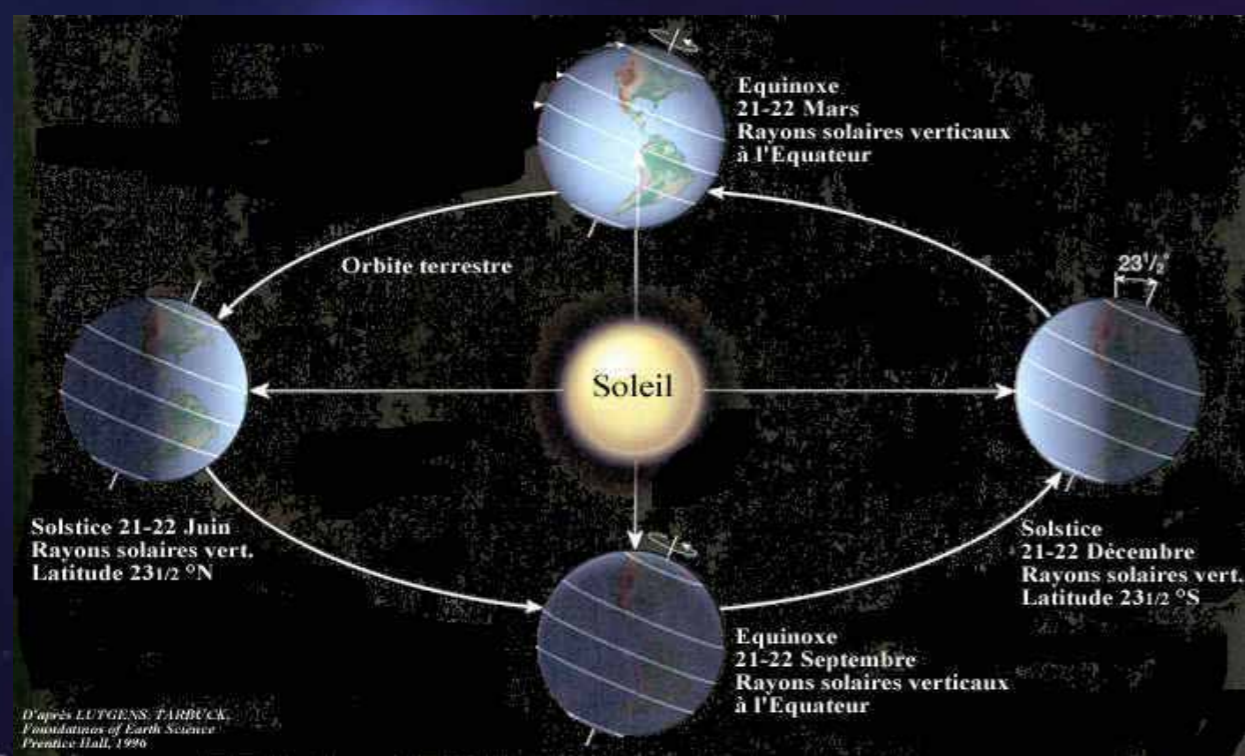


# GNOMONS ET CADRANS SOLAIRES

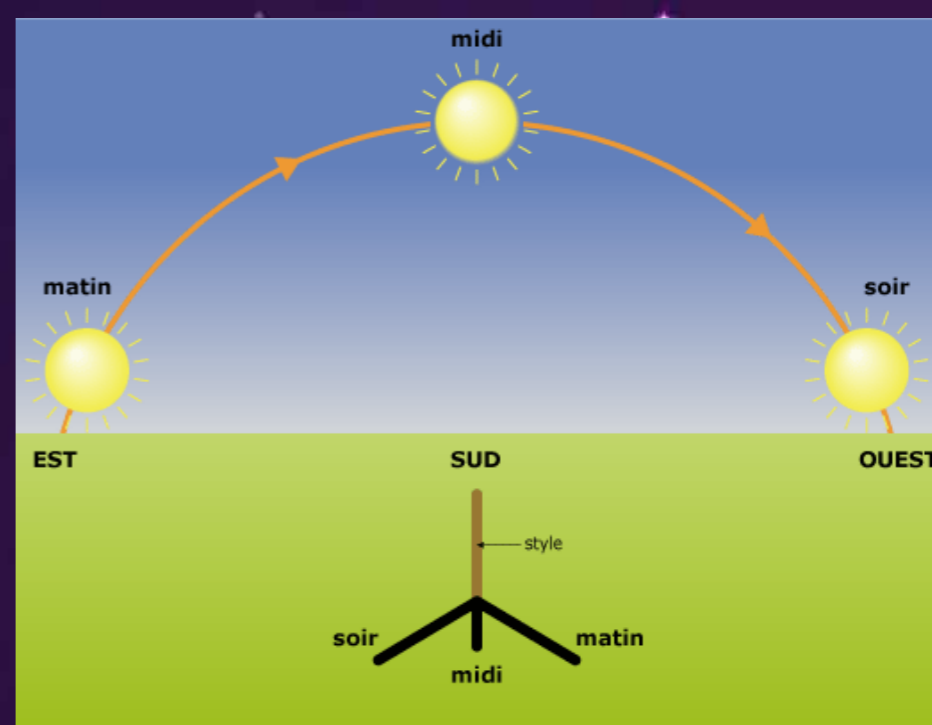
En 24 heures, un observateur situé sur Terre a l'impression que les autres astres sont en mouvement. Ainsi, le Soleil semble se déplacer dans le ciel :



L'ombre portée d'un objet varie durant la journée en fonction de la position du Soleil :

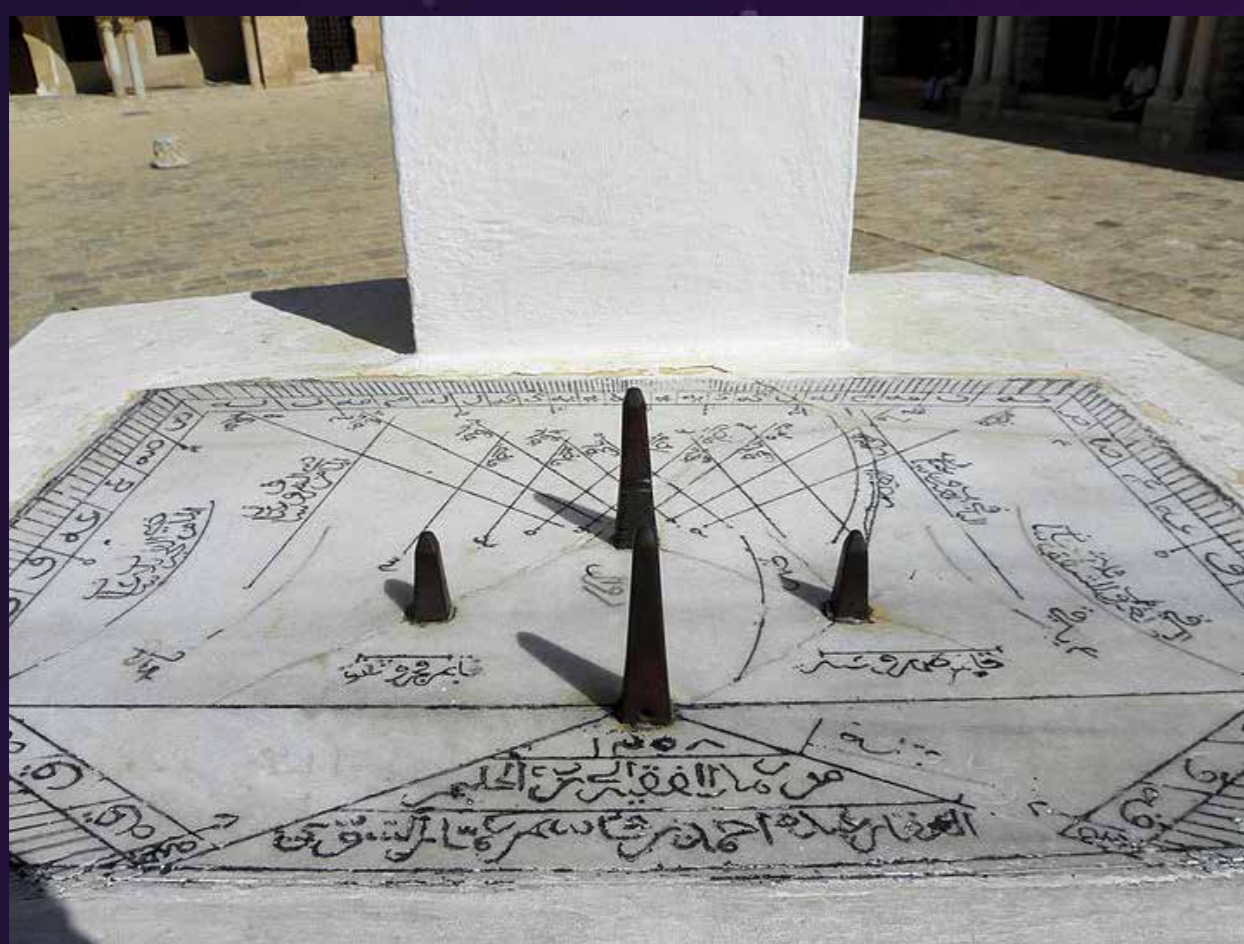
- Longue et vers l'ouest le matin et vers l'est l'après midi.
- Courte et vers le nord à midi.

Le **gnomon** est un dispositif simple constitué d'une tige, appelé style, fixée verticalement sur un socle ou directement plantée dans le sol.



- En journée : à l'est et à l'ouest, proche de l'horizon le matin ou le soir, au zénith vers midi.
- Durant l'année : au zénith sur l'équateur aux équinoxes, et sur les tropiques aux solstices.

Un gnomon permet de repérer les heures si on lui ajoute des graduations. Midi correspond à l'ombre la plus courte. Les autres heures peuvent ensuite être repérées en les plaçant sur un cercle divisé en 24 arcs de 15°.



Au cours de l'année, l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur l'écliptique modifie le mouvement apparent du Soleil : un décalage se produit entre l'heure solaire et celle indiquée par le gnomon. Le **cadran solaire**, dont le style est orienté dans la même direction que l'axe de rotation de la Terre, permet d'éviter tout décalage.

Son orientation est obtenue en le pointant en direction de l'étoile polaire située sur l'axe de rotation terrestre.

(Cadran solaire horizontal. Grande Mosquée de Kairouan)

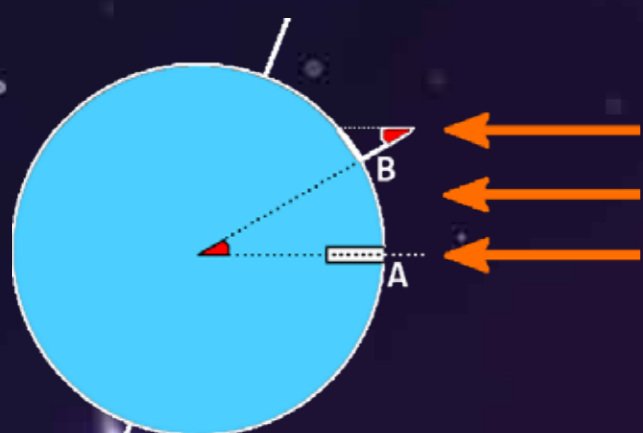


# ÉRATOSTHÈNE : LA CIRCONFÉRENCE DE LA TERRE

Depuis toujours, ou presque, les hommes qui réfléchissent à leur environnement ont considéré que la Terre est une boule ronde. Encore fallait-il, pour être crédible, dire quelque chose sur la circonférence de cette sphère. C'est ce qu'entreprit **ÉRATOSTHÈNE**, à Alexandrie, quelques 200 ans avant JC.

Il se basait sur :

- **Une observation** : à Syène, proche de la ville moderne d'Assouan, 800 km plus au sud, le jour du solstice d'été, le soleil éclaire jusqu'au fond des puits. Les bâtons plantés dans le sable ne portent pas d'ombre.
- **La géométrie.**



En A : Assouan  
En B : Alexandrie

Les rayons du Soleil viennent de droite, et sont parallèles. L'ombre du bâton planté à Alexandrie (B) permet de mesurer l'angle (en rouge), qui est le même que l'angle, au centre de la terre, des deux diamètres reliant ce centre à Assouan (A) et à Alexandrie.

Cet angle est un cinquantième du tour complet.

Il suffit donc de multiplier la distance A B par 50 pour connaître la circonférence.

Restait à mesurer la distance entre Alexandrie et Assouan. Les Egyptiens disposaient d'un **excellent instrument de mesure : le chameau** !

Le pas du chameau est en effet d'une très grande régularité. En comptant les pas du chameau, Ératosthène obtint le résultat pour la circonférence de la terre : **39 375 km**.

