens
-  Constellation actuelle héritée des Grecs (Ptolémée)
-  Constellation actuelle à l'héritage non précisé
-  Bande du zodiaque





Orion dans l'Odyssee

Au VIII^e siècle avant notre ère, Homère cite cette belle constellation du ciel d'hiver. Orion accompagne à la chasse la déesse Artémis. Un baiser volé l'irrite. Piqué par un scorpion, Orion meurt puis est envoyé dans le ciel. Le scorpion a droit aussi à une constellation, lointaine, se levant quand Orion se couche.

Histoires d'aujourd'hui

En 1922, à la première réunion de l'Union astronomique internationale, une liste des 88 constellations désormais officielles fut établie; leurs noms, précisés et le tracé de leurs frontières, ensuite fixé en 1930. Tout événement de la sphère céleste porte le nom de la constellation où il se situe.

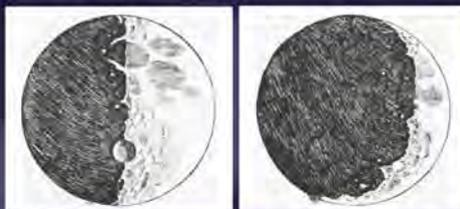
Le ciel de Galilée

Pour la première fois, un homme scrute le ciel avec un instrument, collectant au moins dix fois plus de lumière que l'œil nu. Très vite, Galilée découvre que la Lune, la Voie lactée, le Soleil, Saturne différent de ce que l'on imaginait. Jupiter est entouré de lunes, et Galilée se rallie au système héliocentrique de Copernic. La physique d'Aristote, qui faisait autorité, ne résiste pas. Pendant un procès marquant l'histoire, Galilée lutte pour faire accepter le mouvement de la Terre autour du Soleil, dont une preuve indiscutable ne sera apportée que bien plus tard.

Observation des satellites de Jupiter (7 au 10 janvier 1611)



Observation de la Lune (30 novembre 1610)

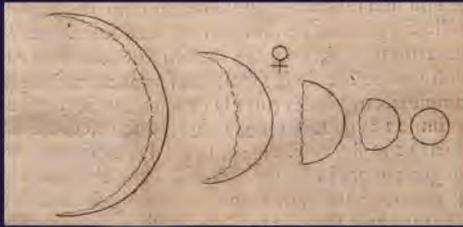


Le ciel de Padoue en hiver 1609-1610

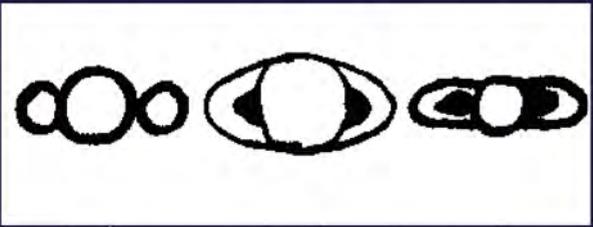
Né à Pise en 1564, Galileo Galilei contribue d'abord à la mécanique, puis enseigne jusqu'en 1610 à l'université de Padoue. En 1604, il observe à l'œil nu une brillante « étoile nouvelle » (supernova de Kepler), qui ébranle sa vision aristotélicienne du monde. En 1609, il apprend qu'un Hollandais, Lippershey, a inventé une longue-vue améliorant la vision d'objets éloignés. Il en construit une, la perfectionne et la présente au doge de Venise. En 1610, il observe la Lune qui, présentant des montagnes, est donc imparfaite.

Il découvre aussi le semis d'étoiles formant la Voie lactée et les lunes mobiles qui tournent autour de Jupiter. Ces satellites lui indiquent que tout ne tourne pas autour de la Terre, que les sphères de cristal de Ptolémée n'existent pas : Copernic a raison. En mars, il publie ses découvertes dans le *Sidereus Nuncius*, qui connaît un immense succès et le rend célèbre. Ses lunettes améliorent la résolution de l'œil d'un facteur dix au moins. En juillet, il quitte Padoue pour Pise et Florence, où règnent les Médicis.

Observation des phases de Vénus (juillet 1611)



Observation des anneaux de Saturne (septembre 1611)



Observation des taches du Soleil (août 1611)



7918

Le ciel de Florence, été 1610

À Florence, Galilée observe le ciel avec une lunette et remarque les taches du Soleil, déjà signalées et pourtant ignorées, puis la rotation de l'astre sur lui-même à partir du déplacement des taches. Observant Vénus, il découvre ses phases – « premier quartier », « pleine Vénus »... –, prouvant clairement sa rotation autour du Soleil, en accord avec l'héliocentrisme.

Observant Saturne, la forme allongée de l'image l'étonne, sans que son instrument discerne l'existence d'anneaux. Il suppose donc que Saturne est un « objet triple ». Contesté en 1613 pour les contradictions de ses observations avec la Bible, il réplique en discernant la science et la foi. En 1616, le pape Paul V suit l'Inquisition et bannit l'héliocentrisme et le mouvement de la Terre. En 1632, avec l'accord du pape Urbain VIII, Galilée publie le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, qui défend la thèse copernicienne. Condamné en 1633 à renoncer à ses idées et assigné à résidence, il meurt en 1642.

La science se structure (XVI^e-XIX^e)

1610

Avec sa lunette, Galilée est le premier à dépasser la limite de l'œil nu. Il observe les montagnes de la Lune, les phases de Vénus, et les satellites de Jupiter.



Johannes Kepler

1571-1630

Copernicien et élève de Tycho Brahe, J. Kepler utilise les mesures de Mars faites par ce dernier et détermine une trajectoire elliptique. Il énonce les trois lois empiriques régissant les mouvements planétaires. Cercle et mouvement uniforme sont abandonnés.

1629

Annonce par J. Kepler des passages de Mercure (en 1631) et Vénus (en 1639 et 1761) devant le Soleil. Observés et calculés, ces mouvements donnent les dimensions des orbites.

1676

Observant un satellite de Jupiter à l'observatoire de Paris, Ole Römer déduit que la vitesse de la lumière n'est pas infinie, et donne une première estimation.



Edmund Halley

1656-1742

Observant la comète en 1682, en repérant des passages antérieurs, E. Halley prédit son retour en 1758. La comète passera bel et bien en 1759. L'astronome est à l'origine de la première carte du ciel austral.

1675

Création de l'observatoire de Greenwich à Londres.

1727

L'observation de l'aberration des étoiles (déplacement apparent des astres en fonction de celui de l'observateur et de la vitesse de la lumière) est la preuve directe que la Terre tourne autour du Soleil.

1735-1736

Expéditions au Pérou (Pierre Bouguer, Charles de La Condamine) et en Laponie (Pierre de Maupertuis) dans le but de mesurer un méridien proche de l'équateur.

1737

Confirmation de l'aplatissement terrestre, en accord avec les mesures de Newton.

1756

Traduction des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* de Newton en français par Émilie du Châtelet.

1840-1850

Premières photographies astronomiques (Soleil et Lune).

1838

Première mesure de distance par la méthode de la parallaxe sur l'étoile 61 du Cygne (Friedrich Wilhelm Bessel).



Friedrich Wilhelm Bessel

1784-1846

Mathématicien et géodésien, il fait en 1838 les premières mesures précises de la distance d'une étoile, et découvre une étoile naine blanche, compagne invisible de l'étoile Sirius.

1846

Découverte de la planète Neptune par le calcul (Urbain Le Verrier).



Angelo Secchi

1818-1878

Jésuite, il est un des pionniers de la spectroscopie, appliquée au Soleil et aux étoiles. Il établit une classification de celles-ci, fondée sur le spectre de leur lumière et précise la nature de la couronne solaire, observée lors d'une éclipse.

1859

Gustav Kirchhoff établit la loi de rayonnement d'un corps chauffé, d'où se déduit la température des étoiles.



Galileo Galilei

1564-1642

Il pointe vers le ciel une longue-vue, accumule les découvertes et bouleverse les fondements de l'astronomie. Son étude de la chute des corps crée une mécanique nouvelle. Par la recherche de la preuve par l'expérience, il fonde la science moderne.



Christiaan Huygens

1629-1695

Observateur, il construit ses télescopes et découvre Titan, satellite de Saturne. Il formule la première conception ondulatoire de la lumière et comprend l'effet centrifuge. Il construit la première horloge à pendule, apportant un gain de précision.

1660

Création de la Royal Society à Londres.



Isaac Newton

1642-1727

Mathématicien, physicien, théologien, I. Newton fonde la mécanique, les lois du mouvement, la gravitation dans l'Univers. Bien que sa conception de la lumière soit inadéquate, il décompose la lumière blanche en couleurs. Il invente le télescope à miroir.

1667

Création de l'observatoire de Paris.



1666

Création de l'Académie des sciences à Paris.



1759

Retour observé de la comète de Halley.



William Herschel

1738-1822

Découvreur d'une nouvelle planète, Uranus, W. Herschel construit des télescopes de diamètre croissant avec sa sœur Caroline. Tous deux obtiennent une première estimation de l'organisation de la Voie lactée et de ses dimensions. L'astronome découvre la lumière infrarouge.

1774-1781

Charles Messier élabore un catalogue d'une centaine de nébuleuses, objets qui se distinguent des étoiles par leur étendue.



1821

Premier spectre du Soleil (Joseph von Fraunhofer).



1815

Mesure précise du changement d'orientation de l'axe de la Terre par rapport aux étoiles en 26 000 ans (précession) et de sa petite oscillation additionnelle (nutaton) par F. W. Bessel.



1795

Pierre-Simon de Laplace établit la stabilité du Système solaire dans le temps.



1781

Découverte de la planète Uranus et première détermination de l'étendue de la Galaxie (William Herschel).



1867

Première classification des étoiles par leur couleur.



1884

Adoption internationale du temps moyen de Greenwich (GMT) comme référence.



1887

Entreprise mondiale de la Carte du Ciel.



1912

Création du temps universel et du Bureau international de l'heure à Paris.



