



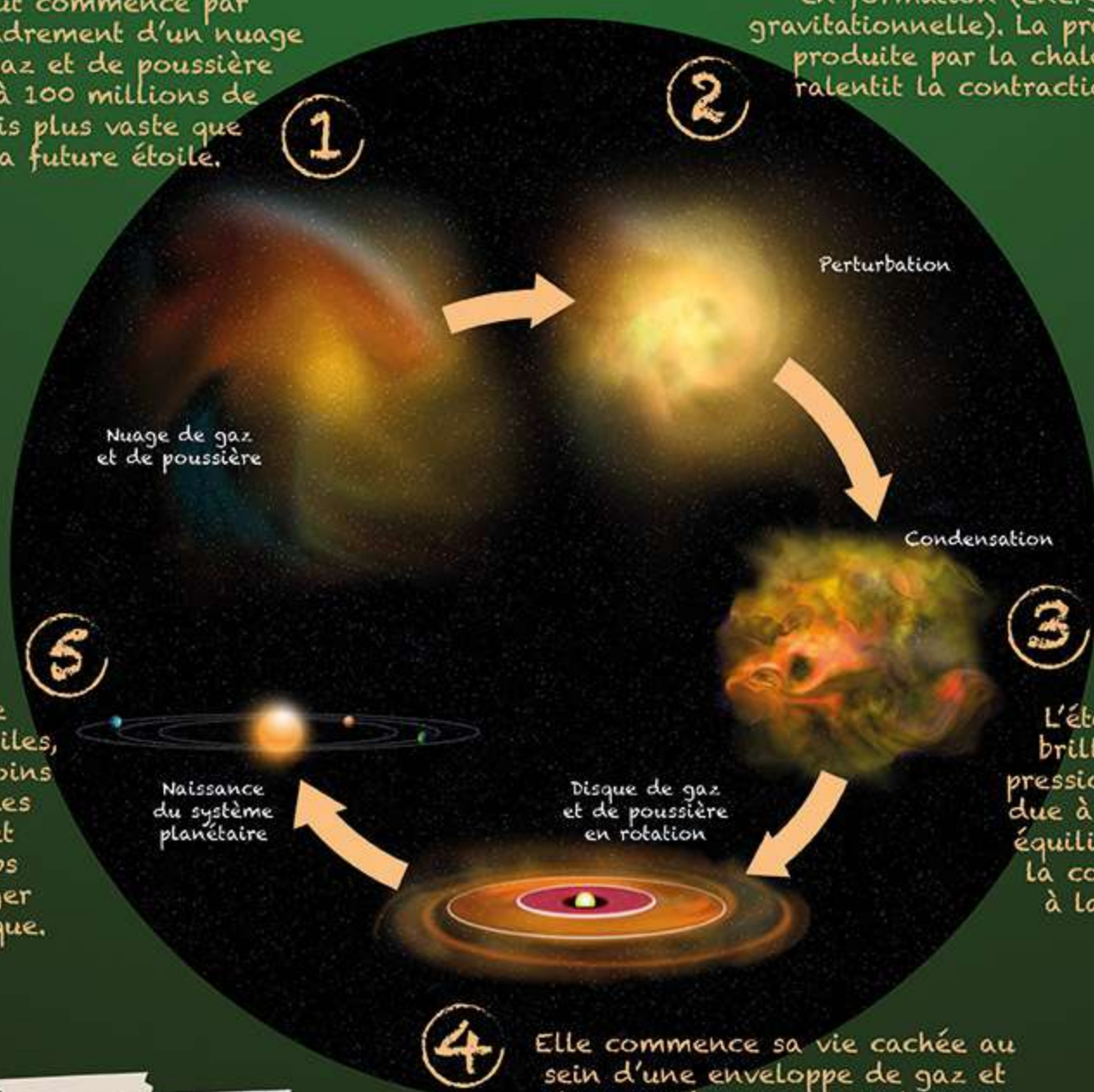
# LA MINUTE SCIENCE

## Formation d'un système stellaire

Les systèmes planétaires se forment en plusieurs étapes. Après la naissance d'une étoile, les planètes se constituent par agglomérations et collisions successives.

1  
Tout commence par l'effondrement d'un nuage de gaz et de poussière 10 à 100 millions de fois plus vaste que la future étoile.

2  
La chute du gaz vers le centre chauffe l'étoile en formation (énergie gravitationnelle). La pression produite par la chaleur ralentit la contraction.



5  
Autour de certaines étoiles, parmi les moins massives, des planètes et petits corps vont émerger dans le disque.

3  
L'étoile se met à briller lorsque la pression de radiation due à la température équilibre exactement la contraction due à la gravitation.

4  
Elle commence sa vie cachée au sein d'une enveloppe de gaz et de poussière qui va se dissiper en quelques millions d'années.

Les plus gros embryons d'étoiles forment des planètes géantes en accréant de grandes quantités de gaz !

L'instrument SPHERE, installé sur le télescope VLT de l'ESO au Chili, a pour principal objectif de détecter, au moyen de l'imagerie directe, des exoplanètes géantes en orbite autour d'étoiles proches.

Il a déjà photographié des systèmes planétaires en formation !

Parmi les équipes qui ont travaillé dessus figurent des ingénieurs du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille !





# LA MINUTE SCIENCE

## La lumière et l'effet Doppler-Fizeau

La lumière est composée de corpuscules appelés photons. Ce sont des « grains » d'énergie transmis quand la lumière est absorbée ou émise par la matière. Mais la lumière n'est pas seulement composée de corpuscules : c'est également une onde, comme les vagues à la surface de l'eau. Elle se propage sous forme de rayonnement et sa vitesse, dans le vide, est de 300 000 km/s.



Lorsque l'ambulance est à l'arrêt...



Lorsque l'ambulance roule...