**Comparé aux quelques 40 075 km**, ce résultat est d'une stupéfiante précision !



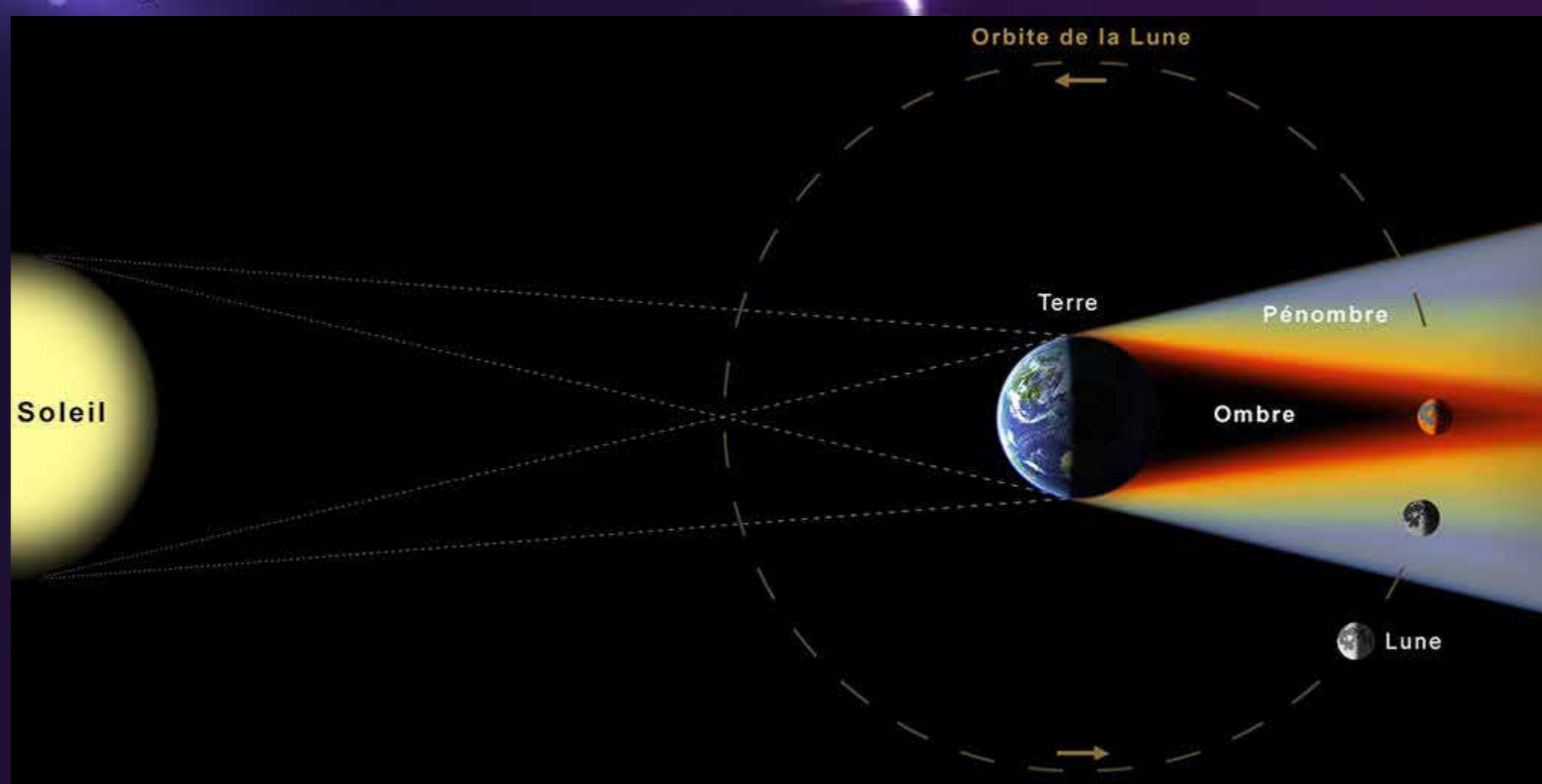
# ESTIMATION DE LA DISTANCE TERRE-LUNE

Pour calculer la distance Terre-Lune, on peut utiliser le phénomène de l'éclipse de Lune, en supposant connu le diamètre de la Terre :

Lors d'une **éclipse**, la Lune parcourt la zone d'ombre produite par la Terre supposée cylindrique.

Du temps mis par la Lune pour franchir cette zone (4 heures), on en déduit la vitesse de la Lune sur son orbite :

$$V_{\text{Lune}} = D_{\text{Terre}} / \text{Temps} = 12\,800 / 4 = 3\,200 \text{ km/h}$$



La Lune a besoin de 700 heures (environ 29 jours), pour faire un tour complet autour de la Terre. Donc la longueur de cette orbite est  $700 \times 3\,200$ , c'est-à-dire 2 240 000 kilomètres.

Enfin, on détermine la distance Terre-Lune grâce à une formule du cercle. Le périmètre représente l'orbite de la lune et le rayon est la distance Terre-Lune. On arrive ainsi à 357 000 km.

Malgré les approximations, ombre portée cylindrique et orbite de la Lune circulaire, ce résultat se rapproche très fortement du nombre connu aujourd'hui comme la distance Terre-Lune : 384 400 km.

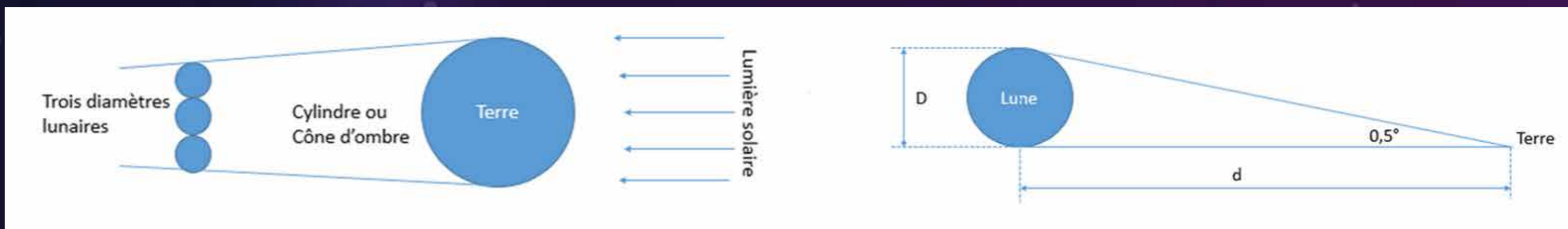


# ARISTARQUE

## ESTIMATION DE LA DISTANCE TERRE-LUNE ET TERRE-SOLEIL

Vers 350 av. J.C., Aristarque utilisa aussi l'observation d'une éclipse de Lune pour tenter de calculer la distance Terre-Lune. Ne connaissant pas le rayon de la Terre, son résultat fut donné en unité du rayon de la Terre.

Considérant que l'ombre portée de la Terre est un cylindre, il constate que le diamètre lunaire vaut  $\frac{1}{3}$  de celui de la Terre et il évalue ensuite sous quel angle on voit la Lune, trouve 2 degrés (en fait 0,5 degrés) et en déduit ainsi la distance Terre-Lune, égale selon lui, à 20 diamètres lunaires. (En fait 60).

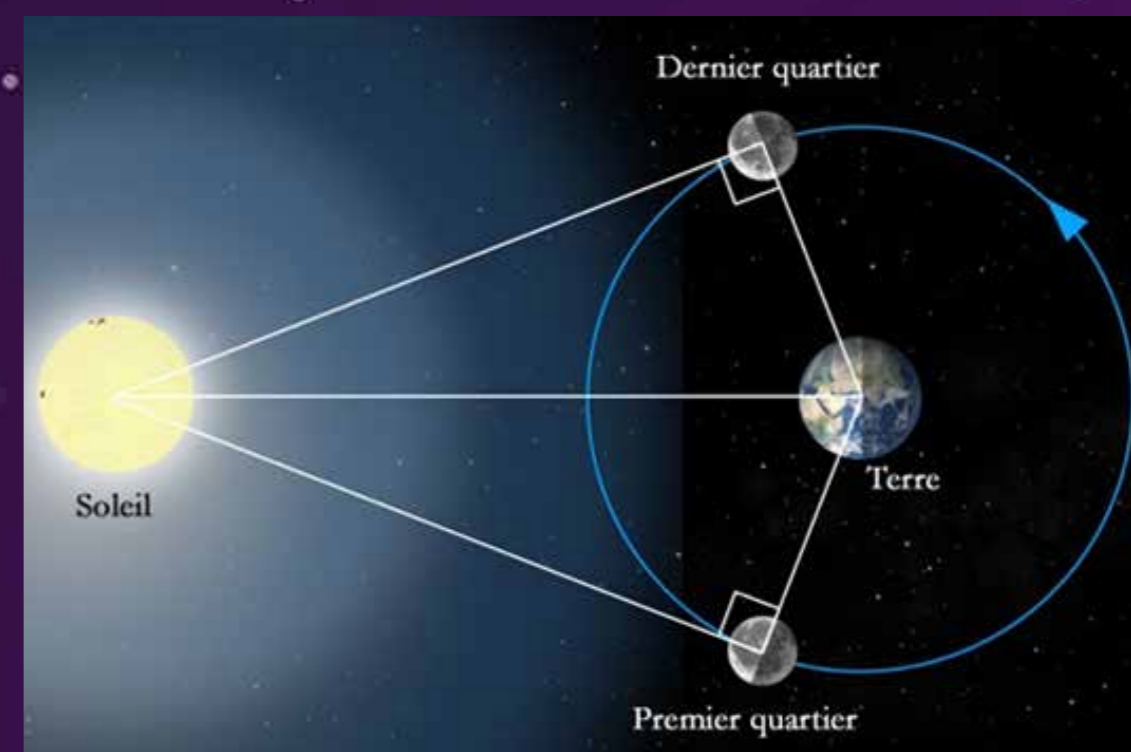


Pour calculer la distance Terre-Soleil, Aristarque utilise son estimation de la distance Terre-Lune, la position de la Lune et la **trigonométrie**.

Pour son étude, il positionne la Lune en son 1<sup>er</sup> quartier en angle droit par rapport à la Terre et au Soleil, créant un triangle rectangle ; il utilise la formule mathématique du cosinus qui met en rapport le coté adjacent et l'hypoténuse d'un triangle rectangle.

Il utilise la valeur de  $\alpha$  et sa connaissance de la distance Terre-Lune pour trouver la distance Terre-Soleil.

Cependant, comme son estimation de la distance Terre-Lune est mauvaise, son résultat n'est pas juste. Mais aujourd'hui, en corrigeant son erreur, on trouve que la distance Terre-Soleil est 149 597 870 kilomètres.



## GÉOCENTRISME ?

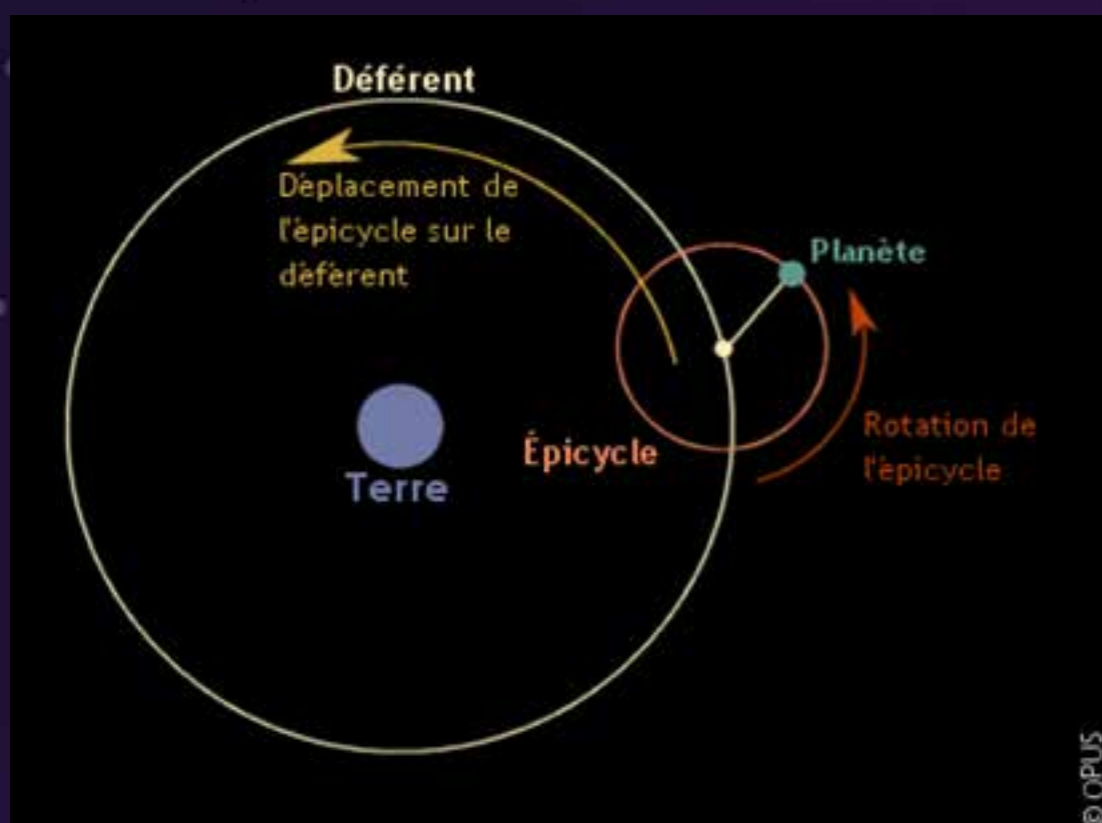
### PTOLÉMÉE : UN MONDE PARFAIT

La sphéricité de la Terre étant connue (vers -400 av. J.C.), les Grecs conclurent que, le ciel domaine des dieux étant parfait, tout l'Univers était à son image, sphérique et centré sur la Terre, la sphère céleste englobant le système solaire.

Cette représentation du monde ne correspondait cependant pas aux observations puisqu'elle ne permettait pas d'expliquer par exemple les **mouvements rétrogrades**.