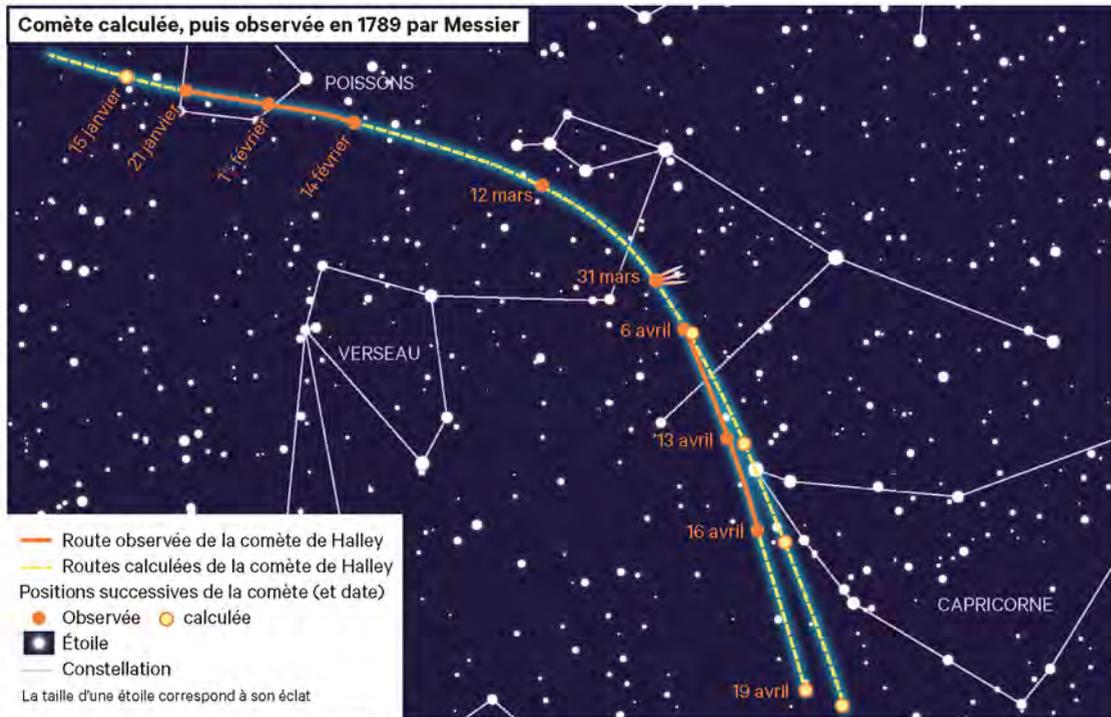
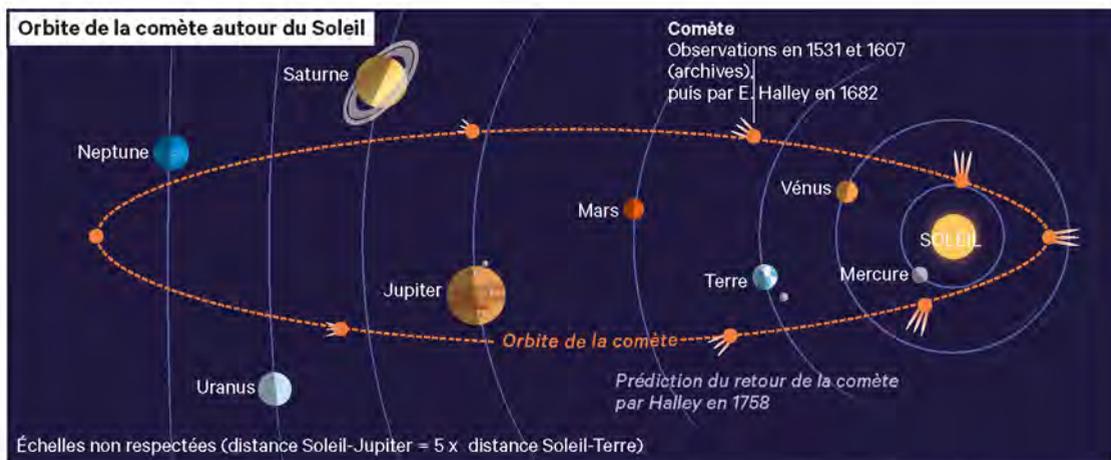
1919

Mise en service du télescope Hooker de 2,5 mètres au mont Wilson à Los Angeles.

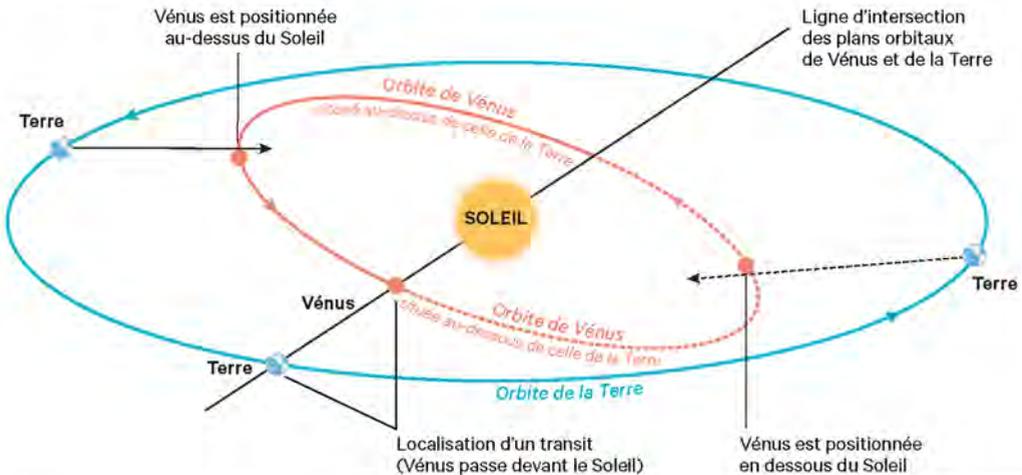


La mécanique de Newton dans le Système solaire

En 1705, proposant de considérer que la comète vue en 1682 est la même que celles de 1531 et 1607, Halley, fondant son étude sur la gravitation universelle de Newton (exposée en 1687), prédit son retour pour 1758. Ce sera 1759. Et le triomphe de Newton, dont la loi s'impose désormais pour le calcul de tous les mouvements célestes et permet la découverte de Neptune en 1842. Le passage de Vénus devant le Soleil en 1769 déclenche une compétition entre la France et l'Angleterre pour déterminer avec précision la distance entre la Terre et le Soleil.



Passages de Vénus devant le Soleil



7918

▲ Calculer la distance entre la Terre et le Soleil

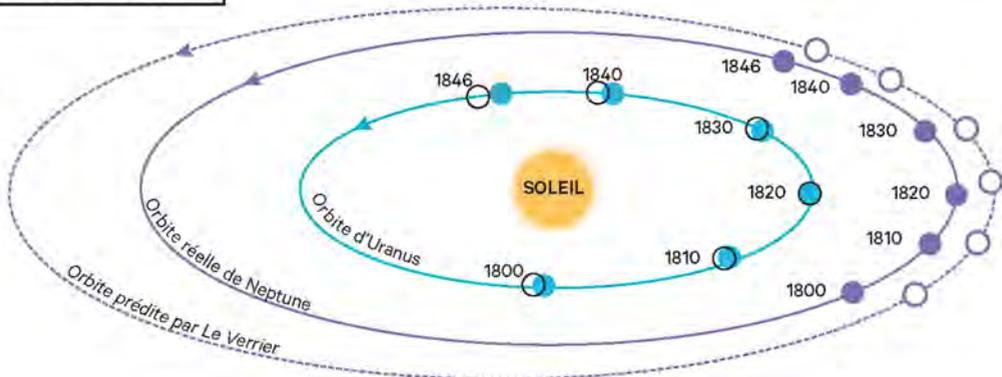
Fin XVI^e siècle, l'unité astronomique (UA), distance séparant la Terre du Soleil, repose sur l'estimation fautive de Ptolémée. L'Écossais Gregory, puis Halley proposent d'utiliser un passage de Vénus devant le Soleil, vu à partir de deux points terrestres éloignés. Deux passages, séparés de huit ans, se répètent tous les cent dix ans, les plans orbitaux de Vénus et de la Terre ne coïncidant pas. Halley, en 1677, observe un passage de Mercure. Il veut améliorer la précision avec un passage de Vénus qu'il prédit pour juin 1761, mais il meurt peu avant. Le passage de 1769 suscite les expéditions de James Cook à Tahiti et de Guillaume Le Gentil en Inde. La distance au Soleil s'affine : Jérôme de Lalande calcule 153 millions de kilomètres pour l'UA, proche de la valeur exacte.

7918

▼ Entre 1655 et 1846, deux planètes nouvelles

Dès 1655-1656 aux Pays-Bas, avec le télescope qu'il met au point, Huygens découvre Titan, satellite de Saturne, et comprend que Saturne possède un anneau. En 1781 en Angleterre, Herschel, avec un télescope de 17 centimètres, découvre la planète Uranus, visible à l'œil nu, mais jusque-là prise pour une étoile. C'est la première nouvelle planète découverte depuis l'Antiquité. Son orbite est correctement calculée selon Newton. Existerait-il d'autres planètes plus éloignées encore du Soleil ? En 1846 à Paris, Urbain Le Verrier (1811-1877), observant de petites déviations à l'orbite calculée d'Uranus et en recherchant la cause gravitationnelle, prédit l'endroit du ciel où doit se trouver l'objet responsable : Neptune est aussitôt découverte par l'astronome Johann Galle à Berlin.

La découverte de Neptune



- Position attendue d'Uranus en l'absence de perturbation par Neptune
- Position observée d'Uranus

- Position de Neptune prédite par Le Verrier
- Position réelle de Neptune

Mystérieuses nébuleuses

Les télescopes montrent des objets qui n'ont pas l'aspect ponctuel d'étoile et sont appelés nébuleuses. En 1752, Nicolas de Lacaille en fait un inventaire dans l'hémisphère Sud, puis une centaine est cataloguée par Charles Messier en 1771 en France. S'y mêlent des objets, parfois connus par l'œil nu, comme les Nuages de Magellan. L'avenir révélera la diversité de ces nébuleuses. En 1864, la spectroscopie débutante montre que certaines forment un milieu interstellaire de gaz et poussières.

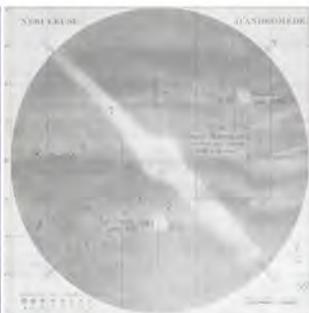
Amas globulaire



M 15 (NGC 7078)



Galaxie



M31 Galaxie d'Andromède (NGC224)



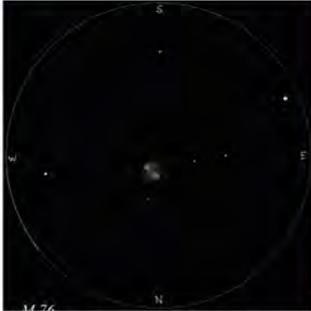
Reste de supernova



M1 Nébuleuse du Crabe (NGC 1952)



Nébuleuse planétaire



M76 Petit Haltère (NGC650)



Nuage interstellaire



M42 Nébuleuse d'Orion (NG1976)



Amas ouvert d'étoiles



M35 (NGC 2168)