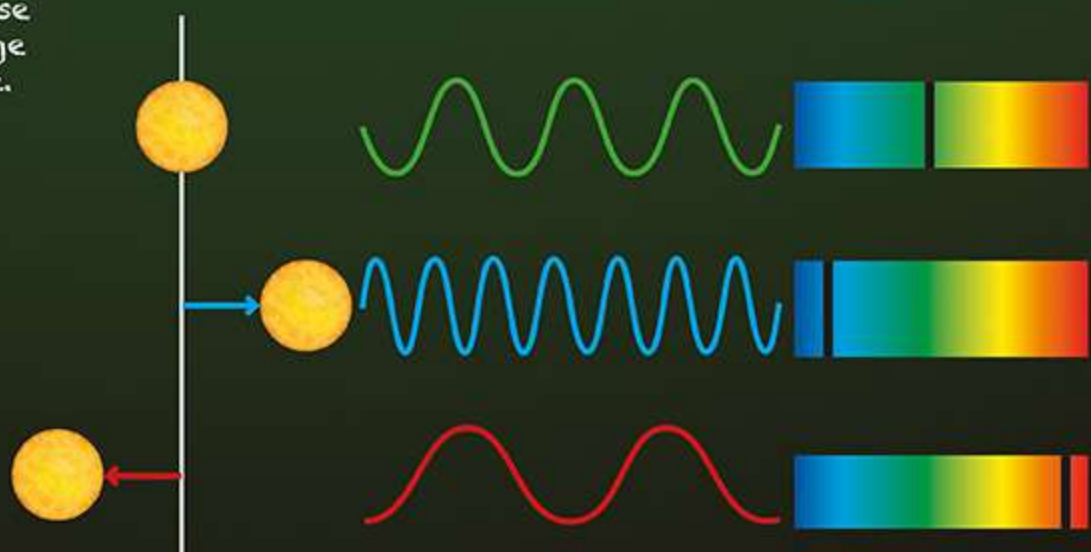
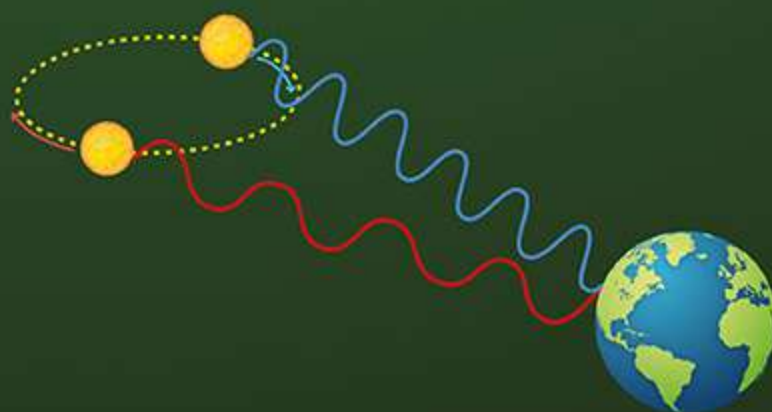
Le son est une onde, tout comme la lumière. Lorsque vous êtes dans la rue et qu'une ambulance vous dépasse, vous percevez la sirène de l'ambulance plus aiguë quand elle s'approche de vous, tandis que lorsqu'elle s'éloigne vous la percevez plus grave.

Lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur d'une onde varie, cela génère un décalage de fréquence, c'est ce que l'on nomme l'effet Doppler-Fizeau.

La lumière émise par les astres est la principale source d'information pour l'astronome.

Lorsque l'émetteur de lumière (une étoile par exemple) s'approche de son récepteur, les longueurs d'ondes émises raccourcissent. Le bleu se décale vers l'ultraviolet.

Lorsque l'émetteur s'éloigne, les longueurs d'ondes émises sont rallongées. Le bleu se décale alors vers le rouge et au-delà, l'infrarouge.



Au 17ème siècle, Isaac Newton démontre que la lumière blanche peut se décomposer en rayons multicolores et se recomposer à nouveau en lumière blanche. La gamme de couleurs obtenue par la réfraction à travers le prisme est appelée spectre chromatique ou spectre des couleurs.

Le spectre de la lumière solaire blanche est composé des couleurs qui sont, dans l'ordre : le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu et le violet.





# LA MINUTE SCIENCE

## La lumière, messagère de L'Univers

La lumière est composée de corpuscules appelés photons. Les photons sont des « grains » d'énergie transmis quand la lumière est absorbée ou émise par la matière. Mais la lumière n'est pas seulement composée de corpuscules : c'est également une onde, comme les vagues à la surface de l'eau. Elle se propage sous forme de rayonnement et sa vitesse, dans le vide, est de 300 000 km/s.

La lumière émise par les astres est la principale source d'information pour l'astronome.