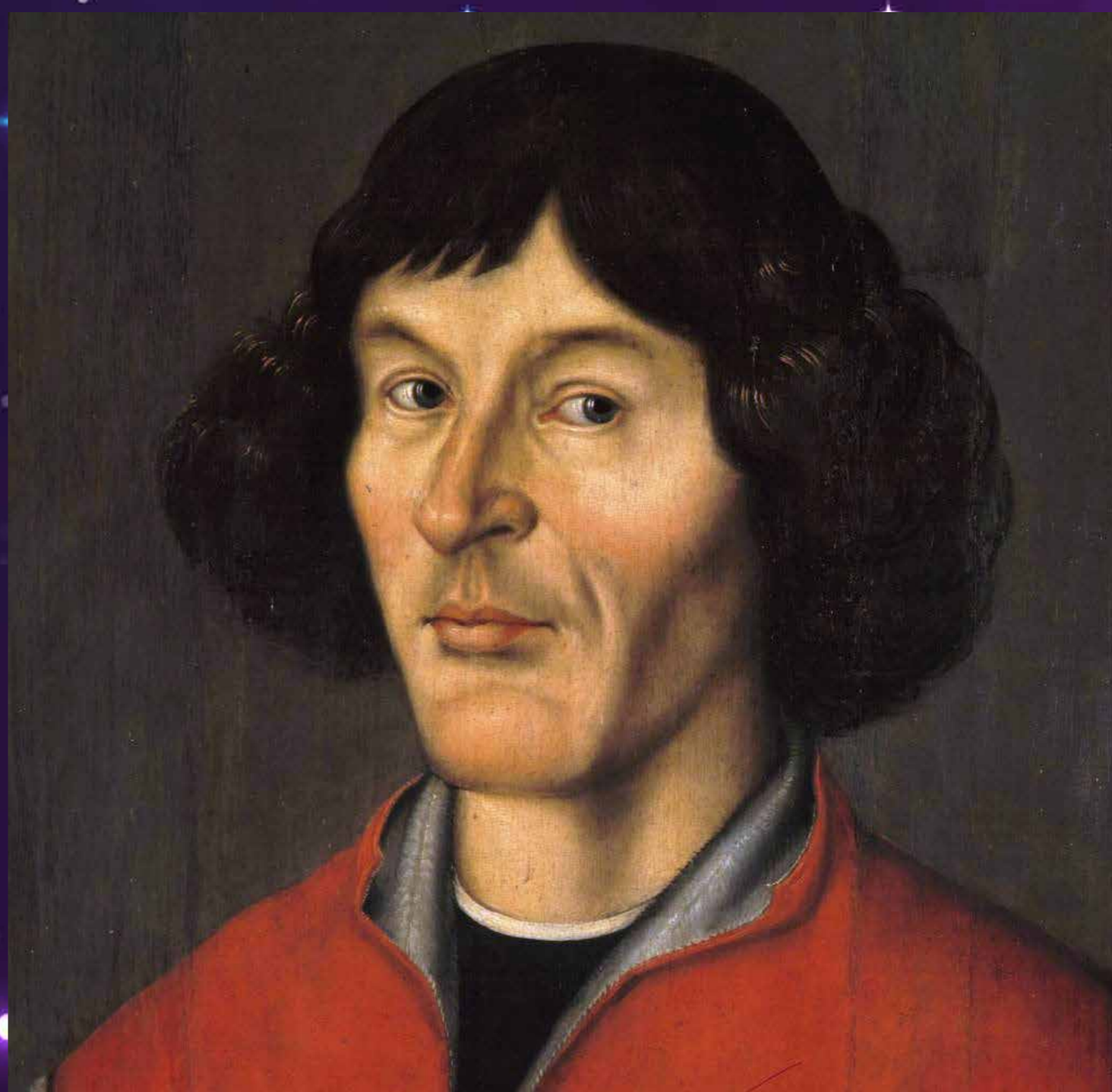
**Ptolémée**, au 2<sup>ème</sup> siècle après J.C., introduit alors un système combinant deux mouvements circulaires uniformes, qui permettait d'expliquer le mouvement rétrograde des planètes.

Le système proposé par **Ptolémée** resta incontesté pendant près de quinze siècles.



## HÉLIOCENTRISME ?

### COPERNIC : L'HÉLIOCENTRISME EST PLUS APPROPRIÉ



Malgré les travaux d'Aristarque (3<sup>ème</sup> siècle av. J.-C.) affirmant que le Soleil était au centre de l'Univers, l'héliocentrisme ne se développa sérieusement qu'avec la publication des travaux de **Copernic** (1543) : il était plus logique que le Soleil soit placé au centre de l'Univers parce qu'il est gros et lumineux.

Sans preuve directe du **mouvement orbital** autour du Soleil, ses calculs permettaient néanmoins d'expliquer correctement le mouvement des planètes.

Pour **Copernic**, la Terre tourne autour de son axe en un jour et tourne autour du Soleil en un an.

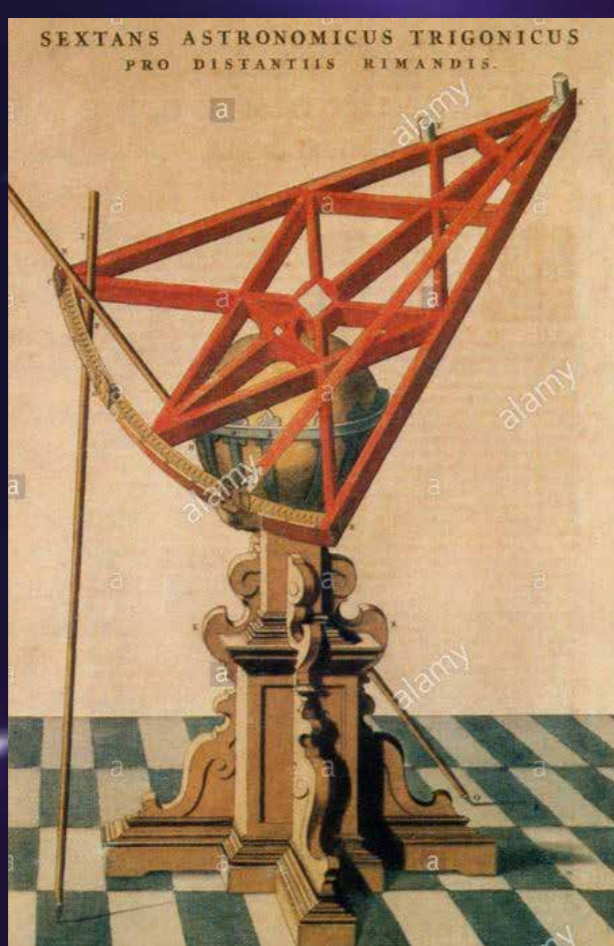
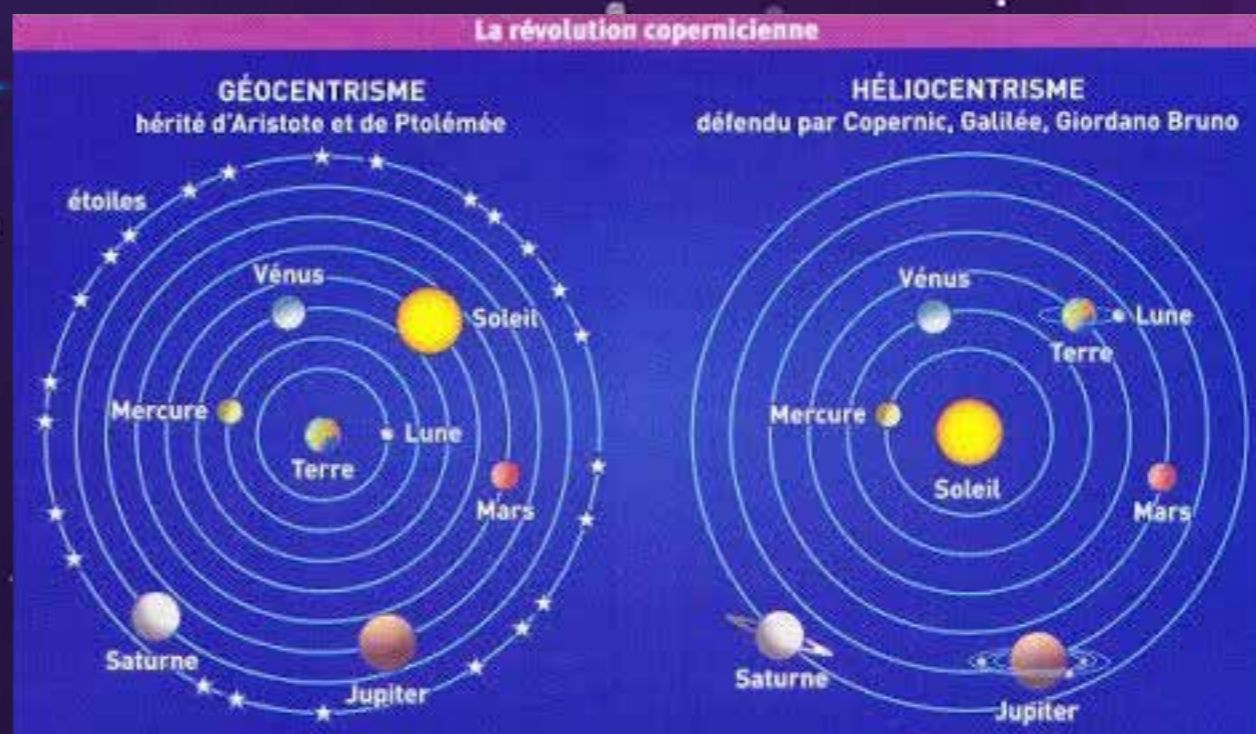


# GÉOCENTRISME ? HÉLIOCENTRISME ?

## Faut-il croire PTOLEMÉE ou COPERNIC ?

Au 16<sup>ème</sup> siècle, les spéculations vont bon train.

La Terre est-elle le centre du monde, ou bien tourne-t-elle comme les autres planètes autour du Soleil ? Certaines polémiques prendront un tour dramatique (Bruno Giordano, Galilée).



## TYCHO BRAHÉ : des observations d'une précision inégalée

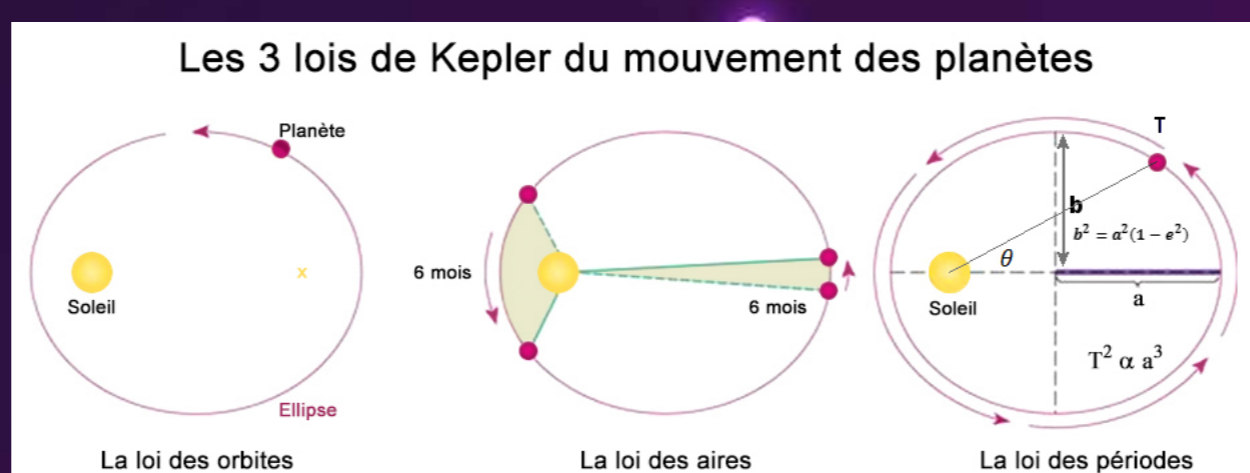
Tycho Brahé ne spéculait pas : il mesure. Pendant des années, il élaborera des tables de résultats de mesures du mouvement des planètes, et observera les événements célestes.

Ses observations créeront le doute sur le géocentrisme sans toutefois valider définitivement les idées de Copernic.

## KÉPLER : 3 lois qui décrivent le mouvement

Képler, élève de Brahé, reprenant les idées de Copernic, formulera trois lois qui confortent l'héliocentrisme de Copernic.

Pour passer de la description à l'explication, il faudra attendre **NEWTON**.