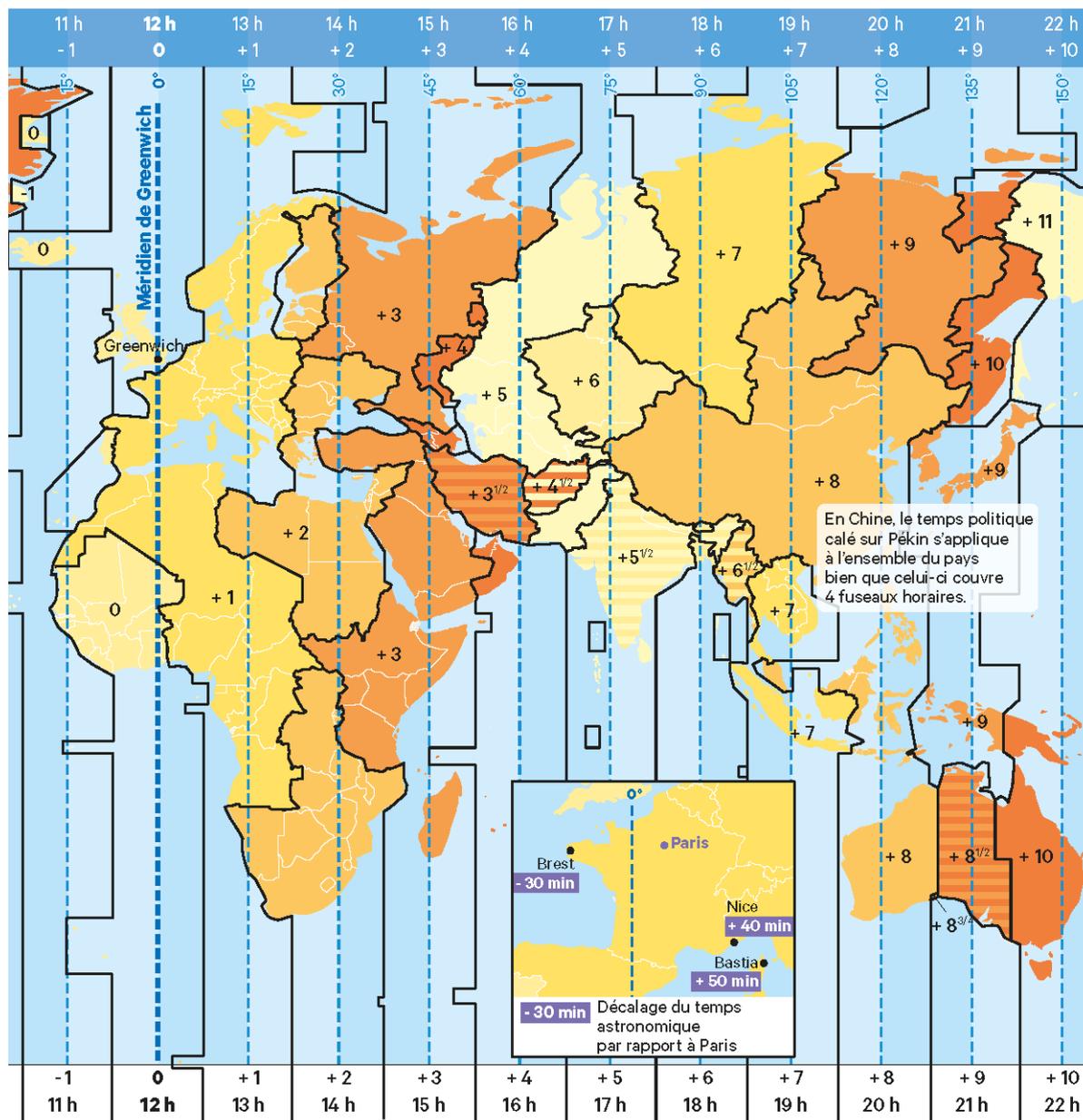
7918

Catalogue de Messier

Éminent chasseur de comètes, Charles Messier (1730-1817) assimile par erreur la nébuleuse du Crabe à la comète de Halley, dont il attendait le retour dans cette région du ciel (la constellation du Taureau). Pour ne plus se méprendre, il décide alors de créer une liste des objets non cométaires, connue sous le nom de « catalogue Messier ». Ces objets nébuleux, alors de nature inconnue, sont fixes par rapport aux étoiles. La nébuleuse du Crabe est le premier objet du catalogue Messier : M1. D'autres catalogues, plus complets, ont été établis par la suite. Ainsi la galaxie d'Andromède, voisine de notre Galaxie, est nommée M31 dans le catalogue Messier et NGC 224 dans le New General Catalogue (1888).

Un temps universel

Au XIX^e siècle, le développement des transports et échanges requiert une heure propre à un pays, et une heure de référence mondiale entre ceux-ci. Un temps universel, puis des temps régionaux sont mis en place, en référence au temps déterminé par la rotation de la Terre, centralisé à Paris. L'amélioration constante de la précision des horloges mécaniques met en évidence des irrégularités de la rotation diurne de la Terre, en avance ou en retard de plusieurs secondes, ce qui conduit en 1967 à une nouvelle définition de la seconde.



Temps universel et temps politique

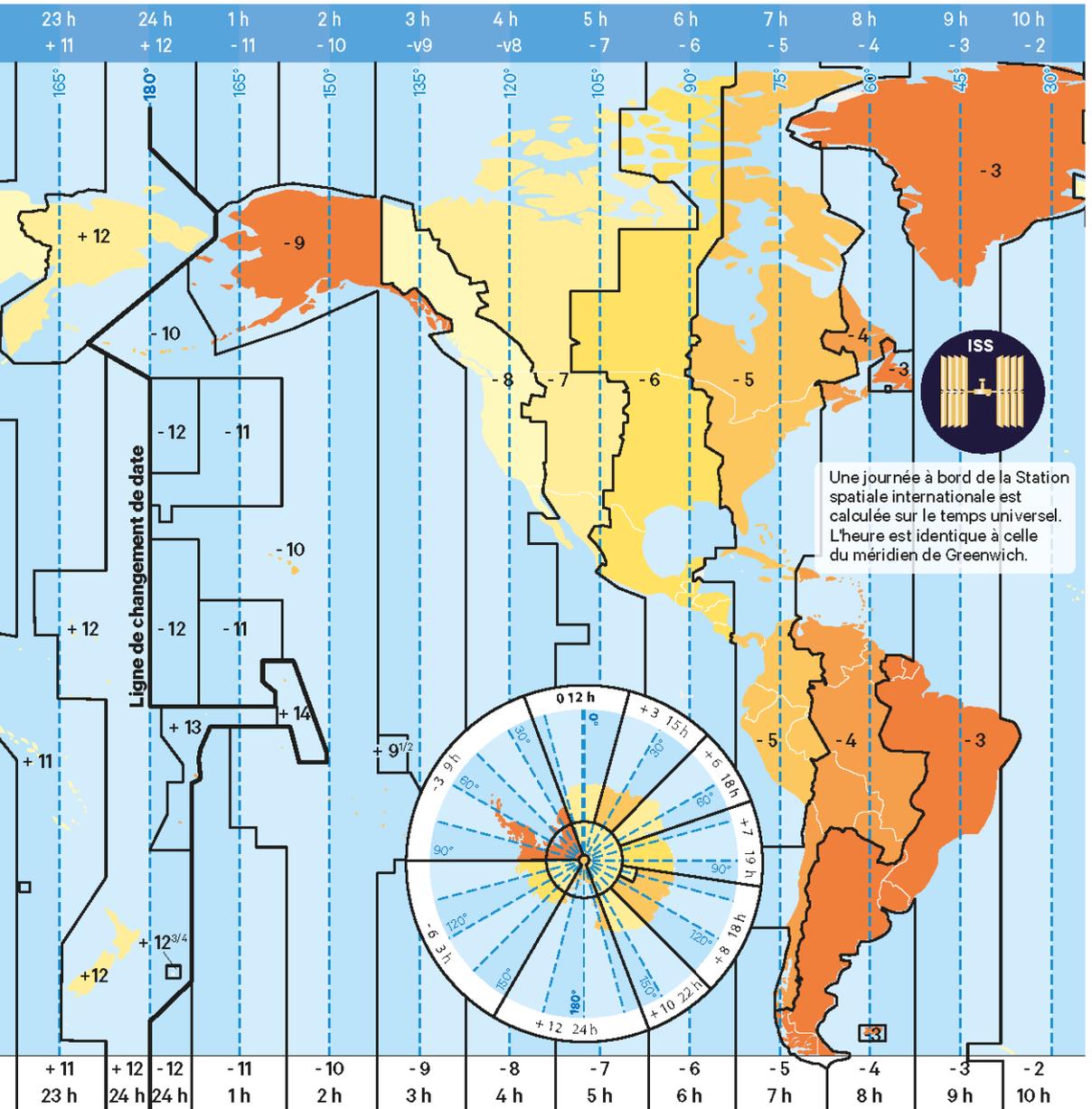
Le télégraphe et les chemins de fer nécessitent l'unification des horaires. En 1847, le temps GMT (Greenwich Mean Time), calé sur le midi solaire de l'observatoire de Londres, est généralisé à tout le Royaume-Uni. En 1884, à la conférence internationale de Washington, le monde est partagé en 24 fuseaux horaires de 15° de longitude avec pour méridien 0° celui de Greenwich. Chaque pays adapte ensuite l'horaire à son territoire. Le Bureau international de l'heure, à Paris depuis 1912, est responsable de la transmission radio du GMT, abandonnée en 1972 du fait des irrégularités de la rotation terrestre. Un temps atomique (TA) est créé, indépendant de cette rotation. Pour maintenir l'accord avec la durée du jour, le temps universel coordonné (UTC) est recalé si nécessaire sur le TA.

Le temps astronomique

- 13 h** Heure locale
- +1** Nombre d'heure de décalage par rapp^t au méridien 0°
- |** Méridien 0° (Greenwich)

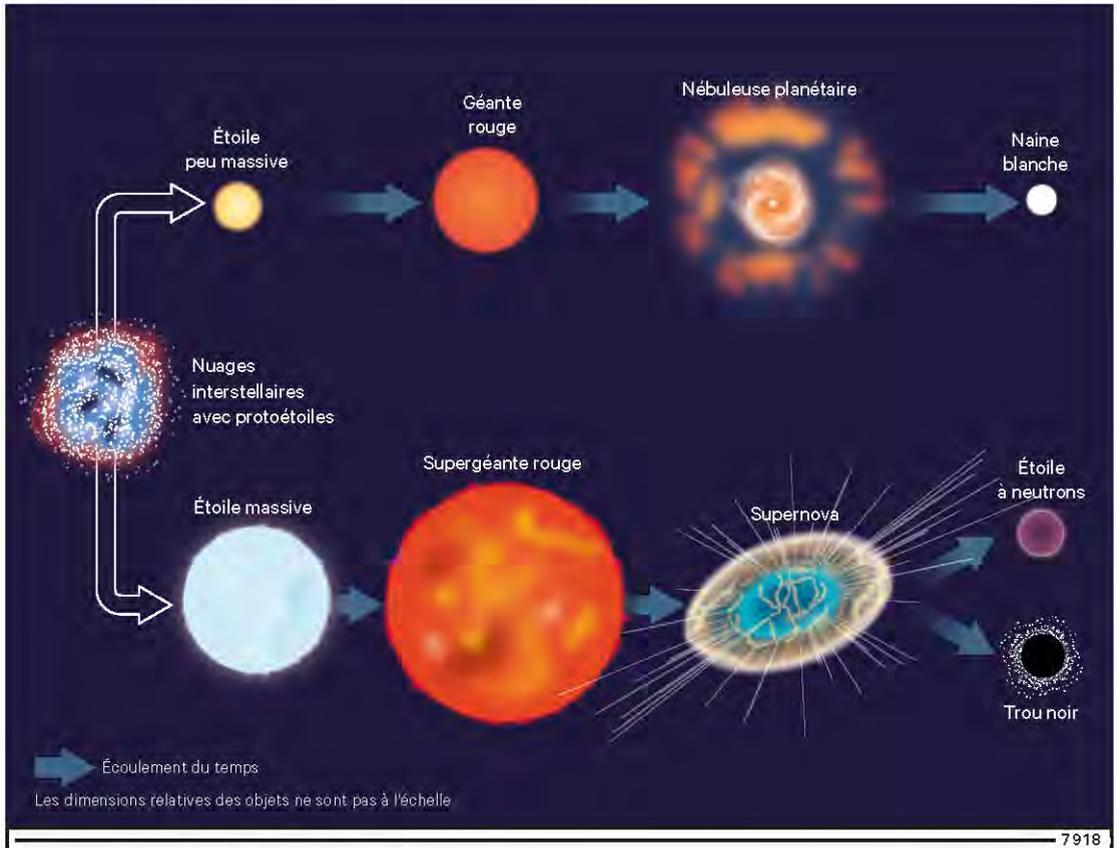
Le temps politique

- 13 h** Heure locale
- +1** Nombre d'heures de décalage
- |** Limite des fuseaux horaires



L'évolution des étoiles

En raison de leur grande diversité, les étoiles sont classées en fonction de leur éclat et de leur masse. Leur éclat demeure stable pendant des millions et jusqu'à des milliards d'années en fonction de leur masse. Au terme des réactions nucléaires, elles se transforment ou explosent en dispersant leur matière dans l'espace.