INVISIBLE POUR L'ŒIL HUMAIN

VISIBLE POUR L'ŒIL HUMAIN

INVISIBLE POUR L'ŒIL HUMAIN

Domaine GAMMA

Domaine X

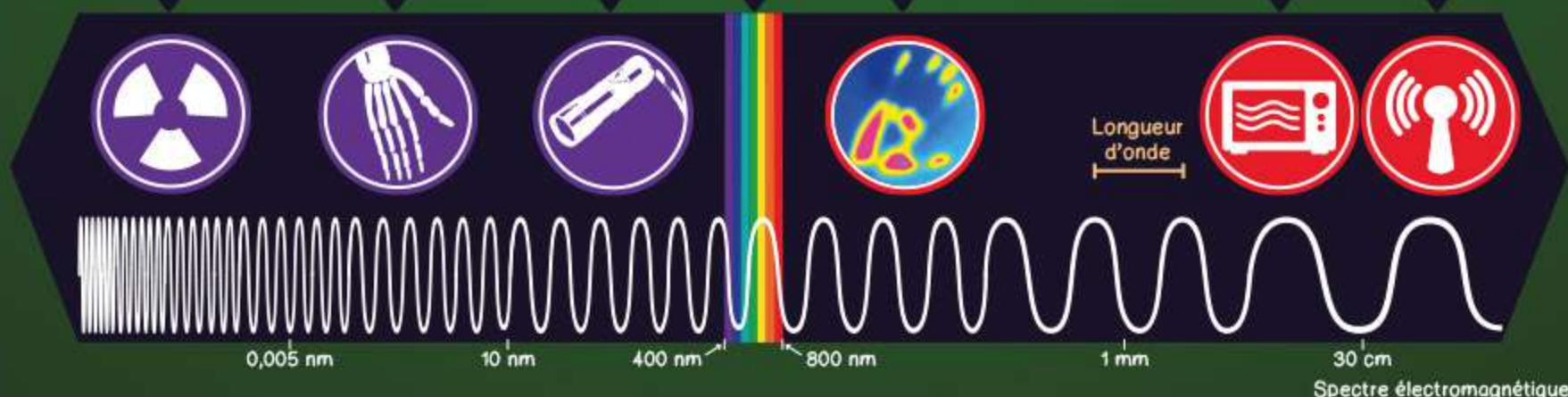
Domaine ULTRAVIOLETS

Domaine VISIBLE

Domaine INFRAROUGES

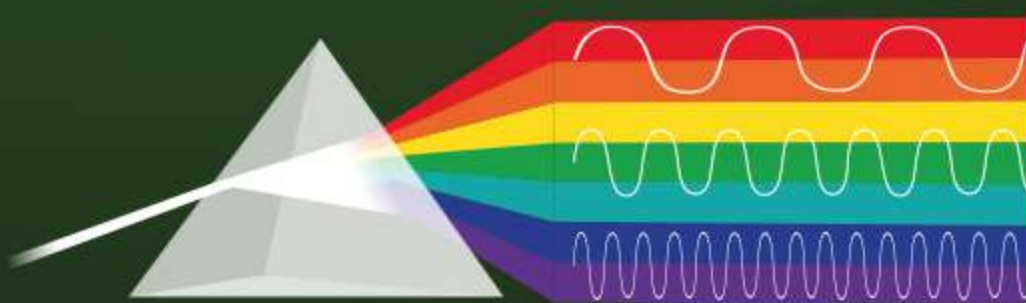
Domaine MICRO-ONDES

Domaine RADIO



La longueur d'onde est la distance entre deux « crêtes »

Si cette distance est importante, on parle de grande longueur d'onde, alors qu'à l'inverse on parle de courte longueur d'onde.



Au 17ème siècle, Isaac Newton démontre que la lumière blanche peut se décomposer en rayons multicolores et se recomposer à nouveau en lumière blanche. La gamme de couleurs obtenue par la réfraction à travers le prisme est appelée spectre chromatique ou spectre des couleurs.

Le spectre de la lumière solaire blanche est composé des couleurs qui sont, dans l'ordre : le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu et le violet.



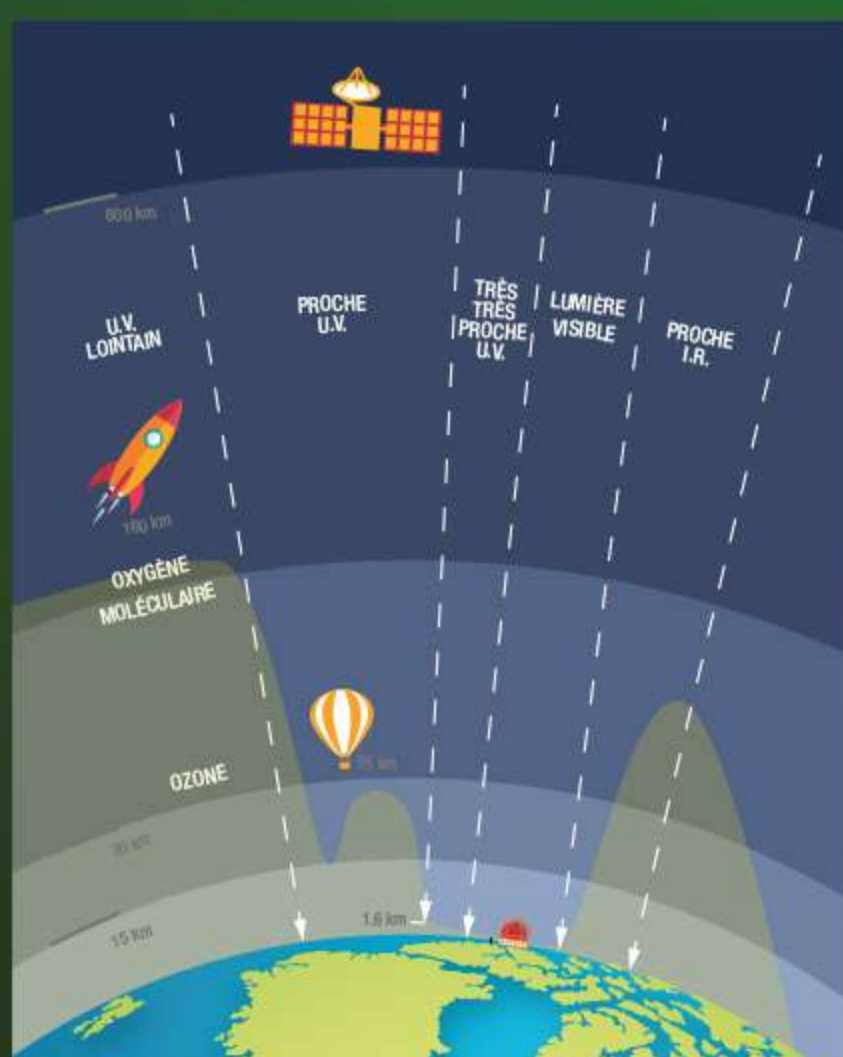


# LA MINUTE SCIENCE

## L'atmosphère, une barrière au rayonnement

L'atmosphère terrestre joue un rôle essentiel dans la protection de la vie sur Terre. Elle nous fournit l'air que nous respirons. Elle nous protège en partie des rayonnements dangereux et son effet de serre naturel permet de conserver une température moyenne de surface d'environ 15°C.

Cependant, cette barrière protectrice n'est pas sans causer quelques problèmes aux astrophysiciens : elle absorbe le rayonnement des astres et sa turbulence brouille les images !