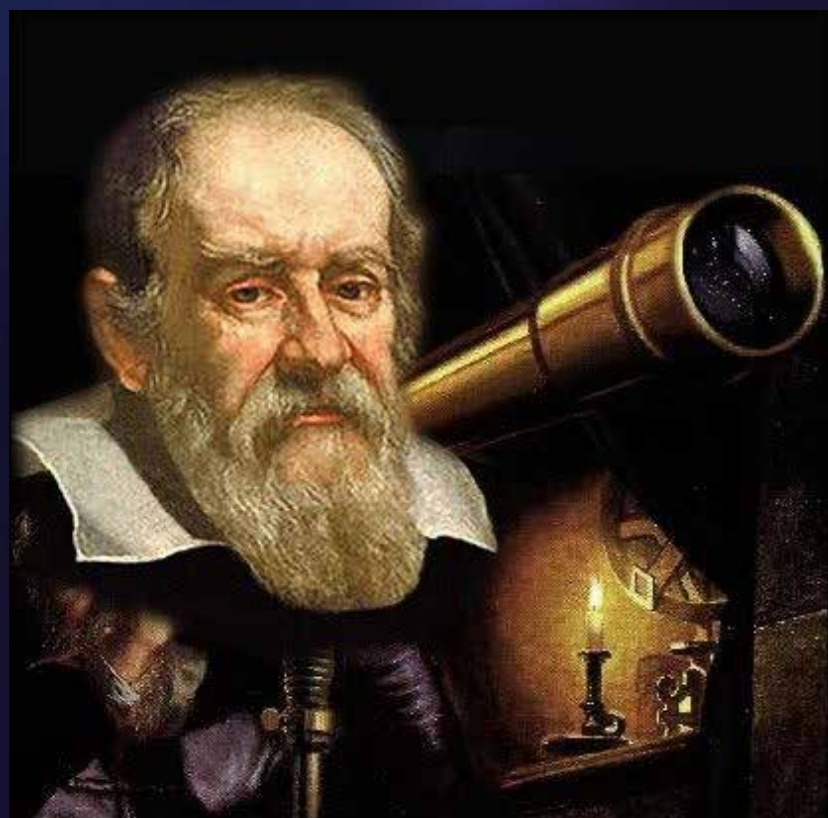


# HÉLIOCENTRISME : GALILÉE, LA TERRE N'EST NI SPÉCIALE NI UNIQUE

Les premières preuves en faveur de l'héliocentrisme furent obtenues grâce au télescope, appareil utilisé pour la première fois par Galilée (1564-1642) afin de mener des observations astronomiques.

Celui-ci observa plusieurs faits en contradiction avec le modèle de Ptolémée :

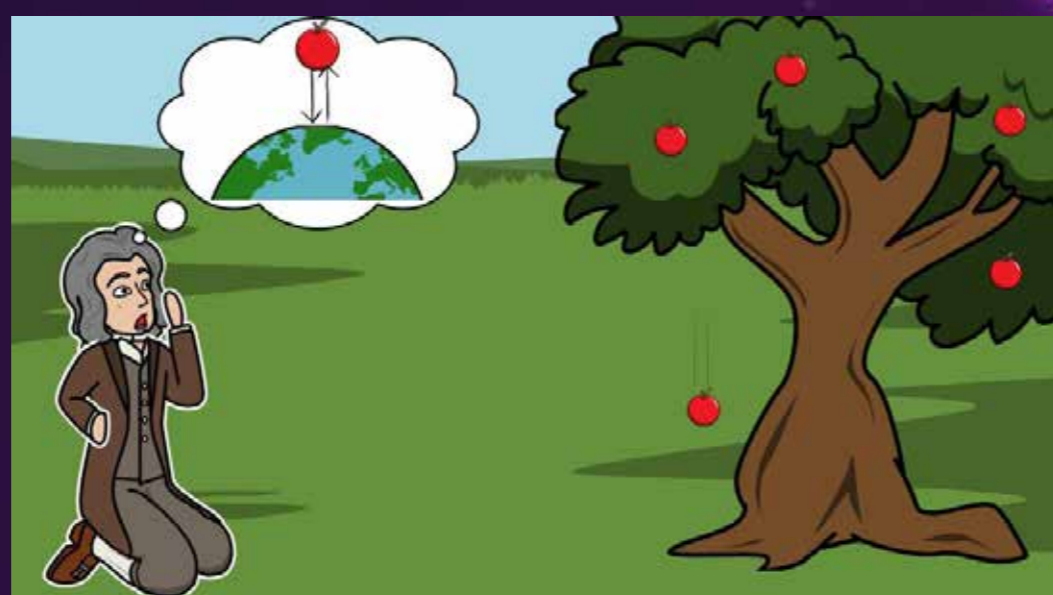
- La Terre n'était pas le seul centre de mouvement dans l'Univers (satellites de Jupiter).
- La découverte des phases de Vénus montrait qu'elle orbitait autour du Soleil.
- L'évolution des tâches solaires indiquait que les astres n'étaient pas immuables.
- Les montagnes de la Lune indiquaient qu'elle était un corps de même nature que la Terre.



## NEWTON : FORCE D'ATTRACTION DES CORPS ET GRAVITATION UNIVERSELLE

Newton montra que le mouvement des astres et la chute des corps pouvaient s'expliquer par l'action d'une force qui faisait s'attirer mutuellement tous les objets. La force d'attraction du Soleil règle le mouvement des planètes et la force d'attraction de la Terre fait chuter les corps à sa surface.

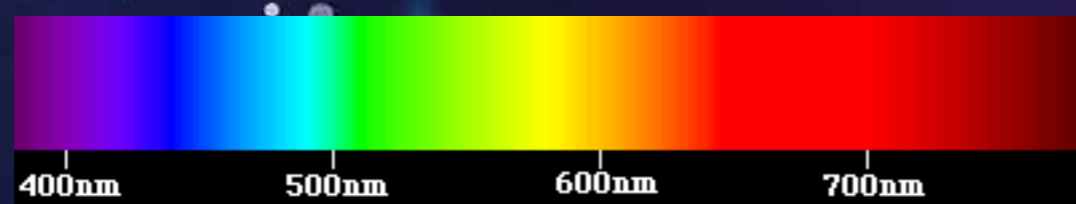
L'intensité de la force d'attraction entre deux corps est proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance.



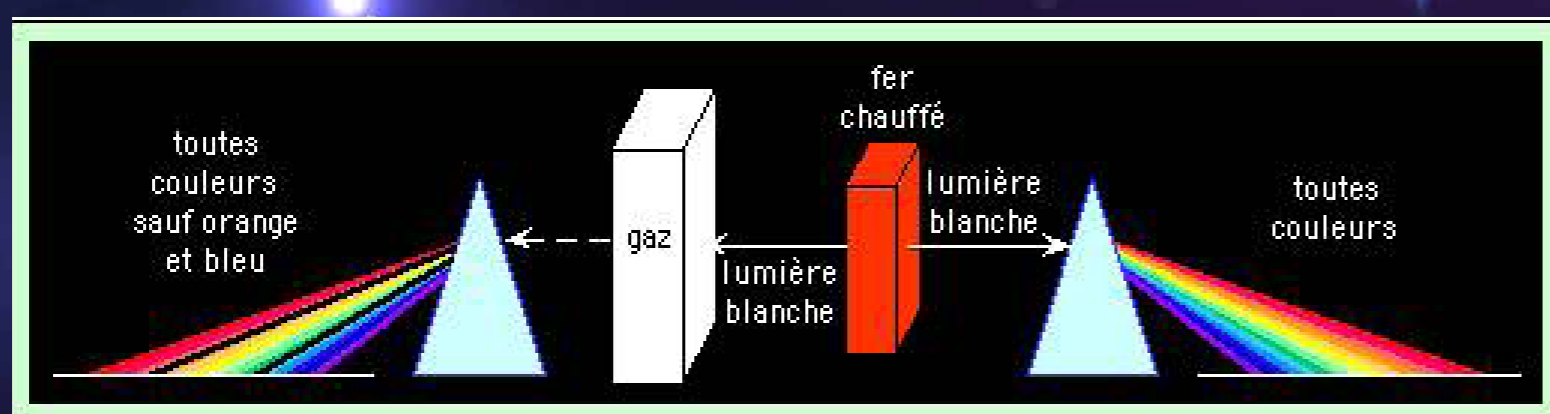
$$\vec{F}_G = G \times \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$



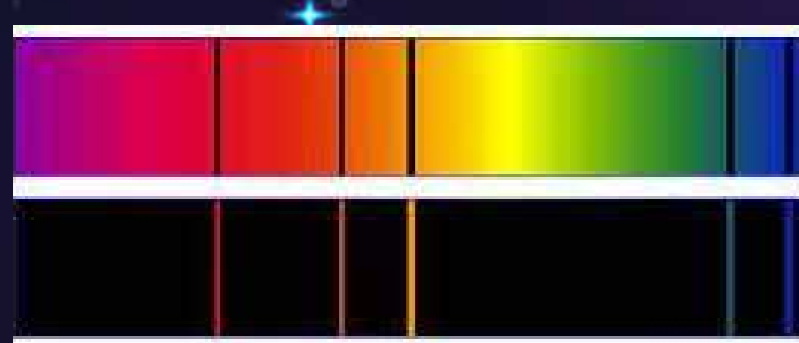
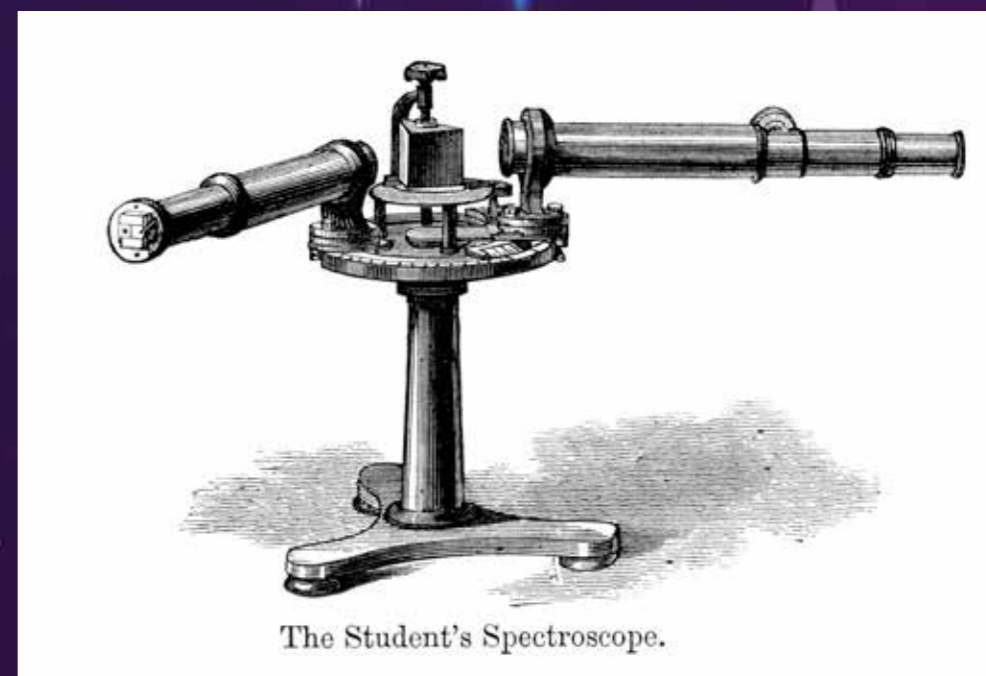
# TOUS LES OBJETS DE L'UNIVERS ONT UNE SIGNATURE



Spectre de la lumière blanche contenant toutes les couleurs visibles par l'oeil humain



Le gaz absorbe l'orange et le bleu de la lumière qu'il reçoit. D'où les deux traits noirs sur le spectre de gauche



En haut :

L'astronome observe des raies noires dans la lumière transmise par un corps éclairé par une lumière blanche.

En bas :

En laboratoire, spectre enregistré de la lumière émise par du mercure. Les raies noires correspondent au spectre du mercure : le corps contient du mercure !

En observant la lumière émise par une étoile (ou indirectement par une planète) on peut connaître les éléments qui la composent.

L'analyse de la lumière est réalisée par un **spectroscope**. Celui-ci décompose le flot lumineux en toutes les "couleurs" qui le composent, comme fait un **prisme** pour la lumière du Soleil par exemple.

Chaque couleur correspond à une longueur d'onde. Un objet ou un gaz absorbe ou émet seulement une partie de ces ondes électro-magnétiques. Ces longueurs d'onde caractérisent complètement la nature de l'objet ou du gaz : cette "signature" est nommée son **spectre lumineux**.

En laboratoire on enregistre les spectres des divers éléments (Hydrogène, Carbone, Fer, etc.)

L'astronome vise une étoile ou une planète avec un télescope couplé à un spectroscope qui fournit le spectre de la lumière reçue. Celui-ci est comparé avec les spectres des éléments connus en laboratoire, ce qui permet de déterminer la composition de la partie de l'étoile ou de la planète visée.