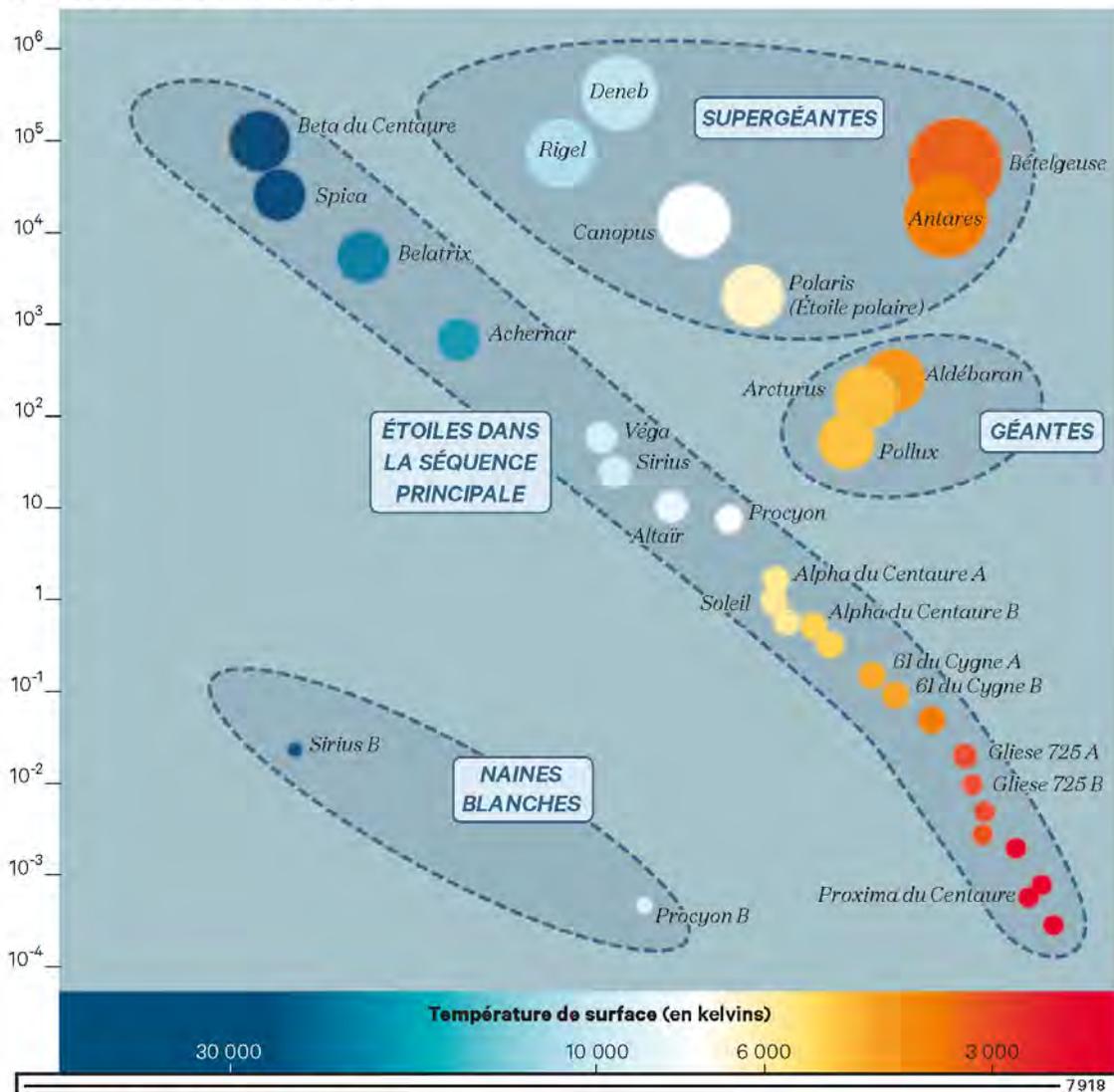
Formation et évolution des étoiles

Dans une galaxie, la gravitation condense la matière des nuages interstellaires (gaz et poussière) en « grumeaux » de masse variable. Ces grumeaux s'effondrent sur eux-mêmes, formant une ou deux étoiles, et souvent un système planétaire associé. Les étoiles peu massives, tel le Soleil, ont une durée stable d'éclat de plusieurs milliards d'années, jusqu'à épuisement de leurs réactions nucléaires en leur cœur,

se gonflant alors en géante rouge, jusqu'à devenir une naine blanche peu lumineuse. Les étoiles plus massives ont une durée plus courte de stabilité (millions d'années) avant que les réactions nucléaires du cœur s'emballent, conduisant à un gonflement en supergéante, puis une explosion en quelques secondes (supernova), avec émission brève de très intense lumière, et dispersion de leur matière dans l'espace.



Luminosité (1 = luminosité du Soleil)



Parcours d'une étoile au cours du temps

La carte d'identité d'une étoile est simple : sa température effective, la puissance lumineuse qu'elle rayonne, appelée luminosité (en watt ou gigawatt !) et sa masse. Chaque étoile peut être placée dans un diagramme, créé par Ejnar Hertzsprung et Henry Russell en 1910. Ainsi, quatre ensembles apparaissent : la séquence principale, les domaines occupés par les

naines blanches, les géantes et les supergéantes. Plus la température est élevée, plus la couleur de l'étoile vire du rouge au blanc, puis au bleu. La séquence principale est occupée par les étoiles dans la phase stable de leur éclat et de leur combustion nucléaire. Elles y demeurent pendant une durée variant selon leur masse, avant d'évoluer vers un autre des trois domaines.

1934

Invention du terme « supernova » (W. Baade et F. Zwicky)

1938

Explication de la production d'énergie par les étoiles (H. Bethe)

1939

Prédiction de l'existence des trous noirs (R. Oppenheimer)

1965

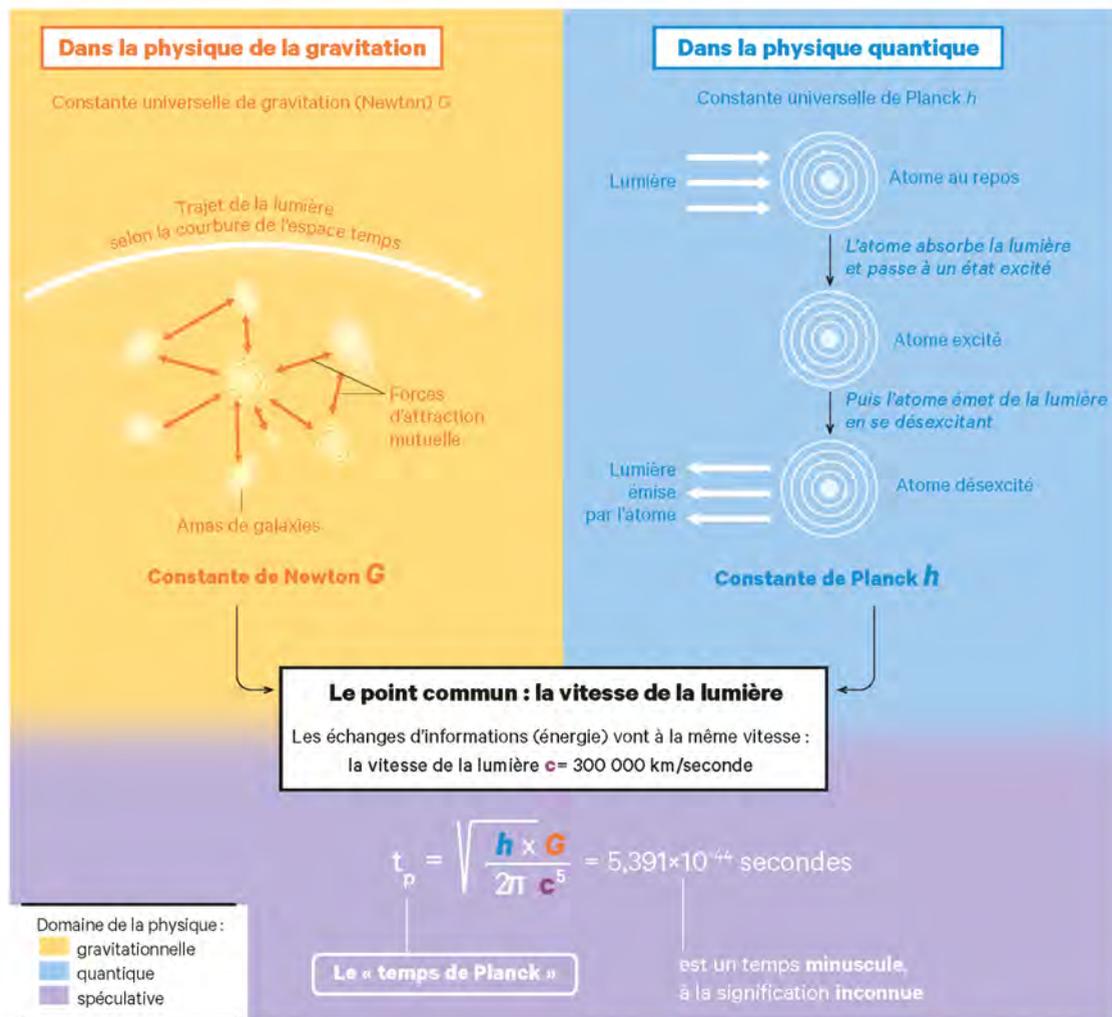
Premier trou noir découvert

1967

Existence d'étoiles à neutrons (F. Pacini, J. Bell et A. Hewish)

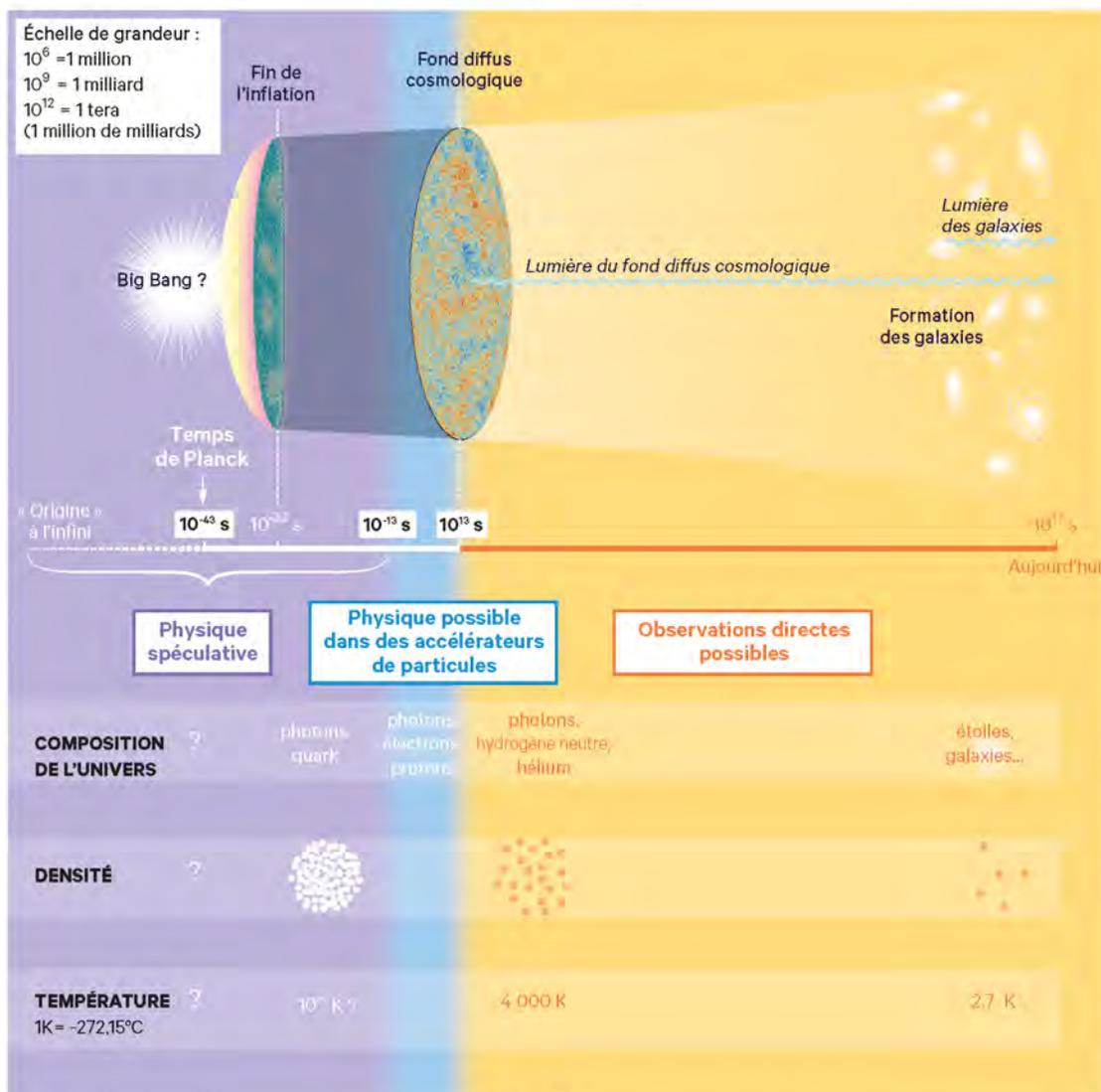
Le big bang : une inaccessible origine

En 1933, Georges Lemaître conclut que l'Univers a pu exister sous forme d'un atome primitif, où la matière de tout l'Univers serait condensée. Cet état primitif fit débat. Aujourd'hui le rayonnement de fond et la matière observée confirment un état primitif chaud et dense. La cosmologie peut donner un modèle de ce passé, mais la physique bute sur ses limites, car elle ne sait pas encore faire la synthèse entre gravitation et physique quantique.