### Absorption de l'atmosphère

99% de l'atmosphère terrestre est constituée d'azote (78%) et d'oxygène (21%).

Les 1% restants sont principalement de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone, du méthane, du monoxyde de carbone, du protoxyde d'azote, de l'ozone. Chacun absorbe le rayonnement dans des domaines de longueurs d'onde différents ce qui se traduit par l'impossibilité d'observer le ciel depuis le sol dans certains domaines de longueur d'onde.

### La turbulence

Tous les gaz de l'atmosphère n'ont pas les mêmes densités et températures. Ils sont en perpétuels mouvements créant le scintillement des étoiles et un flou des images.

Observer depuis l'espace, ou utiliser des méthodes d'optique adaptative très sophistiquées pour observer depuis le sol, permettent de s'affranchir de ce phénomène.



On appelle réchauffement climatique le phénomène d'augmentation de la température moyenne de la surface de la Terre résultant de l'augmentation du taux des gaz à effet de serre ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $O_3$ ,...) dans l'atmosphère.

Depuis 1950, cette température moyenne s'est élevée d'environ 0,6°C et il semble que cette augmentation s'accroisse.

Sans atmosphère la surface de Mars est un vrai désert froid !





# LA MINUTE SCIENCE

## La lumière, comment l'observer ?

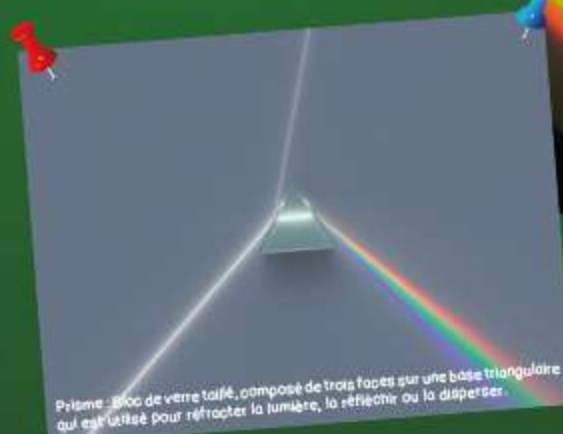
Capturer un élément aussi petit et rapide que la lumière afin de le faire « parler » requiert de l'ingéniosité.

Pour décomposer la lumière on peut utiliser un prisme ou un réseau.

En astronomie, pour un objet céleste (étoile, galaxie, nuage de gaz, ...) :

La photométrie permet l'étude de son intensité lumineuse et de la variabilité de celle-ci dans le temps. Elle peut se faire aussi bien dans le domaine des rayonnements du visible que dans ceux de l'invisible (infrarouge, ultraviolet).

La spectrométrie permet l'étude de la décomposition de la lumière qu'il émet ou absorbe.



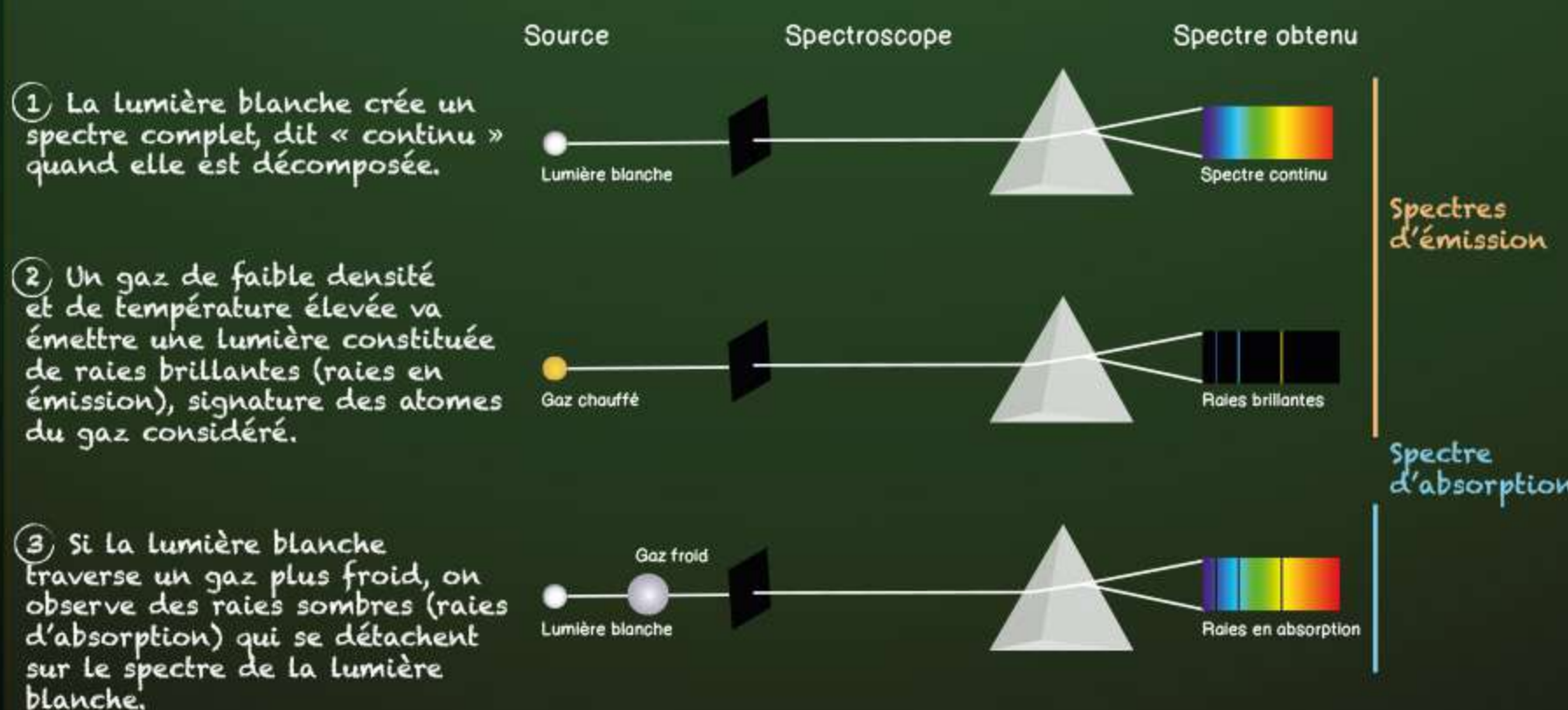
Prisme : Bloc de verre taillé, composé de trois faces sur une base triangulaire qui est utilisé pour réfracter la lumière, la rétroscaler ou la disperser.