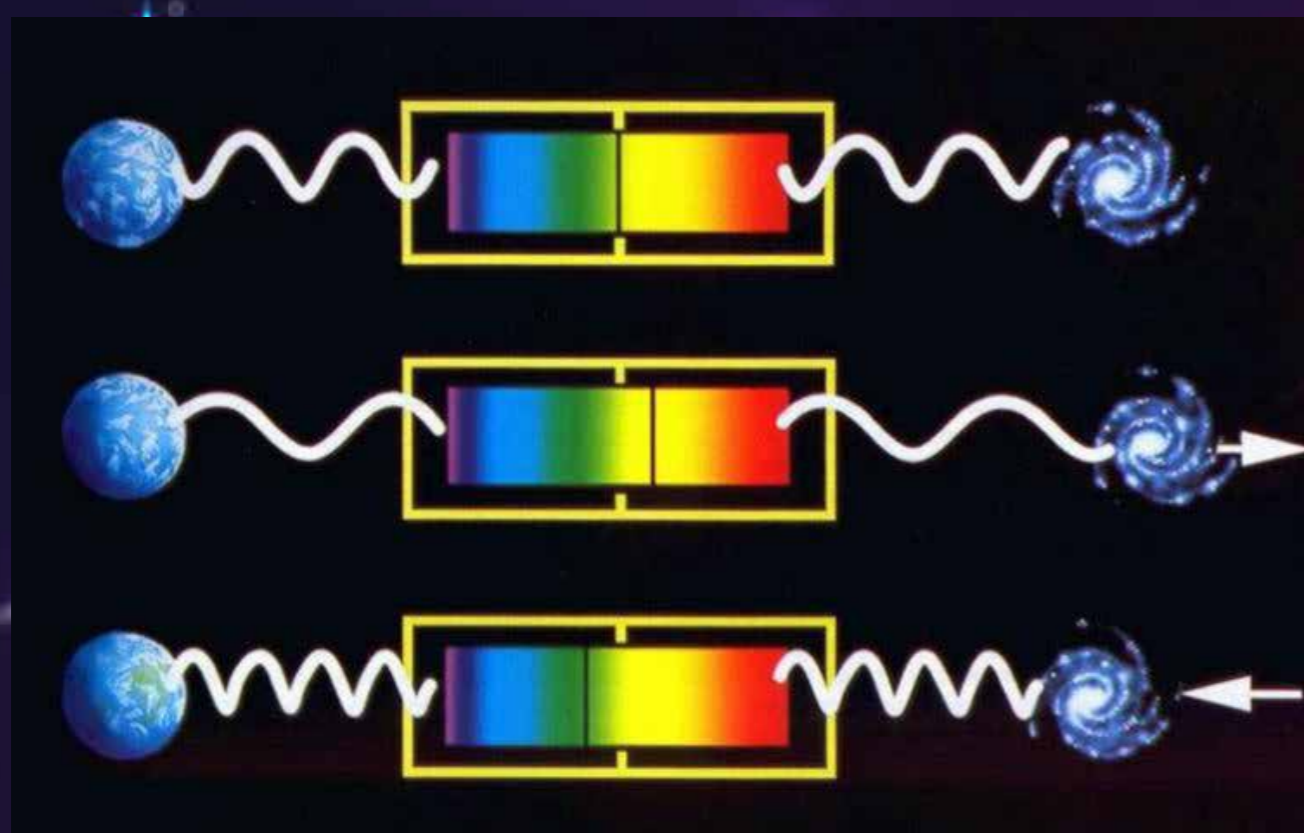


# LE SPECTRE D'UNE ÉTOILE PERMET DE DÉTERMINER SA VITESSE PAR RAPPORT À L'OBSERVATEUR

Écoutons le bruit d'une voiture de course qui passe devant nous. Plus le bolide s'approche de nous, plus le son est aigu (ondes sonores de plus en plus courtes). Puis, quand il s'éloigne de nous, le son devient de plus en plus grave (ondes sonores de plus en plus longues). C'est ce qu'on appelle l'**effet Doppler**.

Or la lumière est composée d'ondes, comme l'est le son. En observant la lumière émise par une étoile, par exemple, on devrait donc pouvoir déterminer son mouvement.

Ce ne sont plus nos oreilles qui enregistrent les ondes mais les spectres lumineux (voir panneau précédent).



Ce schéma montre 3 configurations :

- 1) Le spectre de la lumière du Soleil par exemple
- 2) Une étoile qui s'éloigne de nous : le spectre comparé à celui du Soleil est décalé vers le rouge
- 3) Une galaxie qui se rapproche de nous, par exemple Andromède, émet un spectre qui est décalé vers le bleu

Chaque couleur du spectre correspond à une longueur d'onde. La lumière visible s'étale entre 380 nm (violet) et 780 nm (rouge), ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).

En observant la lumière émise par certaines étoiles ou galaxies, on constate que leur spectre est décalé vers le rouge, c'est-à-dire que la longueur d'onde émise par ces objets est plus grande que celle du Soleil par exemple.

On peut donc en déduire que de tels objets s'éloignent de nous (comme le faisait le bolide) et plus le décalage vers le rouge est grand plus la vitesse de l'objet est grande.

Cette observation des galaxies qui s'éloignent à grande vitesse les unes des autres est un des arguments qui ont conduit les astrophysiciens à l'hypothèse du "Big-Bang".



# LE PENDULE DE FOUCAULT : MONTRER QUE LA TERRE TOURNE SUR ELLE-MÊME

En 1851, le physicien Léon Foucault attache sous la coupole du Panthéon de Paris, au bout d'un fil d'acier de 67m, une boule de laiton et plomb de 28kg et 38cm de diamètre.

Un stylet, fixé en bas du pendule qui oscille, trace une saignée dans une couronne de sable fin placée sur le sol. En plusieurs heures, la saignée s'agrandit dans le sens des aiguilles d'une montre.

Si le pendule était suspendu au pôle nord, il aurait tracé dans le sable un cercle complet en 24 heures.

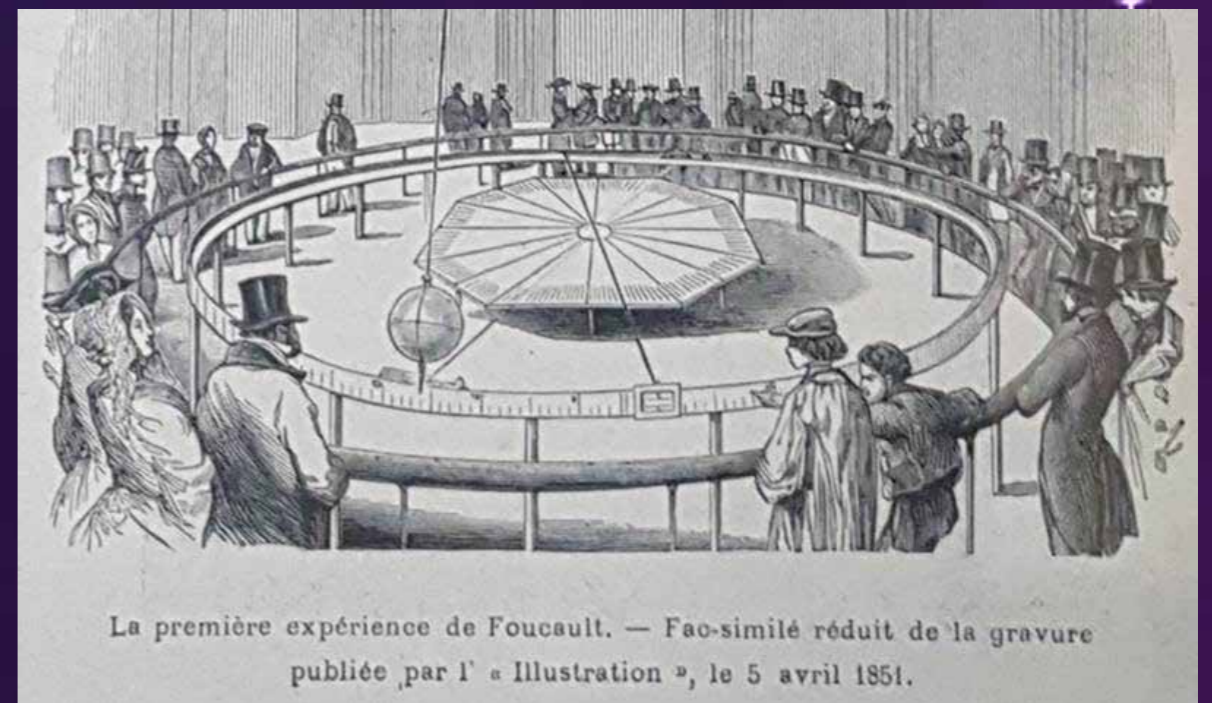
Sous notre latitude, en ignorant les frottements, il lui aurait fallu 32 heures pour faire un tour complet.

A l'équateur, le plan d'oscillation est fixe. Dans l'hémisphère sud, le pendule tournerait en sens inverse des aiguilles d'une montre.

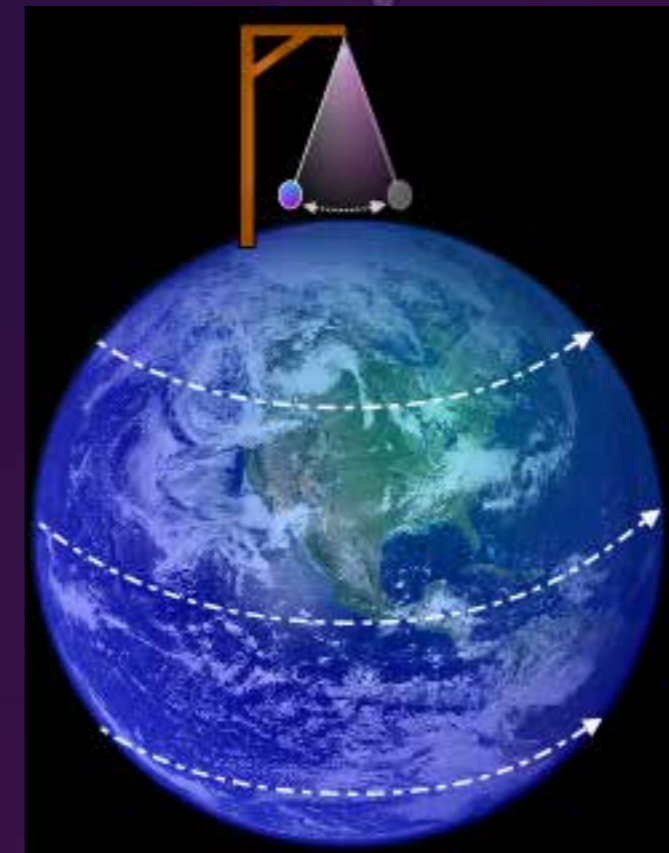
Cet effet est dû à la **rotation de la Terre** autour de l'axe des pôles.

Coriolis a montré en 1835 que tous les mouvements à la surface de la Terre subissent une déviation de leur trajectoire par suite de la rotation terrestre.

On appelle **force de Coriolis** le phénomène qui cause cette déviation.



La première expérience de Foucault. — Fac-similé réduit de la gravure publiée par l'« Illustration », le 5 avril 1851.



Au pôle nord le pendule oscille dans un plan fixe par rapport aux étoiles, alors que la Terre tourne sur son axe.



Enroulement d'un front froid sous l'effet de la force de Coriolis



# EINSTEIN :

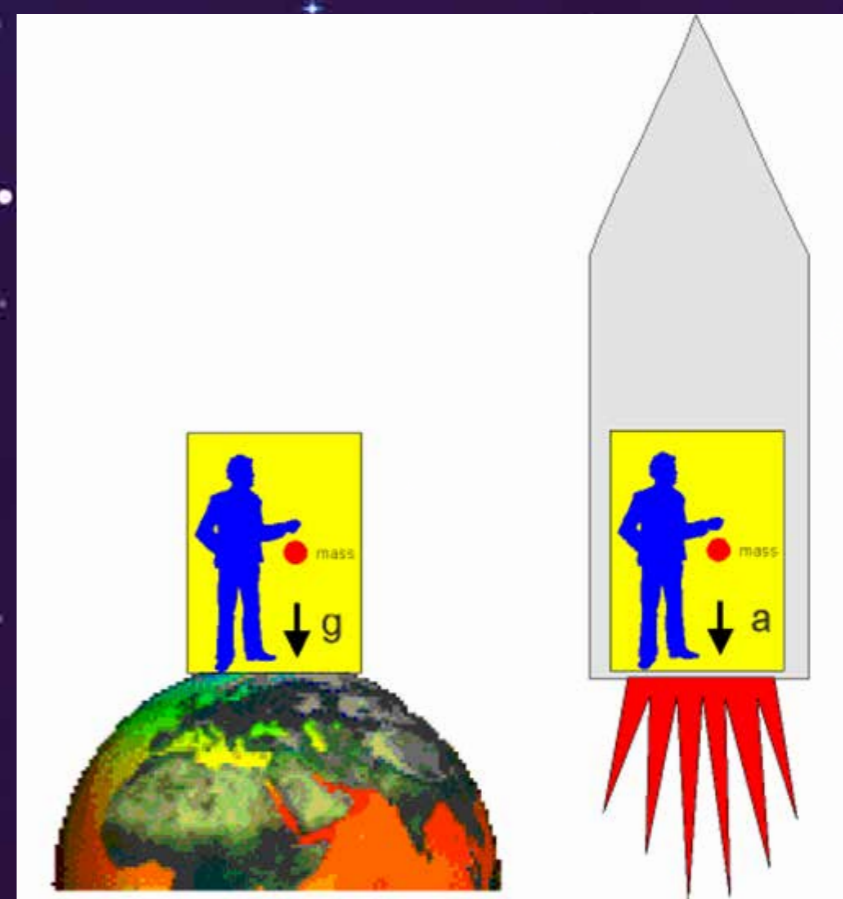
## RELATIVITÉ GÉNÉRALE ET GRAVITATION LES EXPÉRIENCES DE PENSÉE

### Principe d'équivalence, 1907 :

Imaginons une personne qui tombe dans le vide. Les objets autour d'elle tombent en même temps. Par rapport à cette personne, les objets ne tombent pas et cette personne ne sent pas l'effet de son propre poids : l'effet du poids (chute) semble annuler la cause de la chute, qui est le poids.

Ainsi, un astronaute dans une capsule sans fenêtre sur la terre, dans le **champ de gravité** observera les conséquences de la gravitation (exemple, la balle qui tombe). Mais ce même astronaute, dans la même capsule propulsée à grande vitesse, dans le vide, hors de tout champ gravitationnel, pourra réaliser les mêmes expériences.

Pour Einstein, les deux situations sont égales, et la physique doit le refléter.