Timeline of key events:

- 1899** Proposition d'un « temps de Planck » (M. Planck)
- 1933** Hypothèse de l'atome primitif, visant à expliquer le passé de l'Univers (G. Lemaître)
- 1948** Invention du terme « Big Bang » (F. Hoyle)
- 1964** Théorie des quarks, particules plus petites que les neutrons et les protons (M. Gell-Mann et G. Zweig)



7918

7918

◀ Le temps de Planck

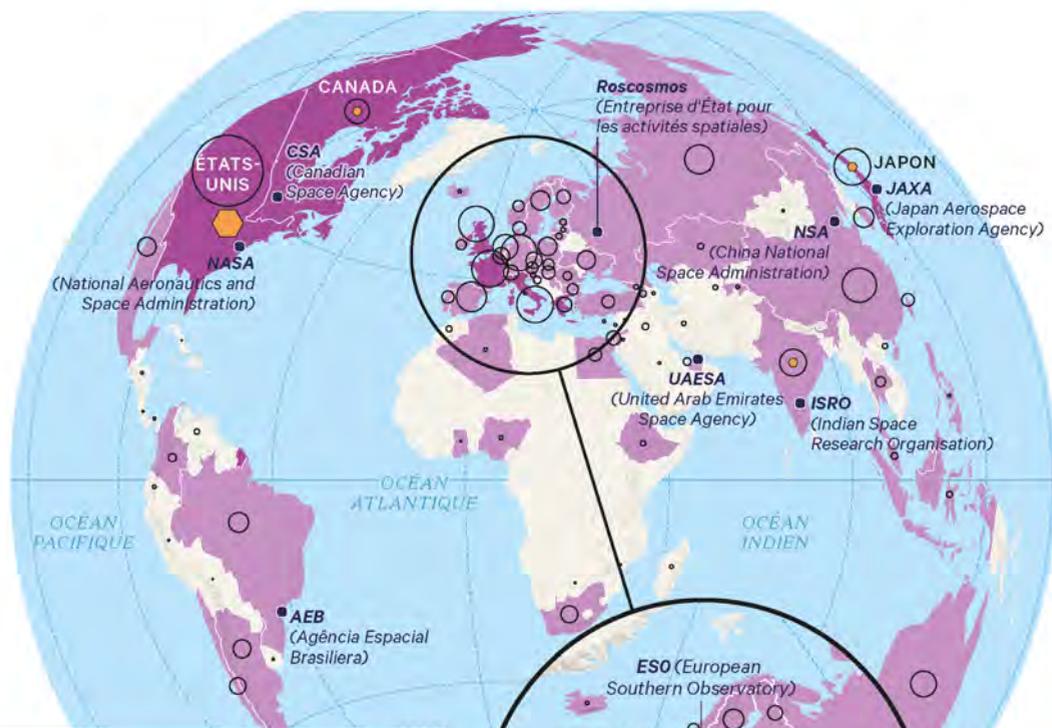
La physique développée au XX^e siècle connaît deux immenses succès. Par la gravitation et la relativité, elle décrit l'Univers à grande échelle (galaxies, étoiles, planètes). Par la physique quantique, elle le décrit à petite échelle (noyaux, atomes, molécules, gaz et solides). Les ondes gravitationnelles et la lumière transportent l'information à la même vitesse (c). Trois nombres universels structurent l'Univers : c pour tout échange d'information (lumière, gravitation...), G propre à la gravitation, h (constante de Planck) propre aux sauts d'énergie dans le monde quantique des atomes. Le physicien Max Planck, en 1899, remarqua qu'avec une simple combinaison de ces seuls trois nombres on fabriquait une durée temporelle, qui est peut-être le plus petit temps concevable par la physique, appelé « temps de Planck ».

▲ Dans la profondeur extrême du passé

Décrire l'évolution de l'Univers primordial, avant la formation des galaxies et l'émission du rayonnement de fond, est un défi pour la physique et l'astrophysique. Des vestiges en subsistent, mais nous ne sommes pas encore à même de les interpréter entièrement. Une échelle différente de l'écoulement du temps sur Terre peut être choisie. Renvoyant à un temps situé infiniment loin dans le passé, elle pose autrement la question de l'origine. En parcourant l'histoire « à l'envers », la physique décrit un Univers de plus en plus dense, de plus en plus chaud. Parvenir au temps de Planck, qui combine les constantes G (gravitation) et h (physique quantique) demande une physique encore nouvelle, capable de représenter un Univers où monde quantique et gravitation s'appliquent ensemble.

Coopération et compétition

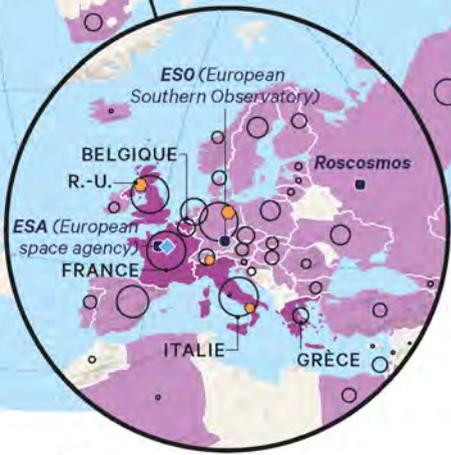
Depuis les années 1950, les progrès reposent sur de puissants moyens d'observation, demandant un soutien financier dépassant souvent celui d'un État. Aussi des coopérations internationales s'organisent sans pour autant faire disparaître l'inévitable compétition entre chercheurs. La participation de l'humanité à cet effort est très inégale selon la richesse des pays.



7918

Les acteurs de l'étude du ciel

En 1919, l'Union astronomique internationale (UAI) est créée à Paris, rassemblant quelques communautés d'astronomes autour de la Carte du Ciel et de la mesure de l'heure. Lieu d'échange, l'UAI veille à la protection de l'espace, nomme les objets célestes nouveaux, s'étend aux pays les moins riches. Après 1957, l'accès à l'espace offre de nouveaux moyens d'exploration, qui appellent à la création par les États d'agences spatiales nationales, ou régionales comme en Europe. La complexité des moyens techniques, tant pour les instruments terrestres que pour les observatoires spatiaux, implique une participation active d'industries « de pointe », aux technologies innovantes. Tous ces acteurs alternent coopération, source de projets ambitieux et d'échanges féconds, et compétition pour la primauté d'une découverte, les brevets d'un nouveau procédé ou l'attraction des meilleurs scientifiques.



- Agence spatiale
- ◆ Siège de l'UAI (Union astronomique internationale)
- Membre fondateur (communautés d'astronomes) de l'UAI
- Membre ultérieur de l'UAI (à partir de 1921)

Effectifs d'astronomes (recensés par l'UAI)

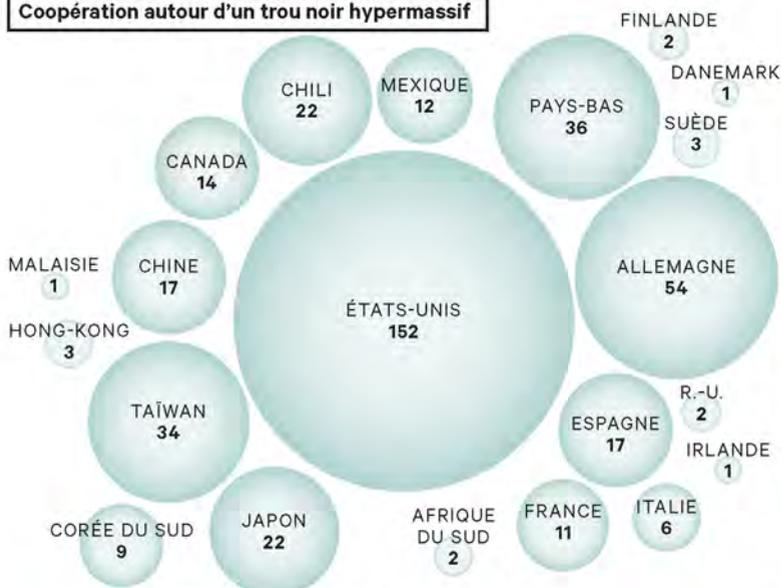
- 2630
- 700
- 80
- 7

Pays ayant un ressortissant primé au prix Nobel de physique touchant au ciel ces 50 dernières années

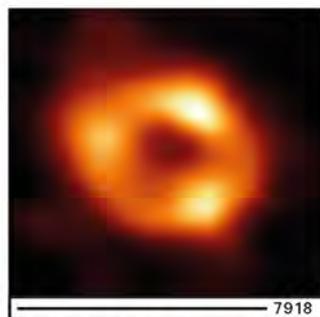
- 10 prix
- 2 prix
- 1 prix

Voir également — Aliquam euismod libero p. 444
 Aliquam euismod libero (iiiè siècle av. J.-C.) p. 444

Coopération autour d'un trou noir hypermassif



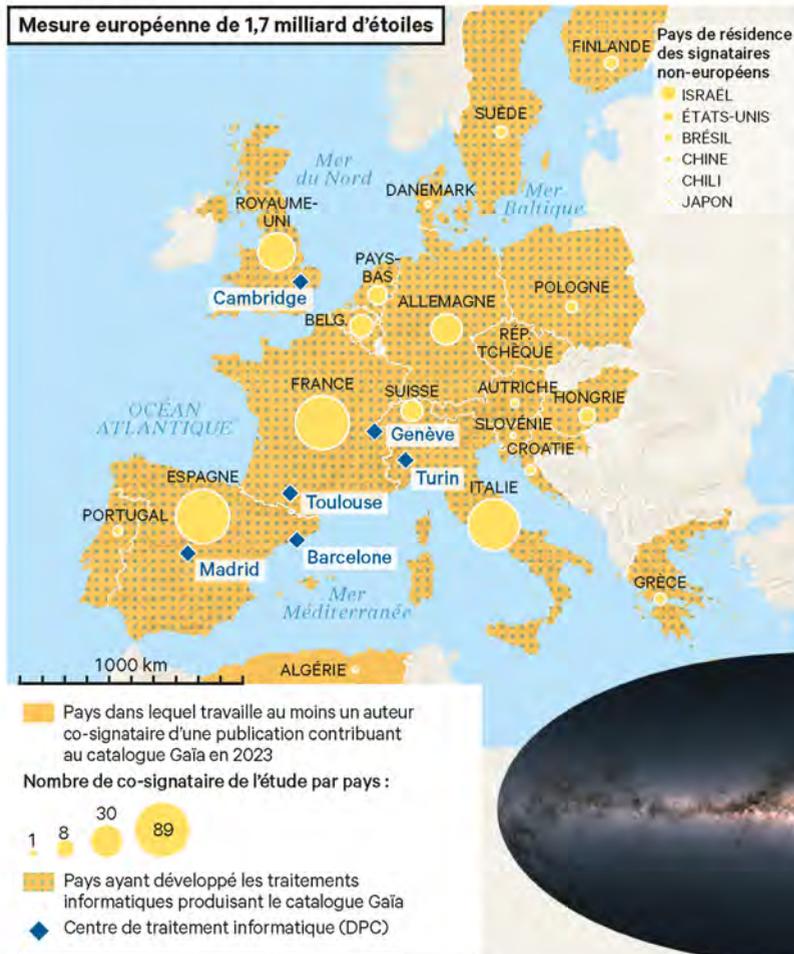
Le nombre représente les signataires par pays de résidence