Réseau : Surface finement gravée de milliers de traits par millimètre (comme un CD par exemple).

### Les Lois de Kirchhoff

En 1859, Gustav Kirchhoff énonce des lois très importantes qui expliquent les observations faites sur les spectres :



Grâce à la photométrie on peut, entre autre, déterminer la morphologie de l'objet (dans le domaine de longueur d'onde étudié), ses coordonnées dans l'espace, sa distance au Soleil, sa magnitude apparente, ...

Avec la spectrométrie on peut, entre autre, déterminer la composition chimique et la température des objets célestes.

Les raies d'absorption, se produisent pour un gaz donné aux mêmes endroits que les raies d'émission.

Un gaz absorbe les radiations qu'il est capable d'émettre s'il est chaud.





# LA MINUTE SCIENCE

## Cycle de vie des étoiles

Lorsque tout l'hydrogène du noyau s'est transformé en hélium, celui-ci s'effondre, la fusion de l'hélium en carbone commence et l'étoile se met à grossir pour devenir une géante rouge.

Dans son noyau de plus en plus chaud, l'étoile peut encore former des éléments plus lourds : oxygène, magnésium.

Tandis qu'elle grossit, les couches extérieures soumises à des pulsations sont éjectées. Reste un noyau très chaud appelé « naine blanche ».

Étoiles de moins de 8 fois la masse du Soleil

Cycle de plusieurs milliards d'années

Les étoiles naissent dans des nuages de gaz. Sous l'effet de la gravité, le gaz (principalement de l'hydrogène, l'élément le plus abondant dans l'Univers) se concentre dans les endroits les plus denses pour former des embryons d'étoiles.

Au cœur de l'embryon qui s'effondre, l'hydrogène s'échauffe et commence à fusionner sous l'effet des très fortes pressions et températures.

Le gaz expulsé forme une enveloppe nébuleuse chauffée par l'étoile centrale. Après quelques milliers d'années, le gaz se disperse et peut rejoindre d'autres nuages où se formeront d'autres étoiles.

Le gaz de l'étoile s'effondre sur le noyau et rebondit avant d'être expulsé de façon violente (supernova).

Après la formation des atomes de fer, la fusion du fer ne produit pas d'énergie !

Le noyau s'effondre et le cœur de fer se transforme en étoiles à neutrons ou en trou noir.

C'est lors de cette explosion terminale que tous les éléments plus lourds que le fer sont synthétisés.

Étoiles de plus de 8 fois la masse du Soleil

Cycle de plusieurs millions d'années

La pression énorme au sein des étoiles massives permet une fusion beaucoup plus rapide des atomes d'hydrogène, d'hélium, de carbone... et leur fusion simultanée en couches.

Étoile à neutron

Trou noir stellaire

Les étoiles vivent un long cycle de vie, naissent, explosent, s'éteignent, et... se recyclent.

Tous les atomes qui nous constituent ont été créés au cœur d'une étoile. Nous sommes poussières d'étoiles...

Tout n'est pas encore compris dans la formation et l'évolution des étoiles, en particulier pour les étoiles les plus massives.



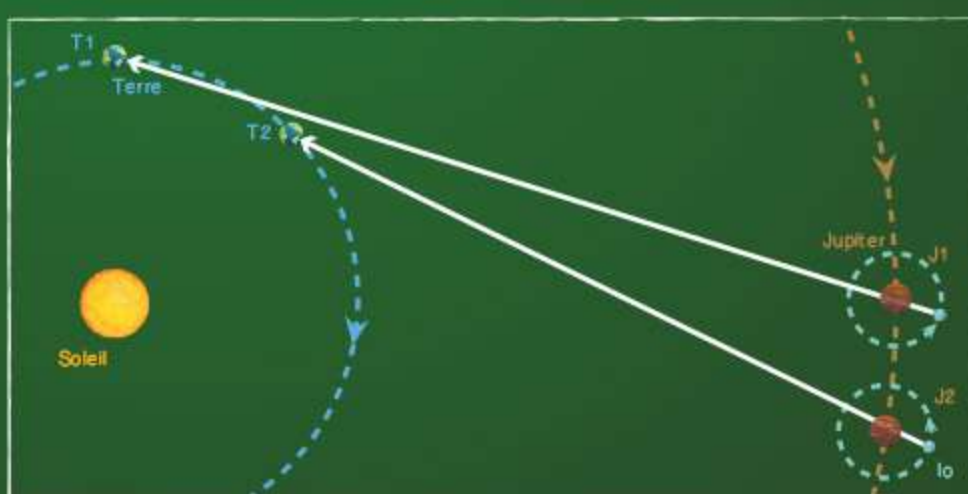


# LA MINUTE SCIENCE

## La lumière, une vitesse imbattable !

On a longtemps cru que la lumière se propageait instantanément. En réalité, elle se déplace très vite.

En 1676, l'astronome danois Ole Rømer étudie le cycle des occultations par Jupiter de son satellite Io. De ses observations et de ses calculs, il émet l'hypothèse que la lumière a une vitesse finie et qu'elle est de l'ordre de 215 000 km/s.



En 1849, l'astronome français Hyppolyte Fizeau imagine une première expérience en laboratoire avec laquelle il détermine la vitesse de la lumière à 315 300 km/s.