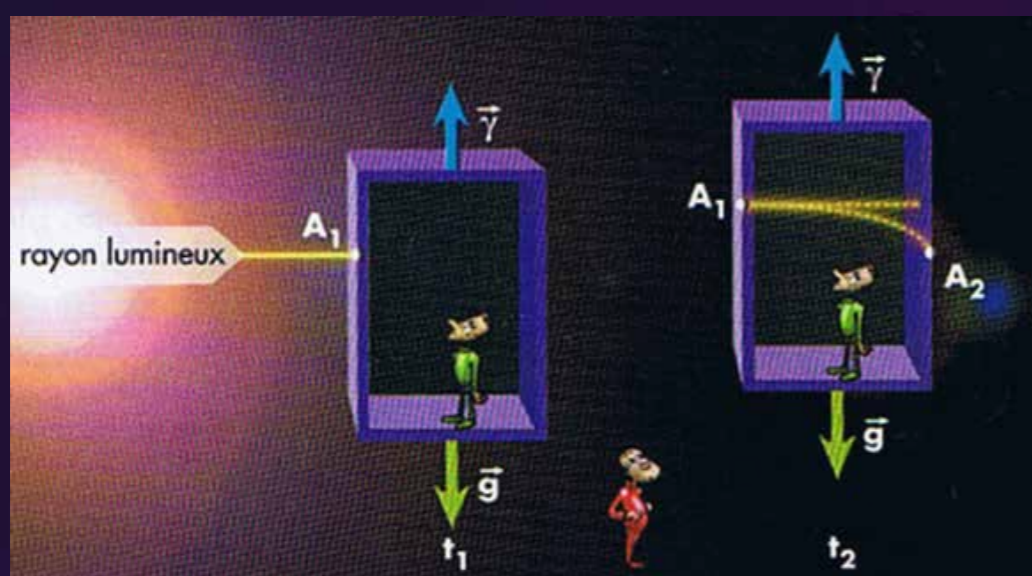


### La gravité courbe la lumière, 1909 - 1911 :

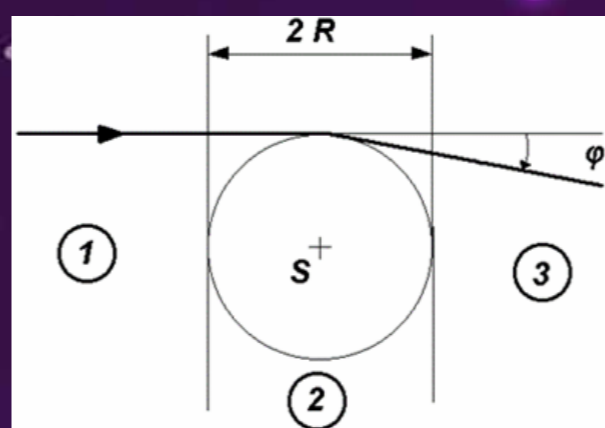
Dans un ascenseur, accéléré à grande vitesse, un rayon lumineux traverse la paroi latérale. Le spot sur la paroi en face se situera en dessous du niveau d'entrée car l'ascenseur monte très vite. Un observateur dans l'ascenseur constatera que la lumière a été déviée, à cause de l'accélération.

Dans le champ de gravitation de la Terre, le principe d'équivalence induit que la situation sera identique : la gravitation courbe la lumière.

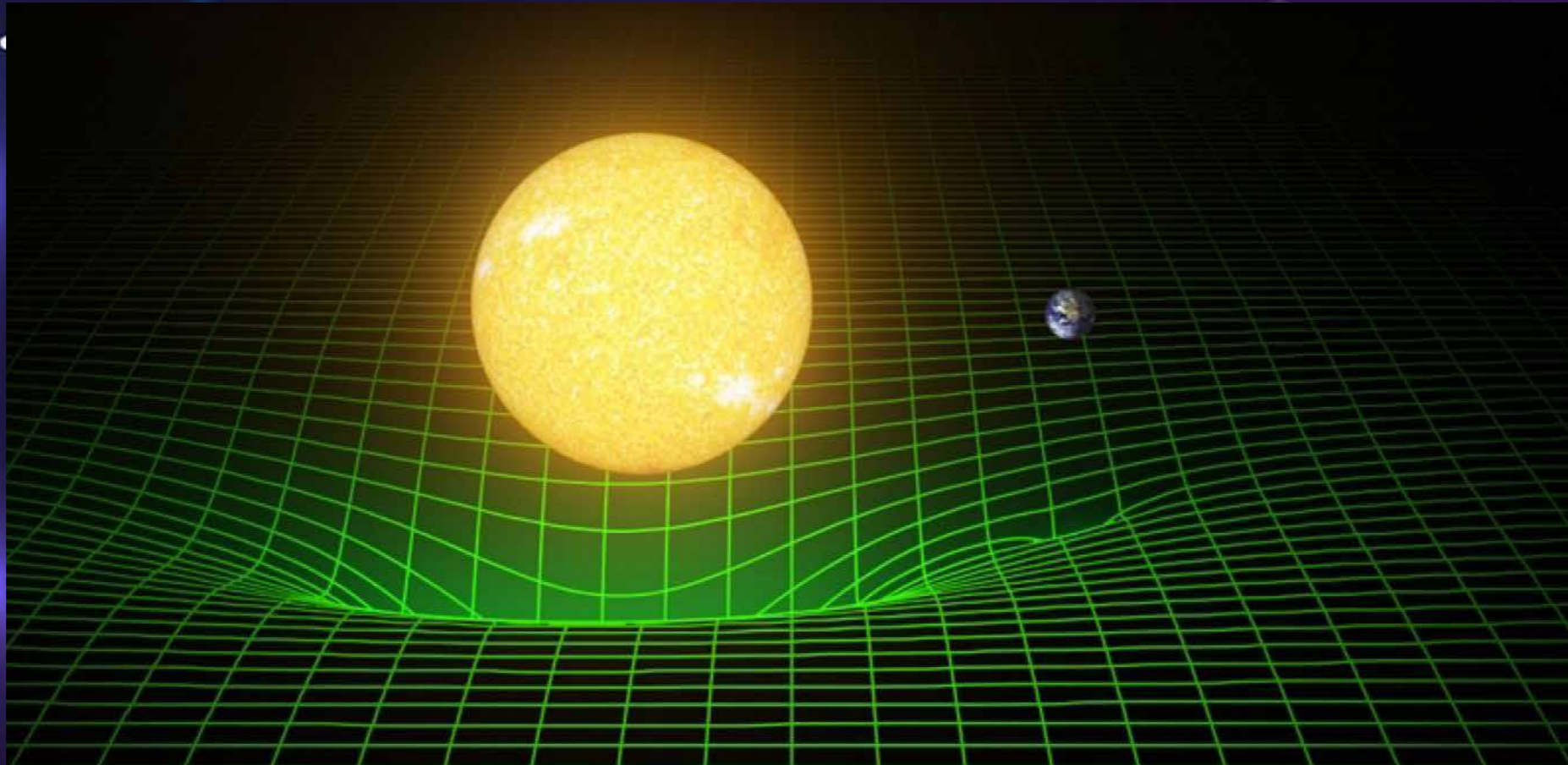
En 1919, Eddington confirmera les prédictions d'Einstein lors d'une éclipse totale du Soleil visible depuis Sao Tomé-Et-Principe (île de l'océan Atlantique, au large du Gabon).



Le soleil est le cercle de rayon  $R$ . L'étoile à observer est à gauche (zone 1). L'observateur est à droite (zone 3). La déviation est donnée par l'angle  $\phi$ .  
Calcul de EINSTEIN :  $\phi = 1.75''$   
Mesures de EDDINGTON :  $1.98'' < \phi < 1.61''$



# EINSTEIN : RELATIVITÉ GÉNÉRALE ET GRAVITATION

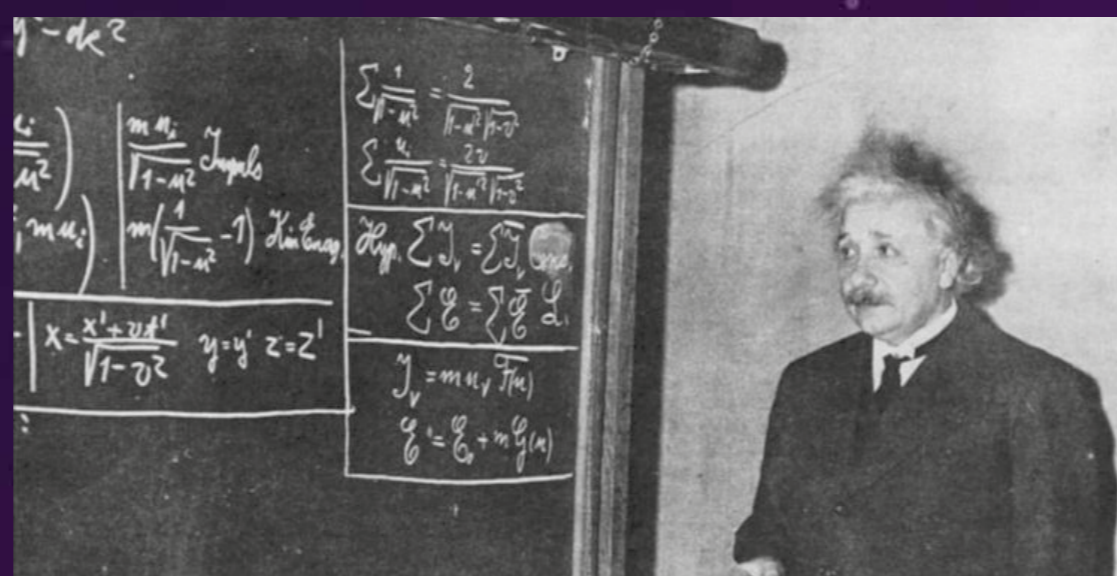


Pour formuler la relativité générale, Einstein doit faire appel à des **géométries non euclidiennes** pour décrire l'équivalence de la gravité et de l'accélération et la courbure de la lumière. Il écrit avec le mathématicien Marcel Grossman les équations de sa conception de la gravité.

Einstein conçoit la gravitation comme une déformation de l'espace-temps, ce qui le différencie de la conception newtonienne de l'attraction des forces.

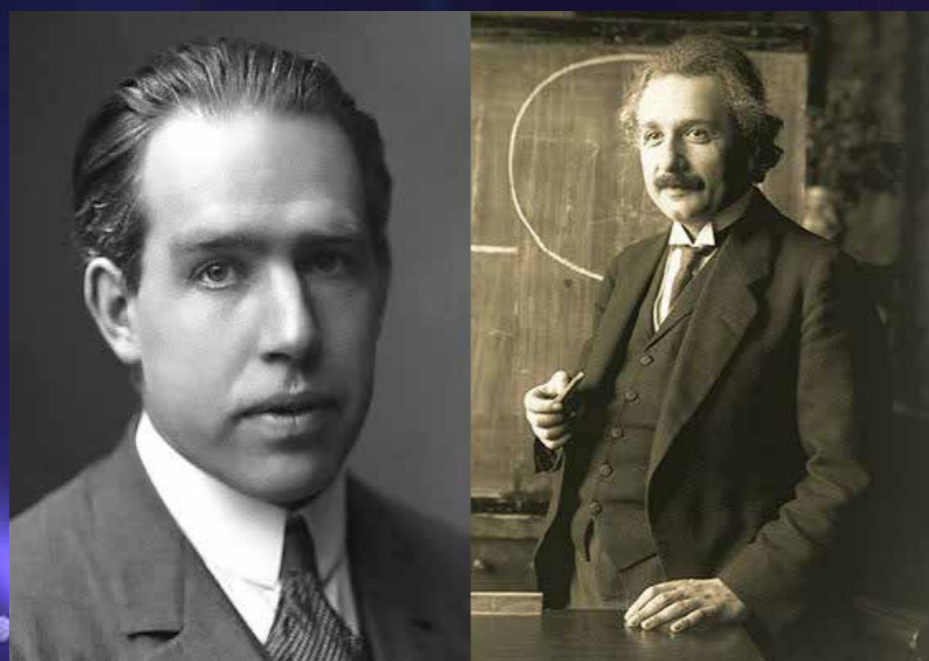
Pour Einstein, les objets massifs évoluent selon un mouvement inertiel en suivant la courbure de l'espace-temps.

En 1915, Einstein applique sa théorie à l'écart observé supérieur de 43 secondes d'arc par siècle du périhélie de Mercure prévu par Newton. Il retrouve exactement les 43 secondes d'arc par siècle et valide ainsi sa théorie.