Coopérations exemplaires

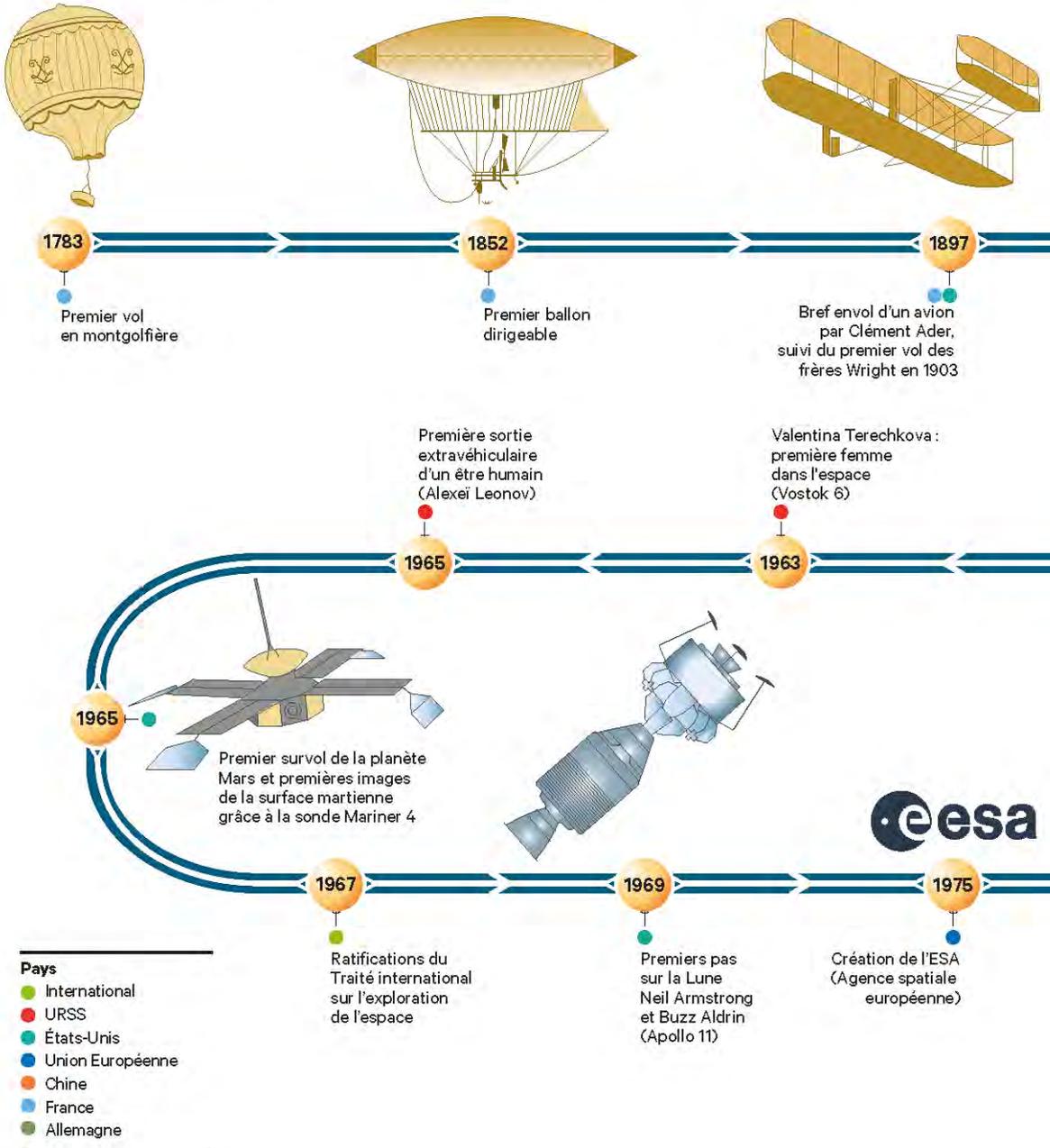
Au début des années 2020, deux grandes coopérations internationales concernent des projets dont aucune nation ne pourrait supporter le coût, ni aucun laboratoire exploiter seul les résultats. Elles impliquent chercheurs, ingénieurs, entreprises et universités. La première, initiée par les États-Unis, est le consortium Event Virtual Observatory (EVN), rassemblant des radiotélescopes répartis à la surface de la Terre. Ayant reçu les ondes radio émises près du trou noir SgrA*, au centre de notre Galaxie, un traitement informatique donne en 2022 une image nouvelle (l'environnement du trou noir, ci-dessus), et bien d'autres objets sont étudiés. La deuxième est une coopération européenne qui s'est proposé de réaliser une carte des étoiles de la Galaxie (ci-dessous, la Voie lactée). L'observatoire Gaia, placé dans l'espace en 2013, a mesuré la position de 1,7 milliard d'étoiles, avec parfois couleur et vitesse. Ces résultats sont peu à peu publiés : 400 auteurs les signent en 2023.

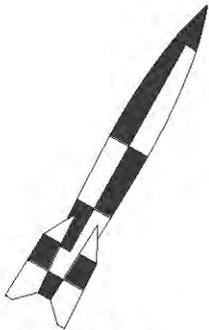
Mesure européenne de 1,7 milliard d'étoiles



Fusées et satellites

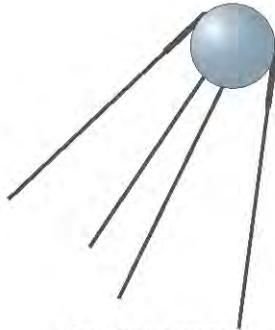
Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem v. 450 signes maxi.





Premier tir des missiles allemands V2

1944

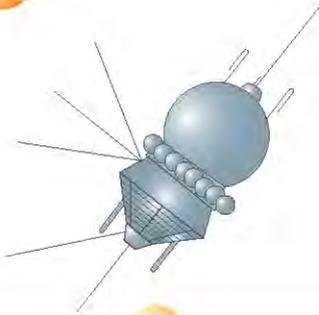


Sputnik 1: premier objet satellisé, lancé par la fusée soviétique R-7

1957

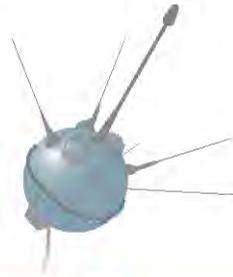
La chienne Laïka : premier être vivant à être envoyé dans l'espace (Sputnik 2)

1957



1961

Youri Gagarine : premier être humain à avoir effectué un vol dans l'espace (Vostok 1)



1959

Premier survol de la Lune par la sonde soviétique Luna 1, qui devient le premier objet artificiel en orbite autour du Soleil

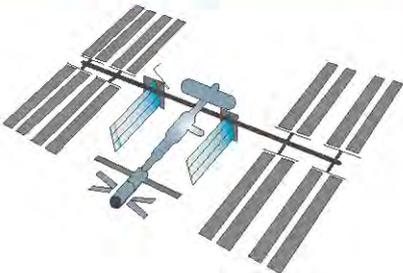


Création de la NASA (Agence spatiale des États-Unis)

1958

Lancement de l'ISS (Station spatiale internationale)

1998



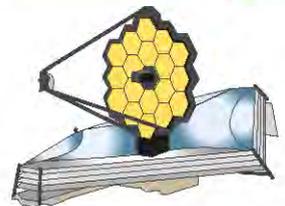
Lancement de la station spatiale chinoise Tiangong 1

2011



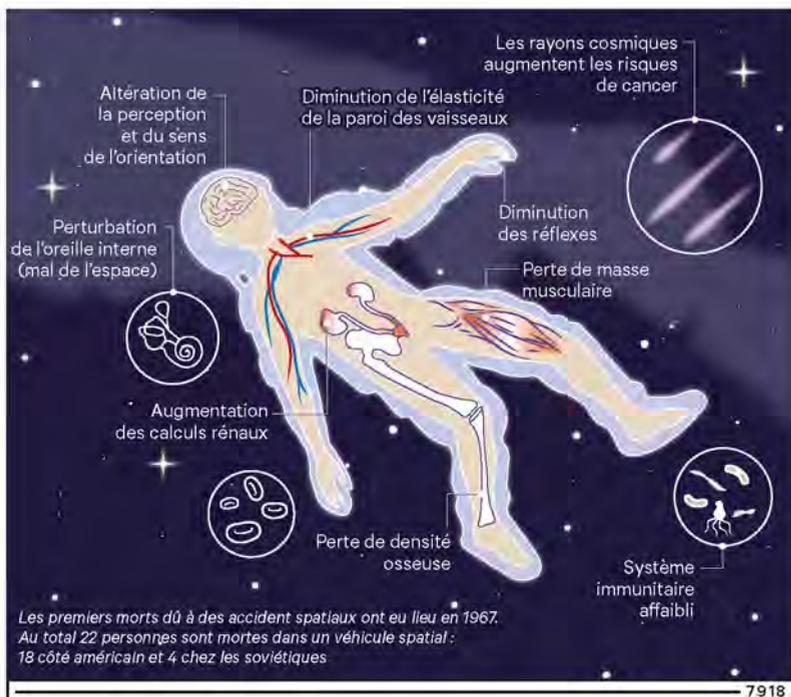
Lancement de James Webb, le plus grand télescope spatial et la mission scientifique la plus coûteuse de l'histoire (collaboration NASA, ESA et ASC)

2021



Les humains dans l'espace

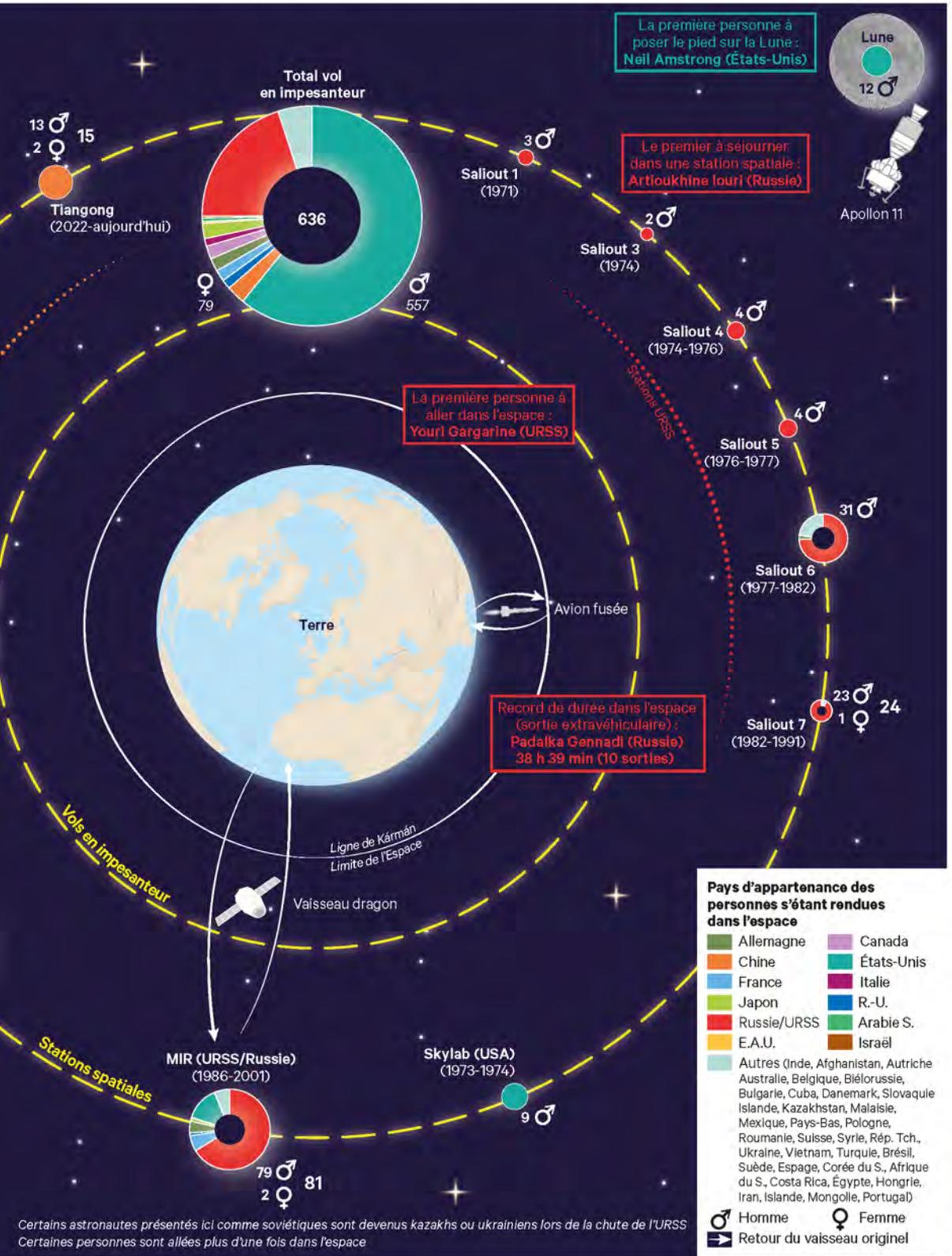
400 signes maxi sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue.