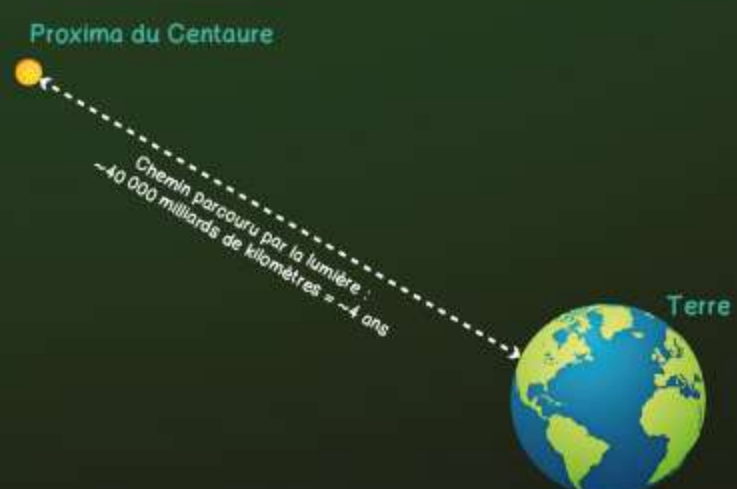
En 1862, l'astronome Léon Foucault construit un instrument basé sur un miroir tournant avec lequel il obtient 298 000 km/s.

En 1983, la 17ème Conférence Générale des Poids et Mesure définit le mètre (unité de longueur dans le Système International) comme : « ... la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde ».

Ceci fixe la vitesse de la lumière dans le vide à  $c = 299\,792\,458$  mètres par seconde (environ 300 000 km/s).

Proxima du Centaure est l'étoile la plus proche de la Terre, en dehors du Soleil.

Pour nous parvenir, la lumière émise par Proxima du Centaure met environ 4 ans. On dit que Proxima est à 4 années-lumière de la Terre, une unité de mesure bien pratique en astronomie pour manipuler les très grandes distances.



La vitesse de la lumière est au cœur de la relativité restreinte introduite par Albert Einstein en 1905 : c'est la vitesse la plus grande qu'un corps matériel puisse atteindre dans l'Univers !

Ainsi, dans l'espace, plus on regarde loin, plus on remonte dans le passé !





# LA MINUTE SCIENCE

## La lumière et L'effet Doppler-Fizeau

Lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur d'une onde varie, cela génère un décalage de fréquence, c'est ce que l'on nomme l'effet Doppler-Fizeau.

Lorsque l'ambulance est à l'arrêt...



Lorsque l'ambulance roule...

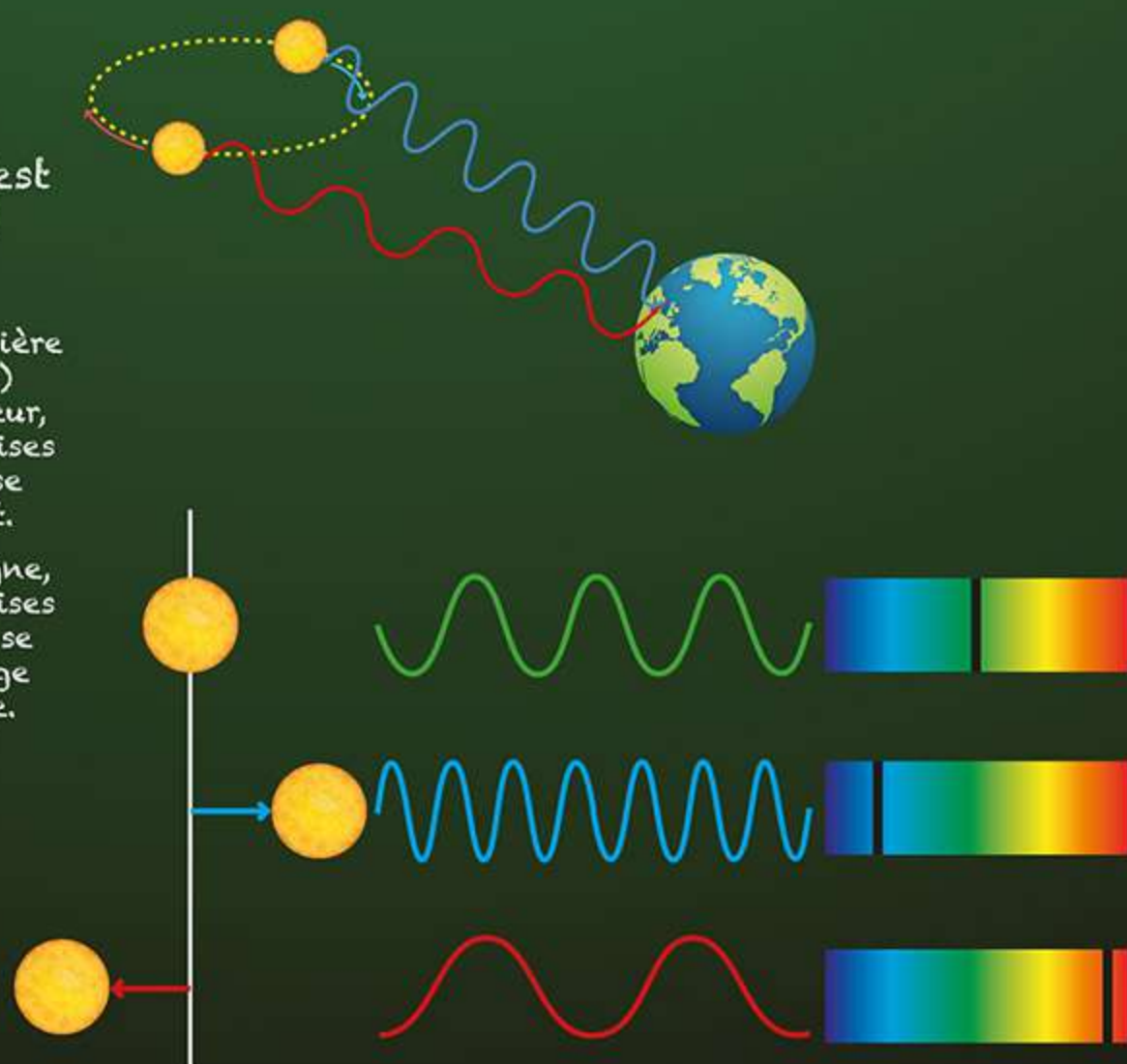


Le son est une onde, tout comme la lumière. Lorsque vous êtes dans la rue et qu'une ambulance vous dépasse, vous percevez la sirène de l'ambulance plus aiguë quand elle s'approche de vous, tandis que lorsqu'elle s'éloigne vous la percevez plus grave.