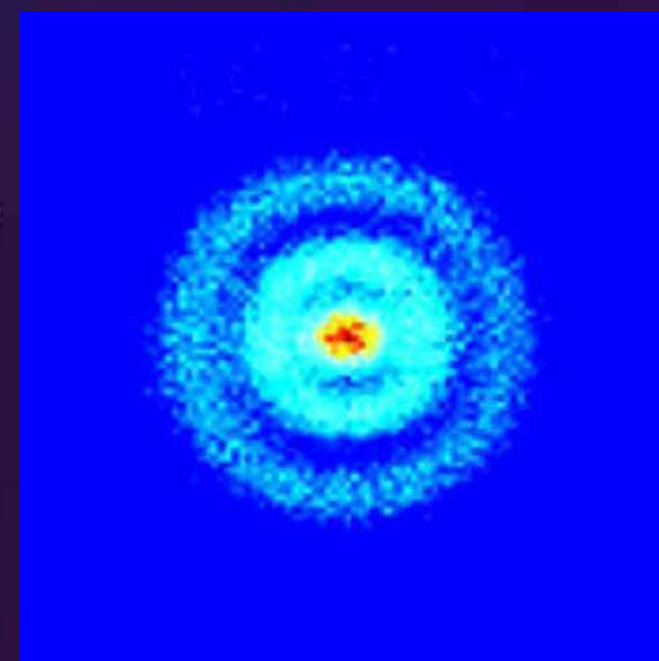


# MÉCANIQUE QUANTIQUE : IDÉES GÉNÉRALES

"QUICONQUE N'EST PAS CHOQUÉ PAR LA THÉORIE QUANTIQUE  
NE LA COMPREND PAS", NIELS BOHR



Bohr et Einstein



atome d'hydrogène

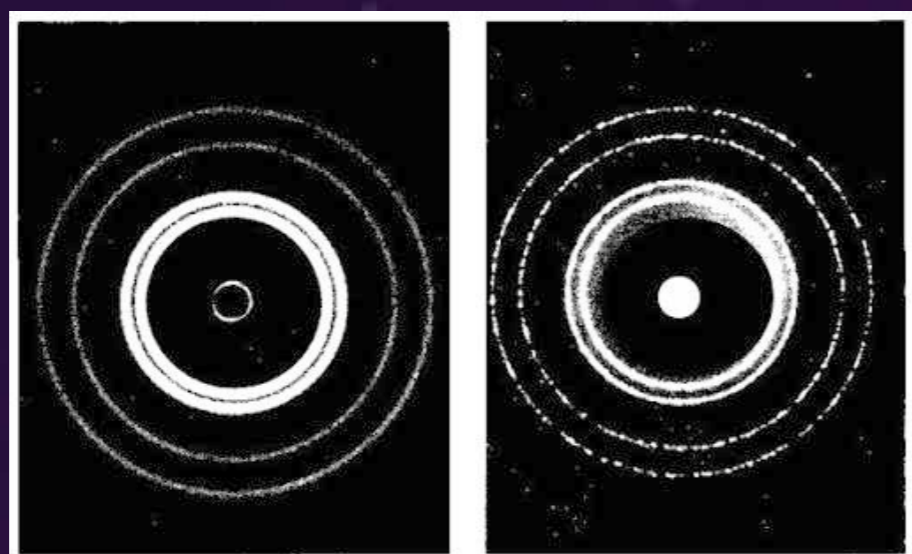
La mécanique quantique décrit les phénomènes fondamentaux à l'œuvre dans les systèmes physiques microscopiques qui se caractérisent par des propriétés différentes de celles du monde macroscopique.

Les quantités de matière et d'énergie échangées dans les phénomènes quantiques ne peuvent plus prendre n'importe quelles valeurs mais seulement des **valeurs discrètes** ou "quanta".

Un photon, un électron ou même un atome sont à la fois **une onde et un corpuscule**.

Les objets quantiques peuvent être dans plusieurs états à la fois. Une onde-corpuscule peut se trouver dans une **superposition d'états** qui est une sorte de potentialité de tous ses états possibles : être à la fois localisés en A et en B.

Dans un atome, pour localiser un électron autour de son noyau, on définira sa probabilité de présence qu'on représentera par un nuage de points.



Dualité onde - corpuscule :  
diffraction par un film métallique  
À gauche : Rayons X  
À droite : Faisceau d'électrons



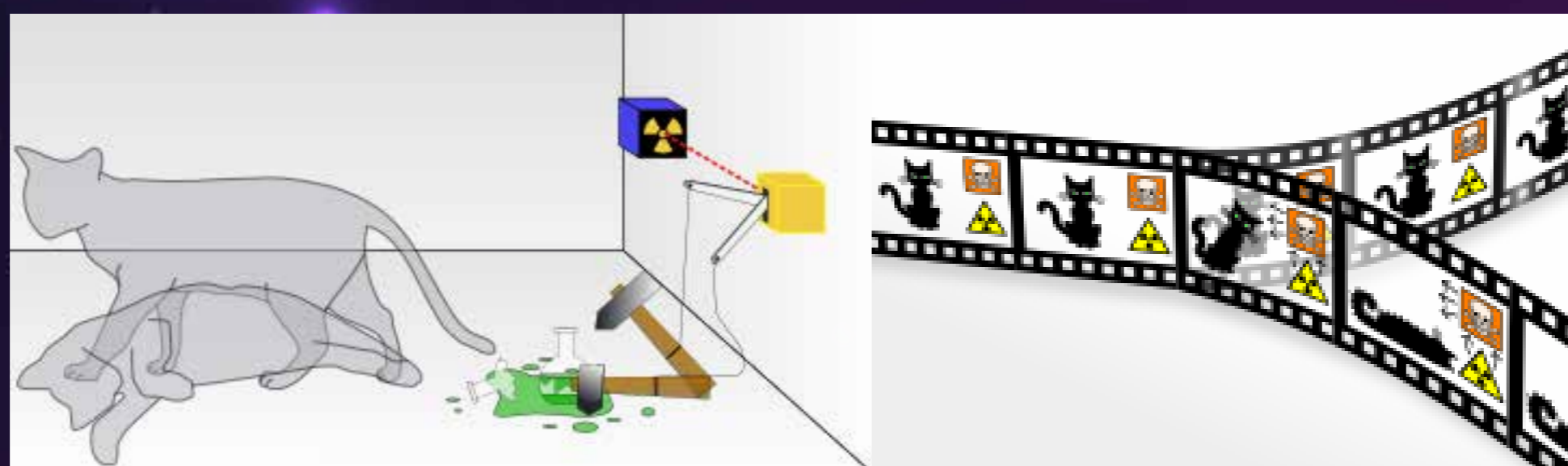
# MÉCANIQUE QUANTIQUE : IDÉES GÉNÉRALES

**"QUICONQUE N'EST PAS CHOQUÉ PAR LA THÉORIE QUANTIQUE NE LA COMPREND PAS", NIELS BOHR**

## Indétermination de la mesure et relations d'Heisenberg :

Il existe une limite fondamentale à la précision avec laquelle il est possible de connaître simultanément deux propriétés physiques d'une même particule ; ces deux variables dites complémentaires peuvent être sa position et sa quantité de mouvement, ou son énergie et le temps de la mesure.

La théorie quantique, tellement contre-intuitive, suscita de nombreux débats. **Schrödinger** voulait montrer l'incompatibilité du monde classique et du monde quantique, Einstein pour qui "Dieu ne joue pas aux dés", en écho l'approuvait, tandis que Niels Bohr répondait : "Qui êtes-vous pour dire à Dieu ce qu'il doit faire ?".



## Le chat de Schrödinger

Un chat est enfermé dans une boîte avec un flacon de gaz mortel et une source radioactive. Si un compteur Geiger détecte un certain seuil de radiations, le flacon est brisé et le chat meurt. Selon l'interprétation quantique, le chat est à la fois vivant et mort. Pourtant, si nous ouvrons la boîte, nous pourrions observer que le chat est soit mort, soit vivant.

Aujourd'hui la polémique a perdu de son acuité, la mécanique quantique s'applique quelle que soit sa philosophie. Mais nous savons aussi que nos théories sont insuffisantes pour la compréhension de notre univers.

En **mécanique quantique**, matière et énergie sont de même nature mais temps et espace sont différenciés.

En **relativité**, le temps et l'espace constituent une seule grandeur, l'espace-temps, tandis que matière et énergie sont différenciées.



# BIG-BANG ET MUR DE PLANCK

L'univers est en expansion, les galaxies s'éloignent les unes des autres : l'univers grandit.

On peut donc faire l'expérience mentale de remonter le temps et d'observer l'univers. Plus on remonte dans le temps, plus celui-ci est petit, chaud et dense.

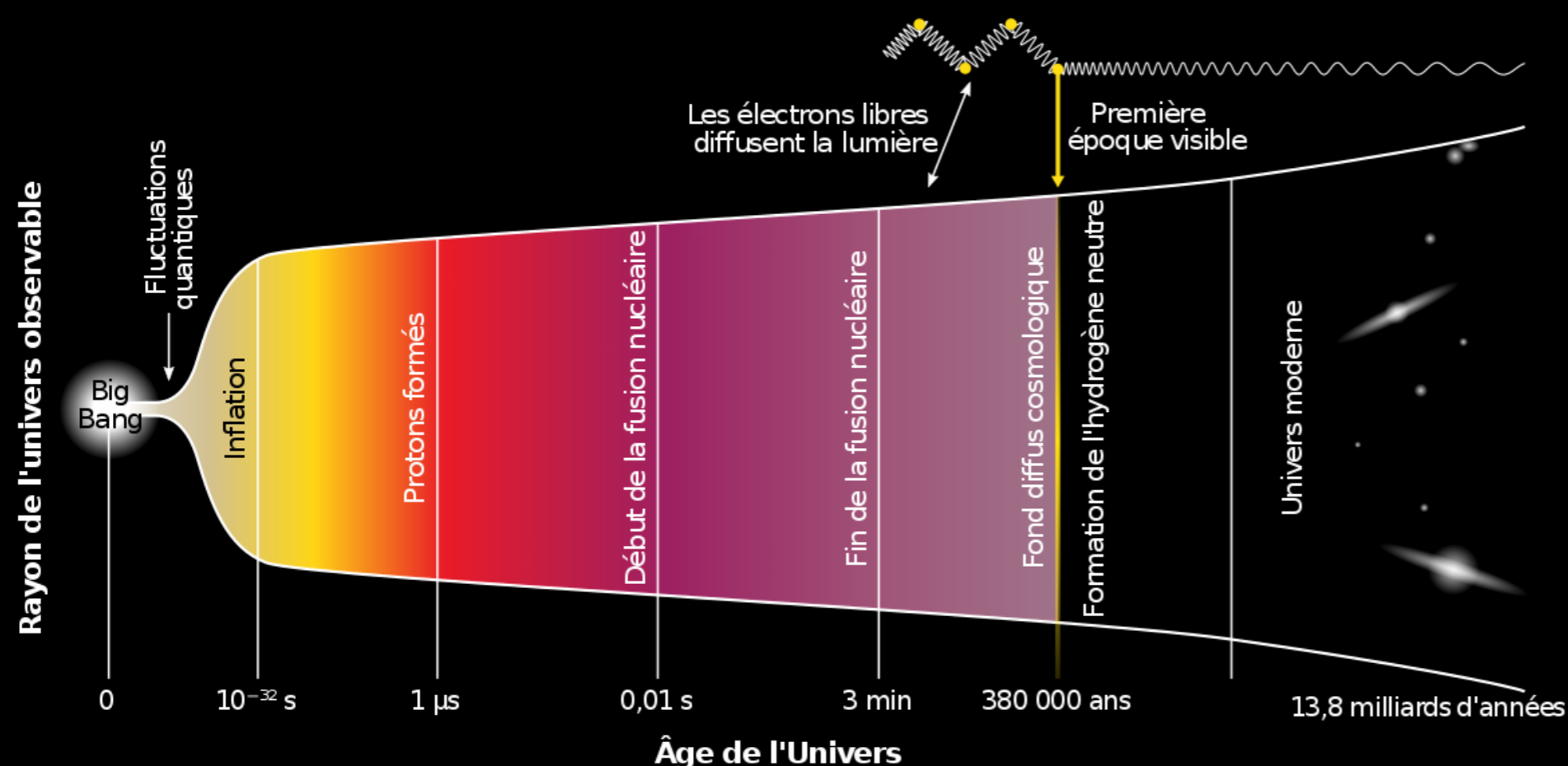
Ce modèle conduit à une singularité : un univers de taille nulle.

La première phase de l'expansion que l'on nomme **Big-Bang** aurait eu lieu il y a **13,7 milliards d'années**.

La description de l'univers est limitée. En deçà de  $10^{-44}$  secondes (**le mur de Planck**), on parle d'ère de Planck que les modèles sont incapables de décrire : on ne sait pas expliquer comment les 4 forces fondamentales (gravité, électromagnétisme, interaction forte et interaction faible) interagissent entre elles à des très grandes énergies. Il serait nécessaire d'avoir une théorie qui unifie ces 4 forces. Avant ce mur de Planck, rien n'est certain.