Vivamus leo 1300 signes

Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus. Curabitur eu amet. Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus. Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt

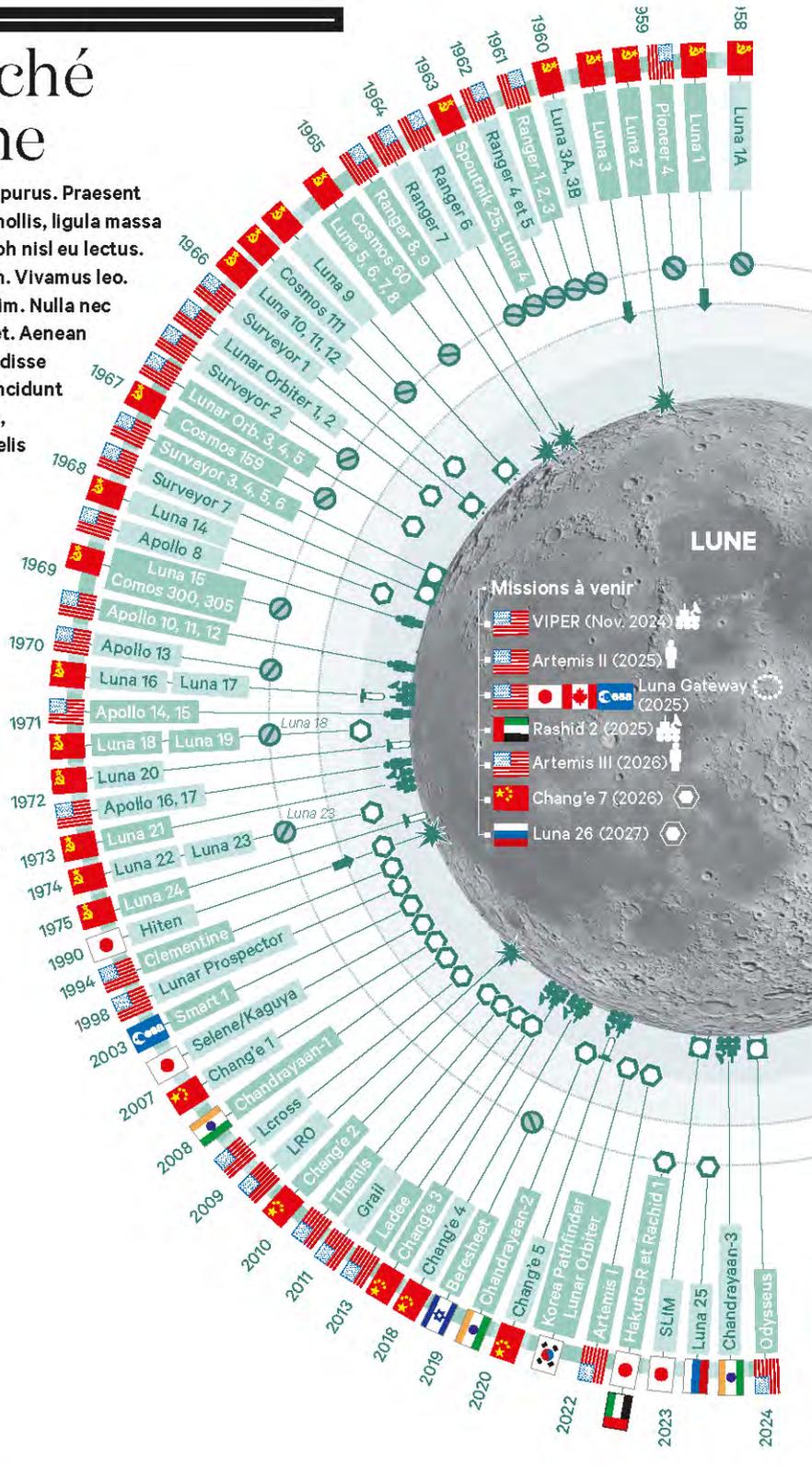




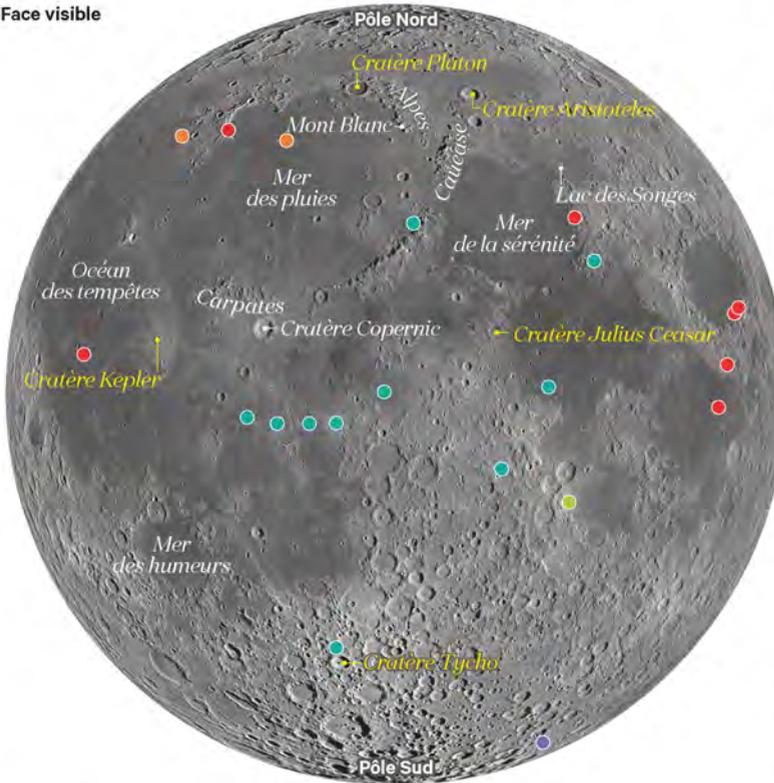
On a marché sur la Lune

Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus. Curabitur eu amet 500 signes maxl.

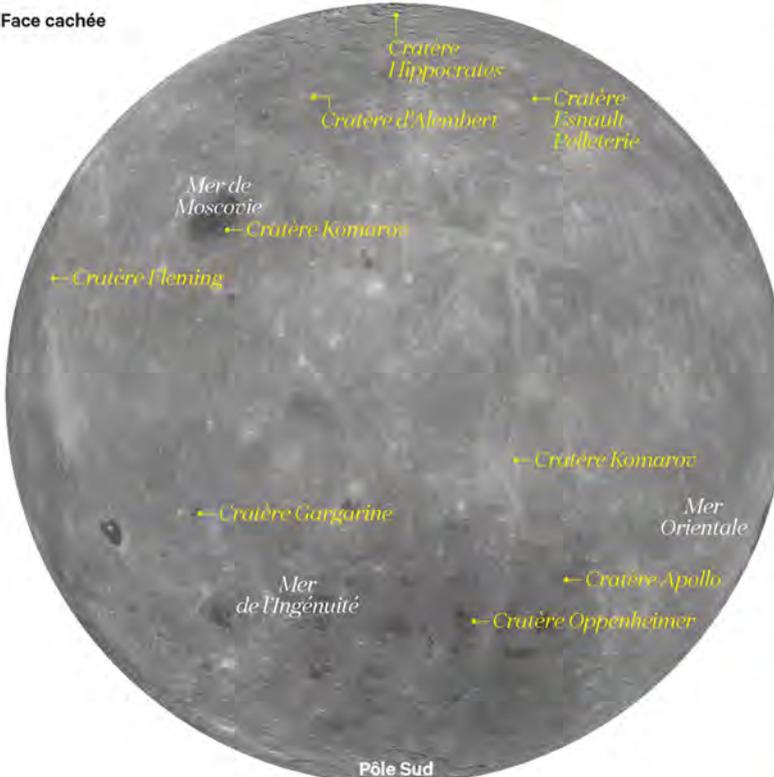
-  URSS
-  États-Unis
-  Japon
-  Agence spatiale européenne
-  Chine
-  Inde
-  Israël
-  Corée du Sud
-  Russie
-  Émirats arabes unis
-  Canada
-  Échec mission
-  Survol
-  Orbiteur
-  Atterrisseur
-  Impacteur
-  Rover
-  Mission habitée
-  Retour d'échantillons
-  Station spatiale en orbite



Face visible



Face cachée



7918

Vivamus leo 1450 signes

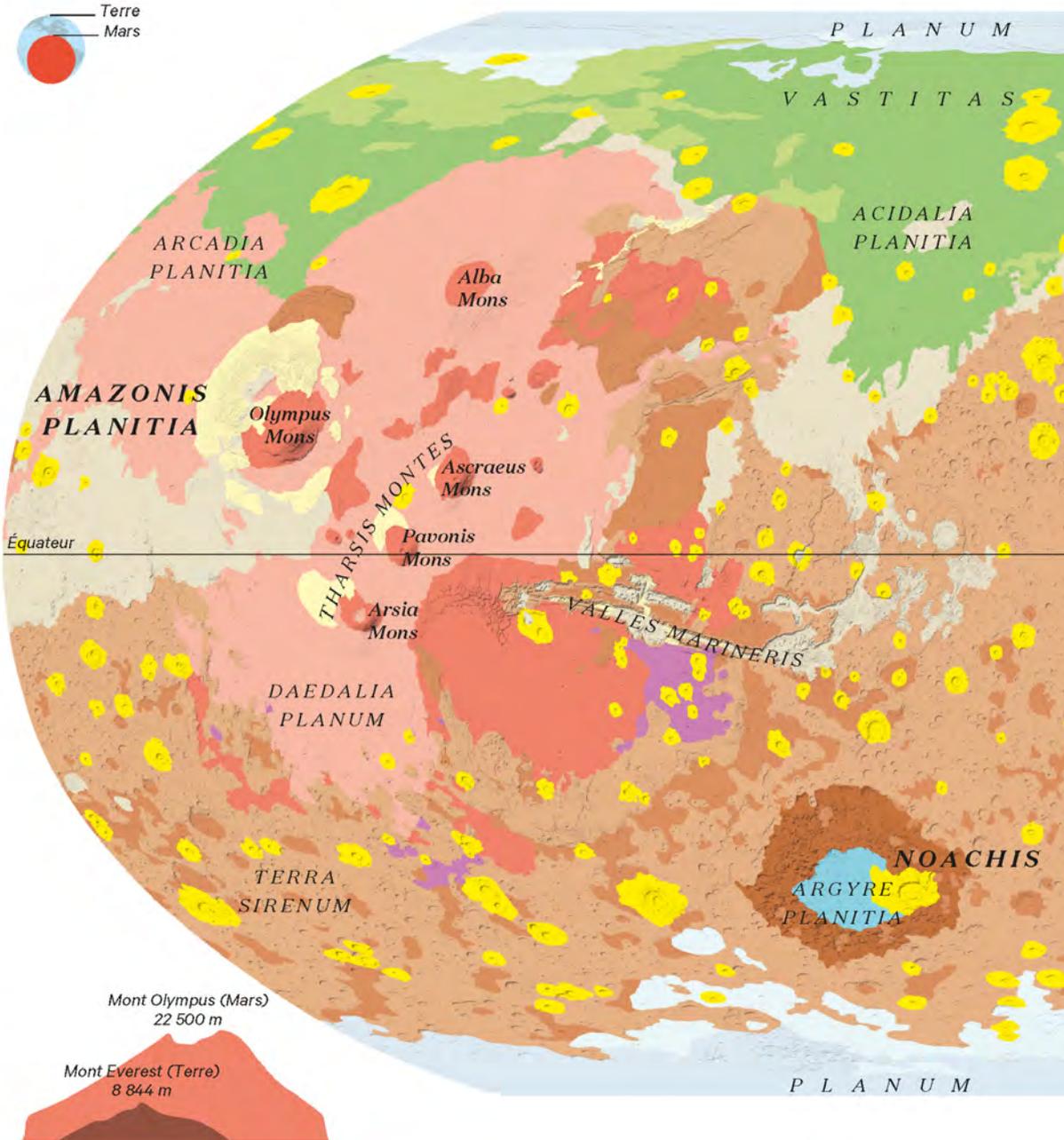
Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulpulate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus. Curabitur eu amet. Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulpulate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus. Curabitur eu amet. Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulpulate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus.