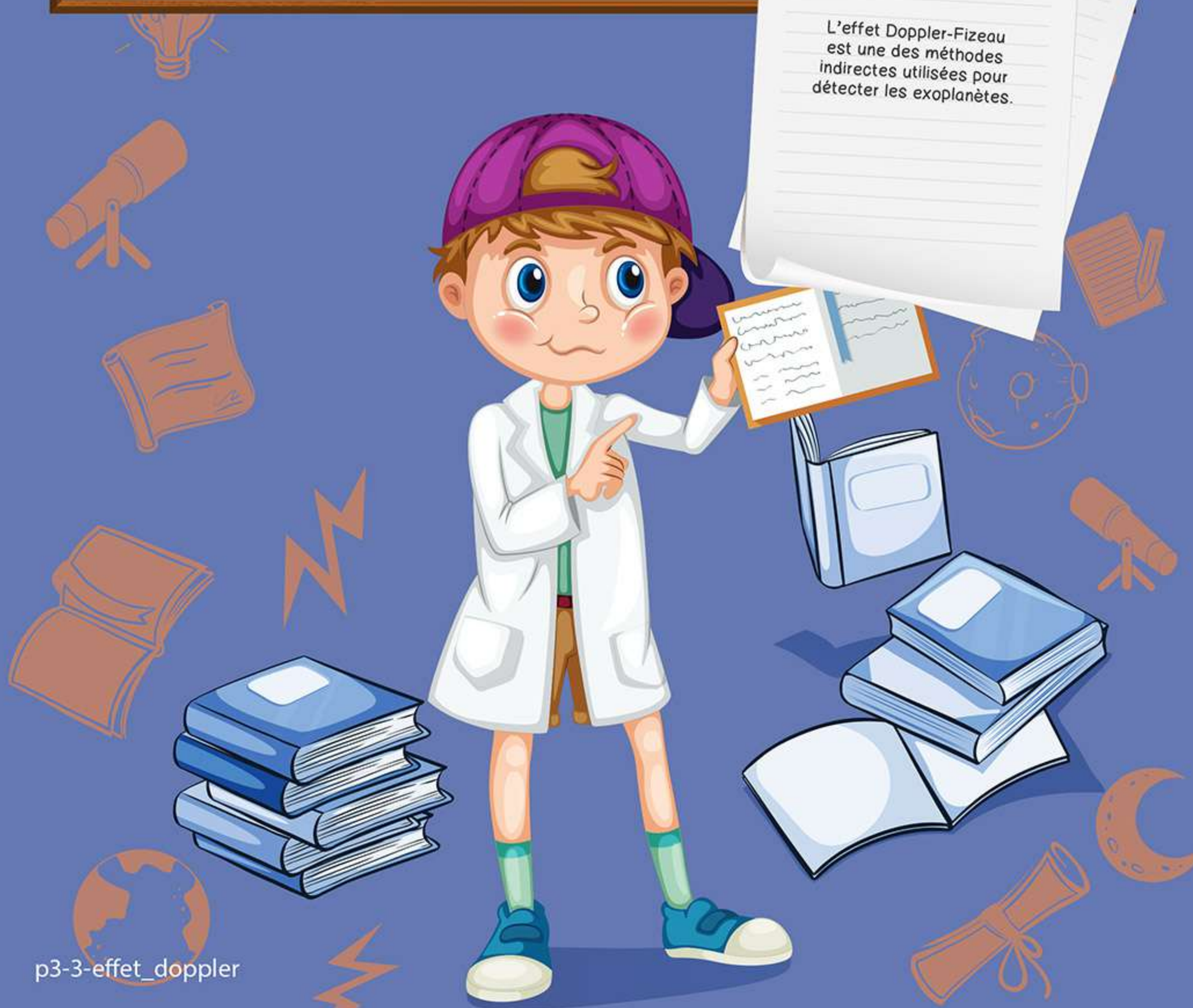
Pour la lumière, c'est la même chose !

Lorsque l'émetteur de lumière (une étoile par exemple) s'approche de son récepteur, les longueurs d'ondes émises raccourcissent. Le bleu se décale vers l'ultraviolet.

Lorsque l'émetteur s'éloigne, les longueurs d'ondes émises sont rallongées. Le bleu se décale alors vers le rouge et au-delà, l'infrarouge.



L'effet Doppler-Fizeau est une des méthodes indirectes utilisées pour détecter les exoplanètes.