## Histoire de l'Univers



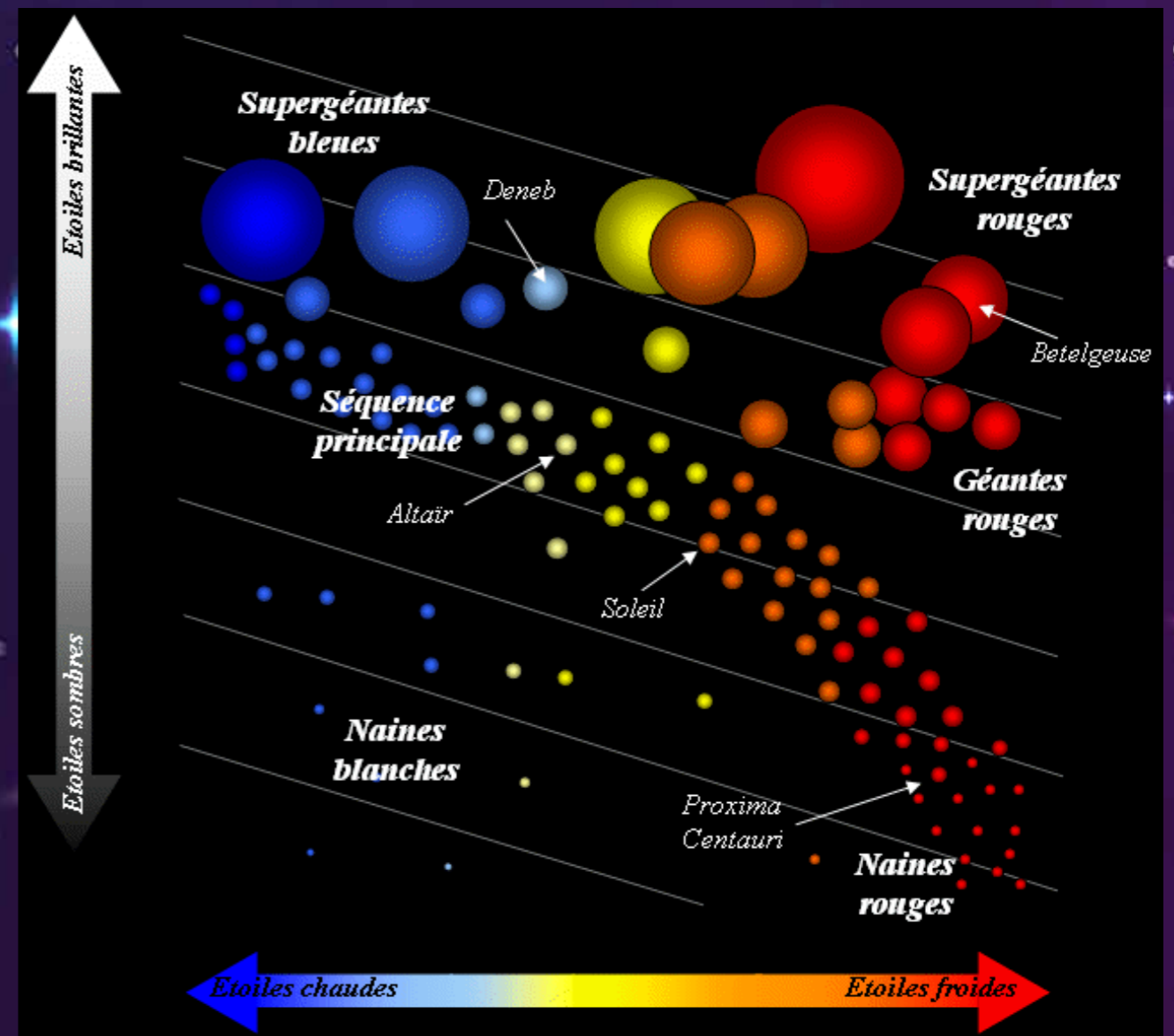
C'est à partir du Big-Bang que sont créés tous les éléments, du plus simple, l'hydrogène, aux plus lourds (Uranium, plomb, or...).



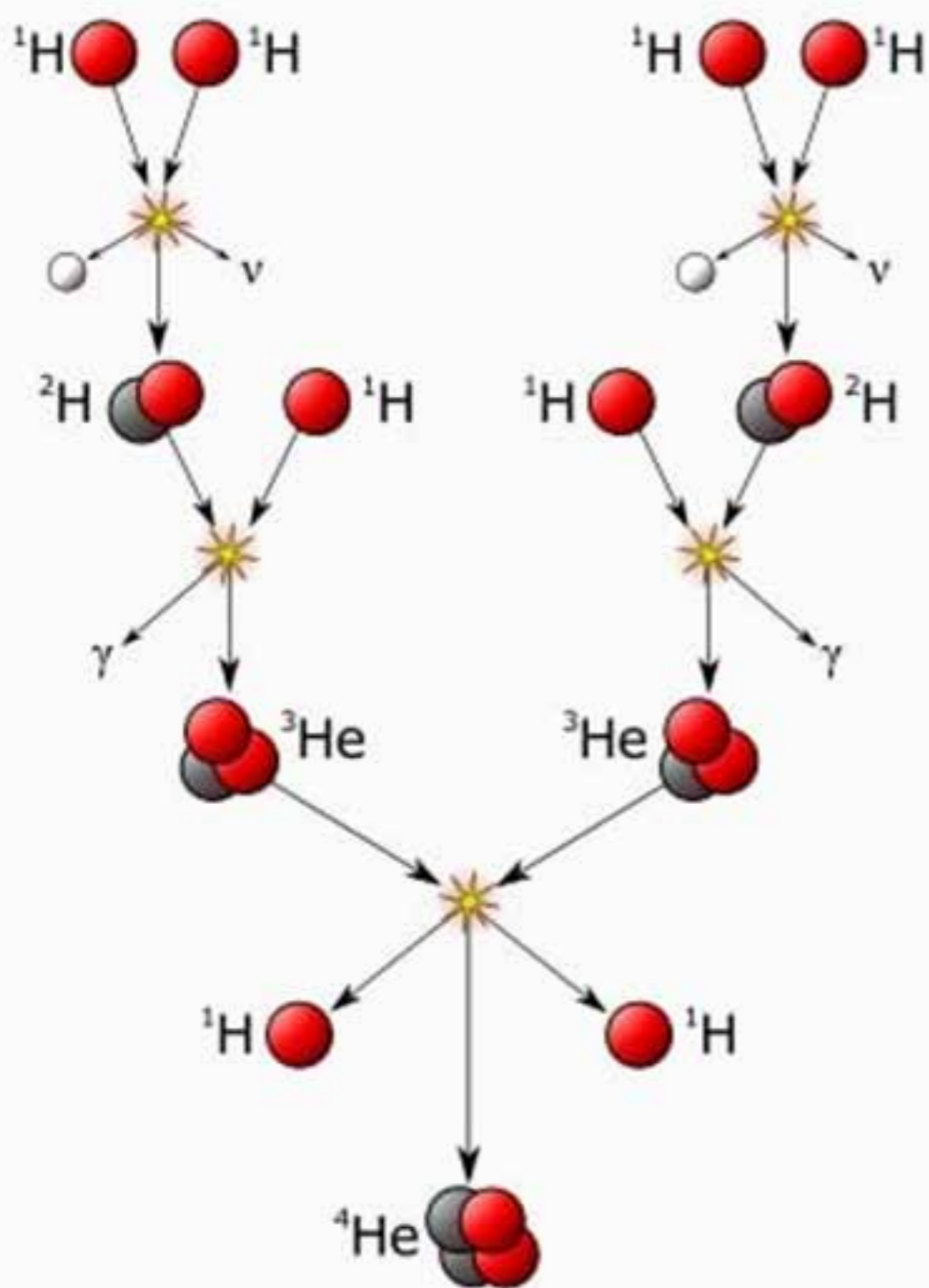
# RÉACTION NUCLÉAIRE AU CŒUR DES ÉTOILES

Une étoile est un astre sphérique composé de différentes couches d'éléments chimiques. Il existe différents types d'étoiles, de différentes tailles, températures, couleurs et âges. Celles-ci sont répertoriées dans le diagramme de (HR) Hertzsprung-Russell.

La viabilité d'une étoile est réalisée si l'énergie due à la gravitation est équilibrée par l'énergie thermonucléaire.



## Chaîne proton-proton



Ainsi, l'étoile est stable lorsque les **réactions thermonucléaires** s'opposent à son effondrement gravitationnel.

Lorsque l'hydrogène, le carburant de l'étoile, fusionne pour former de l'hélium, il libère beaucoup d'énergie qui contribue à sa luminosité. L'enchaînement de réactions qui conduit à la création de l'hélium se nomme la chaîne proton-proton.

Lorsqu'il n'y a plus d'hydrogène, l'étoile entame sa fin de vie : matière et énergie sont de même nature : la masse de l'étoile se transforme en énergie lumineuse. Ce qui est le sens de la célèbre équation de Einstein :

$$E = m \cdot C^2$$





# EXOPLANÈTES

C'est une planète située en dehors du système solaire orbitant autour d'une étoile.

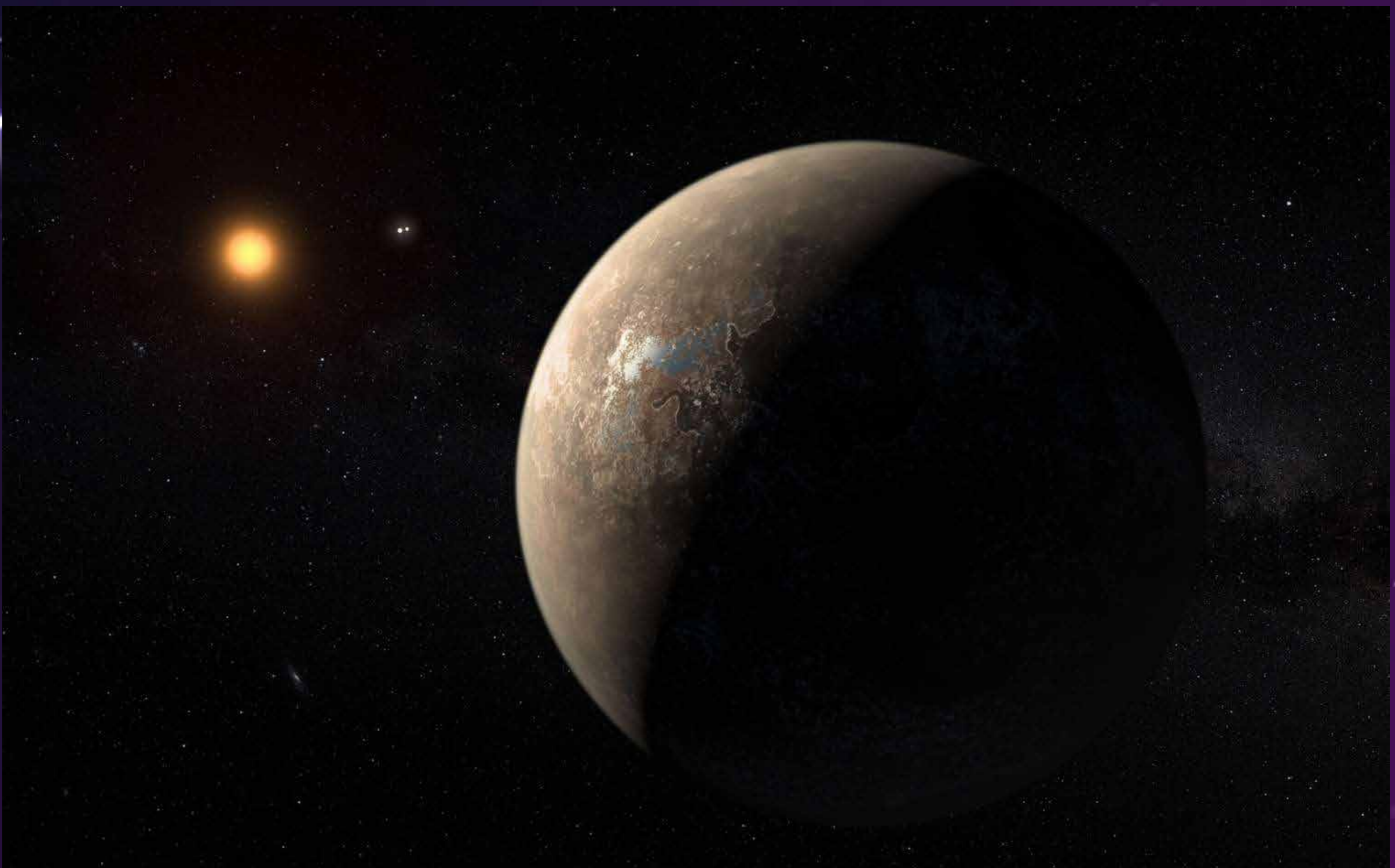
Petites, grandes, chaudes, froides, gazeuses, rocheuses, avec ou sans atmosphère, elles sont loin d'être toutes habitables, et surtout elles sont très lointaines.

La première, détectée en 1995, orbite autour d'un Soleil à 51 années-lumière. Plus de 4 000 exoplanètes ont été détectées entre 1995 et 2020. La plus proche connue est "Proxima Centauri b", repérée à 39 711 milliards de km de la Terre appartient à la zone d'habitabilité de Proxima du Centaure, une naine rouge située à 4,23 années-lumière du Soleil.

A la vitesse des sondes spatiales, il faut 6 mois pour aller sur Mars et donc 70 000 ans pour atteindre Centauri b ... !

À 0,12 fois la vitesse de la lumière (un rêve) la durée du voyage, à risques, serait limitée à 35 ans.

À ce jour jamais un être humain n'a vécu plus que 437 jours consécutifs dans l'espace : record détenu par Valeri Polyakov (du 8 janvier 1994 au 22 mars 1995).



# EXTRATERRESTRES : OÙ SONT-ILS ?

Si notre stade d'évolution nous permet d'envisager dans un délai plus ou moins lointain d'habiter hors de notre Terre, d'autres que nous auraient sans doute la possibilité de l'envisager. Où sont-ils ? En 1950, Enrico Fermi s'interroge :

**Notre civilisation ne serait-elle pas finalement la seule à avoir atteint un stade technologique avancé dans la voie lactée ?**

D'après ses calculs, l'ensemble de la galaxie devrait avoir été visité par une civilisation extraterrestre après seulement quelques centaines de millions d'années. Il exprime alors ce qui deviendra le paradoxe qui porte son nom :

**"Si les extraterrestres existent, mais où sont-ils donc ?"**

Un million d'années ne représentant que peu de chose à l'échelle de la galaxie, "ils" devraient donc être omniprésents et il devrait être impossible de ne pas les voir.

En 1961, l'astronome américain Frank Drake estime le nombre moyen de civilisations extraterrestres dans notre galaxie.

**Il constate aisément que ce nombre est 1 si la durée de vie planétaire accordée à une civilisation est de 100 000 ans !**

Et on se rappellera que la nôtre a pour l'instant environ 1 siècle d'existence depuis la révolution industrielle et au mieux 10 000 ans depuis la sédentarisation des chasseurs - cueilleurs !