Site d'atterrissage par pays

- États-Unis
- Union Soviétique
- Japon
- Chine
- Inde

Le sol de Mars

Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem 450 signes maxi.



Les basses terres

- Plaines du milieu de l'Amazonien (Limon riche en glace)
- Plaines de l'Hespérien tardif

Les hautes terres

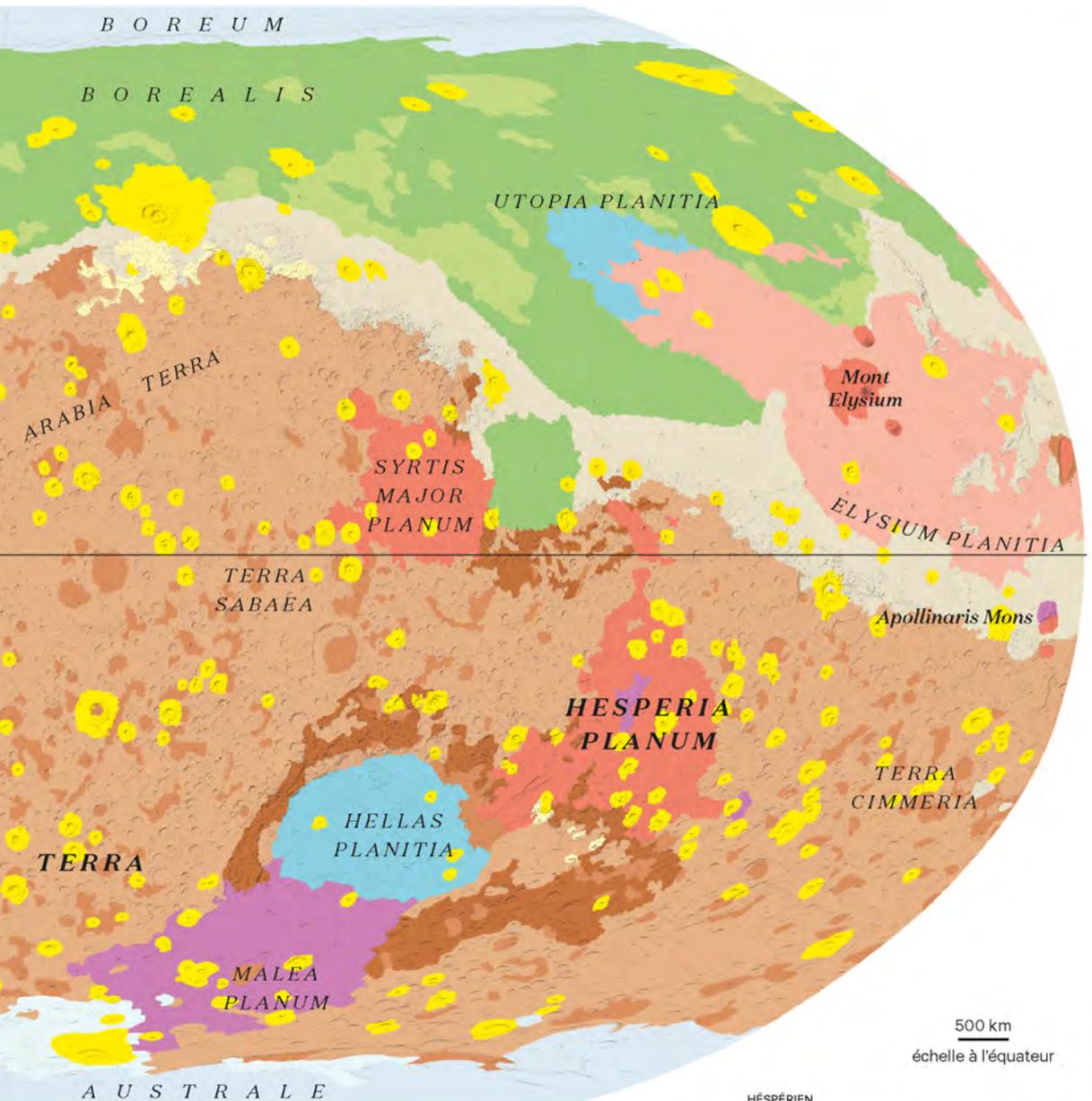
- Hautes terres de plaine (Noachien et Hespérien)
- Hautes terres aux reliefs accidentés (Noachien et Hespérien)
- Massifs de hauts reliefs (Noachien)
- Les cratères

Les roches volcaniques

- de l'Amazonien
- de l'Hespérien
- du Noachien

Les affleurements polaires (glaces et poussières)

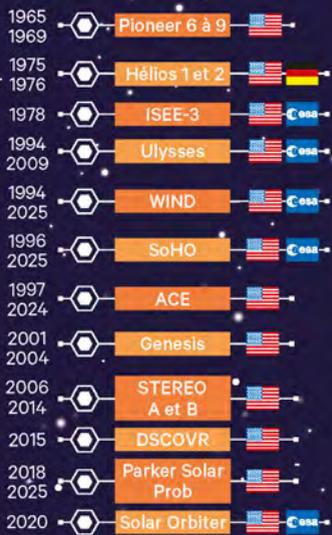
- de l'Amazonien
- de l'Hespérien
- Les dépôts de basse altitude
- Les débris rocheux
- Les matériaux de transition



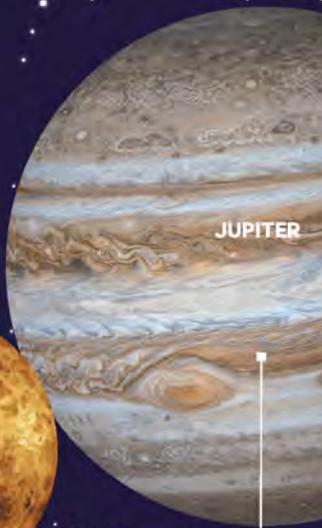
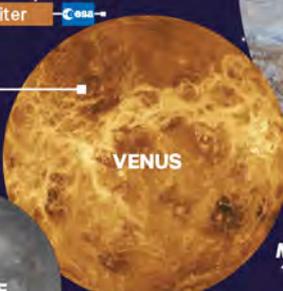
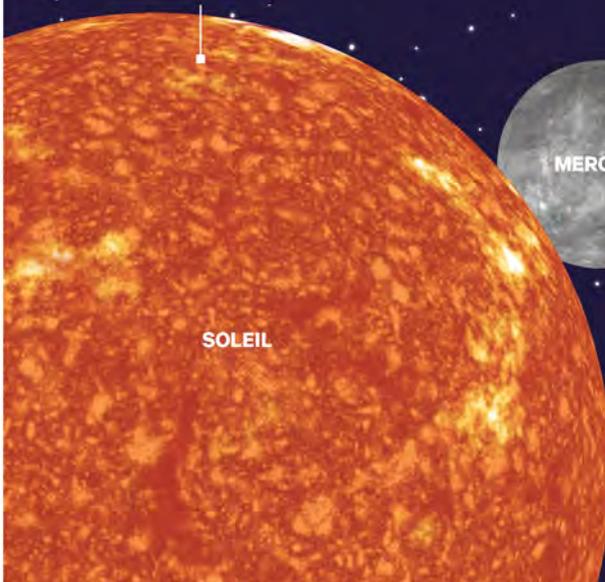
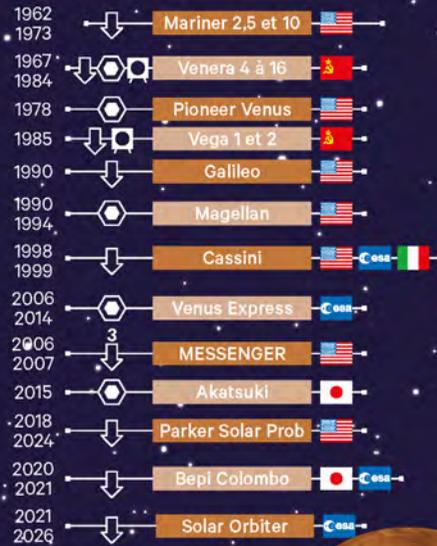
Sondes dans le système solaire

Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum auguè. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus. Curabitur eu amet 500 signes maxi.

Quelques mois



Quelques semaines

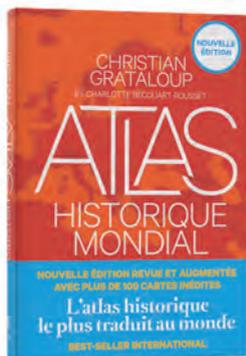


Mars et Lune pages ...

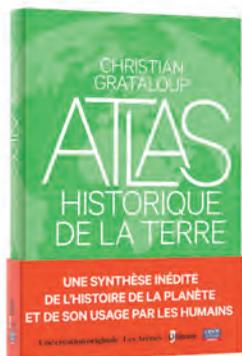
Quelques mois



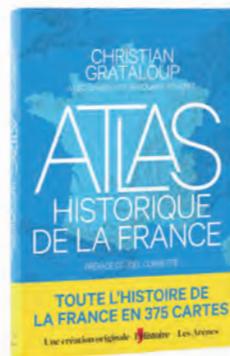
Un succès commercial et une presse unanime !



N°1
des ventes
d'atlas historiques
100 000 exemplaires
vendus



N°2
des ventes
d'atlas historiques
55 000 exemplaires
vendus



N°3
des ventes
d'atlas historiques
45 000 exemplaires
vendus

Une grande campagne de communication et de publicité

**SCIENCES
ET
AVENIR**

L'Histoire

La Recherche

Magazine
Littéraire

Challenge^s

INFOS TECHNIQUES

Atlas historique du ciel

PRIX: 29,90 €

NOMBRE DE PAGES: 280

FORMAT: 170 × 240 mm

DATE DE PARUTION: 3 octobre

RAYON: Histoire

TIRAGE: 20 000 exemplaires

ISBN: 979-10-375-1250-5

CONTACTS

Pierre Bottura

DIRECTEUR COMMERCIAL

p.bottura@arenas.fr

01 42 17 47 80

Salomé Bernard

RELATIONS LIBRAIRES

s.bernard@arenas.fr

01 42 17 47 87

Élise Lacaze

DIRECTRICE RUE JACOB DIFFUSION

e.lacaze@ruejacobdiffusion.fr

01 42 17 46 64

Isabelle Mazzaschi

RESPONSABLE COMMUNICATION

i.mazza@arenas.fr

01 42 17 47 91

Diane Maretheu

CHEFFE DE PRODUIT

d.maretheu@ruejacobdiffusion.fr

01 42 17 47 94