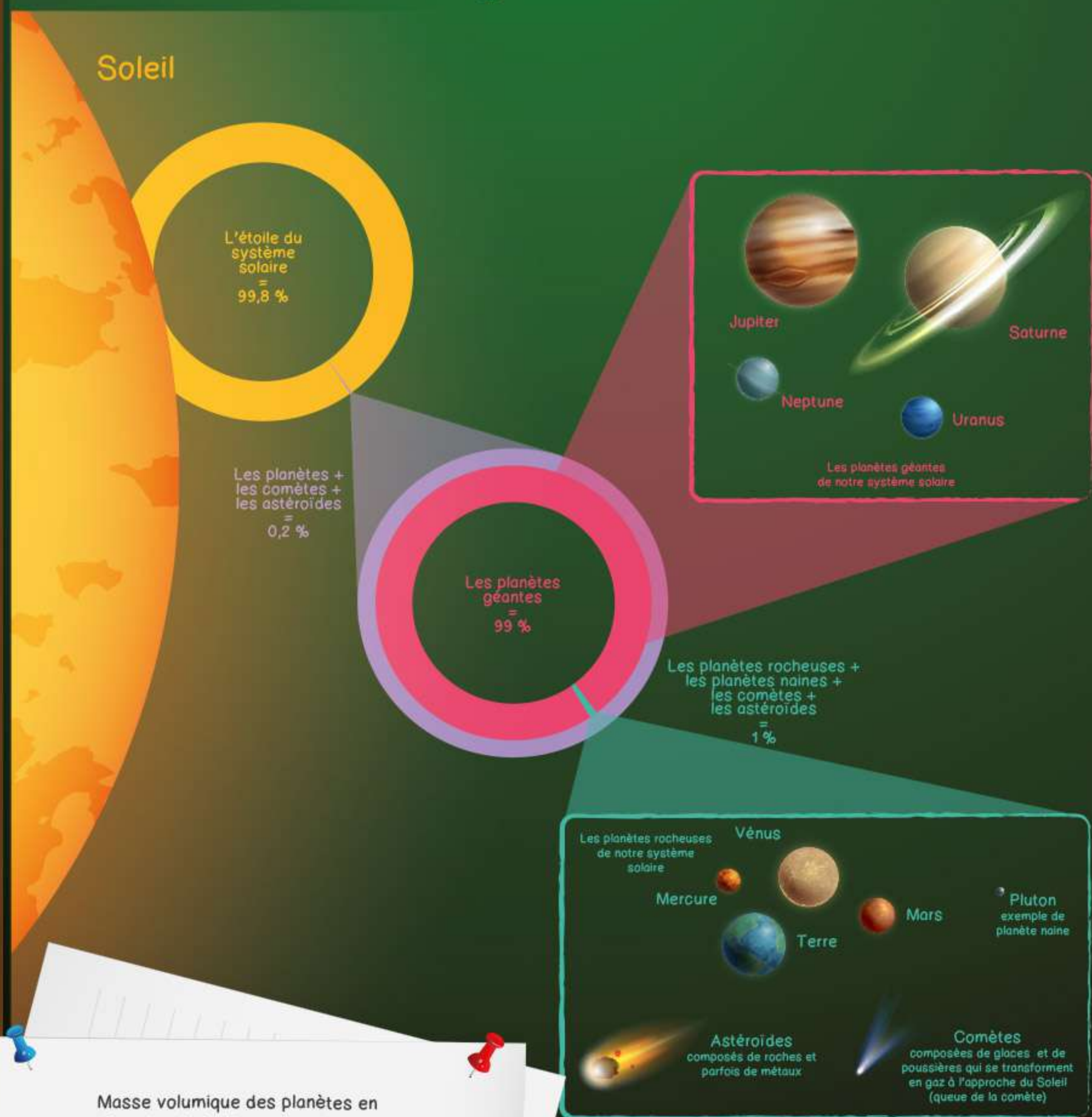




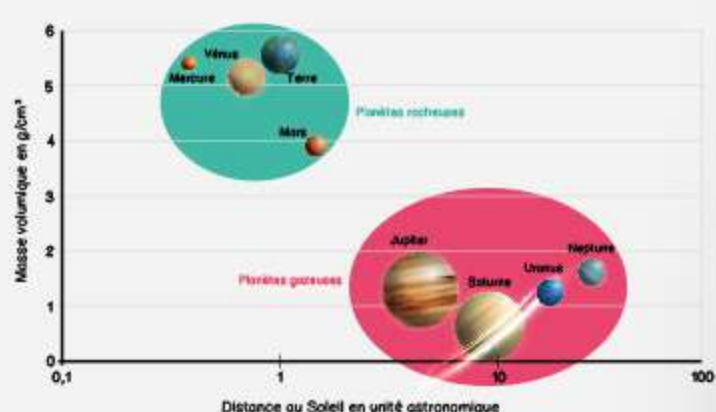


# LA MINUTE SCIENCE

## Répartition de la masse dans le système solaire



Masse volumique des planètes en fonction de la distance au Soleil.





# LA MINUTE SCIENCE

## Le système solaire, une naissance tourmentée

Il y a 4,6 milliards d'années

① Tout a commencé, il y a 4,6 milliards d'années dans un nuage de gaz et de poussières.

② Autour d'une région plus dense, le gaz et les poussières s'agglomèrent sous l'effet de la gravitation. Le Soleil est en train de naître, accréant la grande majorité du gaz.

③ Les résidus de la future étoile vont aussi, pour la plupart, se rassembler pour former des corps de plus en plus gros, les planétésimaux (1 à 1000 km de diamètre).

④ Les planétésimaux se percutent, se détruisent, se reforment en corps plus massifs qui constituent les embryons de planètes.

Les matériaux laissés par le Soleil s'agglomèrent en morceaux de plus en plus gros.

⑤ Formation du système solaire tel qu'on le connaît avec deux types de planètes, les rocheuses et les gazeuses.

Aujourd'hui

Sous l'effet de l'explosion d'une supernova, gaz et poussières d'une nébuleuse sont comprimés.

La fusion nucléaire se produit lorsque des atomes d'hydrogène fusionnent en hélium.



Les comètes gardent de précieux indices des conditions (température, pression, chimie...) qui régnaient dans la nébuleuse protoplanétaire.

En les étudiant on peut mieux comprendre la formation de notre système solaire.

Comme les astéroïdes et les planètes naines, les comètes sont les témoins privilégiés des premiers instants de la formation du système solaire.

Loin du Soleil, un noyau d'éléments lourds constitue le point de départ pour que s'accumule une enveloppe de gaz. Cela conduit à une planète très volumineuse et massive essentiellement constituée d'hydrogène et d'hélium.

Près du Soleil, les éléments légers ont reçu énormément d'énergie, ils sont trop chauds pour se condenser. Le matériau qui constitue ces planètes est donc riche en éléments lourds, tels le fer ou le silicium.

On pense que le système solaire est, aujourd'hui, très différent de ce qu'il était après sa formation initiale.

Il reste encore de nombreuses questions en suspens.

