

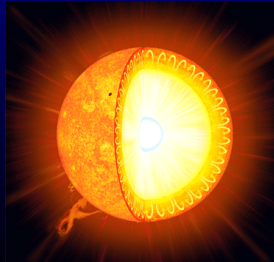
Comment brillent les étoiles ?

« L'incroyable histoire de la lumière »

Vincent Prat

Club d'astronomie du Foyer Rural de Quint-Fonsegrives

1^{er} octobre 2011



Un petit quiz pour commencer...

Un petit quiz pour commencer...

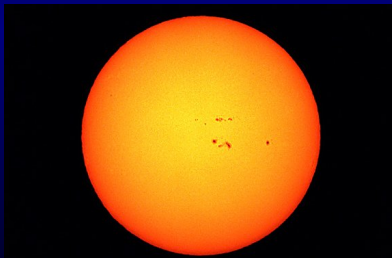
Qu'est-ce qu'une étoile ?

- ① une boule de feu
- ② une boule de gaz chaud
- ③ une grosse planète

Un petit quiz pour commencer...

Qu'est-ce qu'une étoile ?

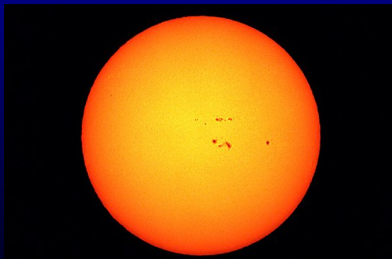
- ① une boule de feu
- ② une boule de gaz chaud : beaucoup d'hydrogène et un peu d'hélium
- ③ une grosse planète



Un petit quiz pour commencer...

Qu'est-ce qu'une étoile ?

- ① une boule de feu
 - ② une boule de gaz chaud : beaucoup d'hydrogène et un peu d'hélium
 - ③ une grosse planète
- *une étoile émet sa propre lumière, pas une planète*



Un petit quiz pour commencer. . .(suite et fin)

Combien y a-t-il d'étoiles dans le système solaire ?

- 1 une
- 2 500 000
- 3 200 milliards

Un petit quiz pour commencer. . .(suite et fin)

Combien y a-t-il d'étoiles dans le système solaire ?

- ① une seule : le Soleil
- ② 500 000
- ③ 200 milliards



Un petit quiz pour commencer... (suite et fin)

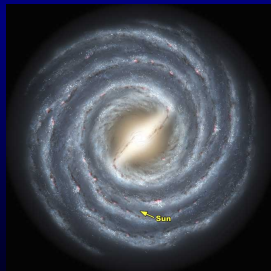
Combien y a-t-il d'étoiles dans le système solaire ?

① une seule : le Soleil

② 500 000

③ 200 milliards

→ *nombre d'étoiles dans la Galaxie*



Plan de l'exposé

- 1 D'où vient l'énergie ?
- 2 Comment se transmet-elle ?
- 3 Que nous dit la lumière qui vient jusqu'à nous ?

Plan de l'exposé

- 1 D'où vient l'énergie ?
 - Principe de la fusion nucléaire
 - Différentes phases de la vie d'une étoile
- 2 Comment se transmet-elle ?
- 3 Que nous dit la lumière qui vient jusqu'à nous ?

Le cœur d'une étoile

- Dans l'air ambiant, une molécule de gaz subit un nombre de collisions avec ses voisines de l'ordre de **10 milliards** par seconde !

Le cœur d'une étoile

- Dans l'air ambiant, une molécule de gaz subit un nombre de collisions avec ses voisines de l'ordre de **10 milliards** par seconde !
- Les noyaux des atomes constituant ces molécules se repoussent du fait de l'**interaction électromagnétique**

Le cœur d'une étoile

- Dans l'air ambiant, une molécule de gaz subit un nombre de collisions avec ses voisines de l'ordre de **10 milliards** par seconde !
- Les noyaux des atomes constituant ces molécules se repoussent du fait de l'**interaction électromagnétique**
- Au cœur du Soleil, la température est de **15 millions de degrés** et la pression de **340 milliards d'atmosphères** !

Le cœur d'une étoile

- Dans l'air ambiant, une molécule de gaz subit un nombre de collisions avec ses voisines de l'ordre de **10 milliards** par seconde !
- Les noyaux des atomes constituant ces molécules se repoussent du fait de l'**interaction électromagnétique**
- Au cœur du Soleil, la température est de **15 millions de degrés** et la pression de **340 milliards d'atmosphères** !

Conclusion

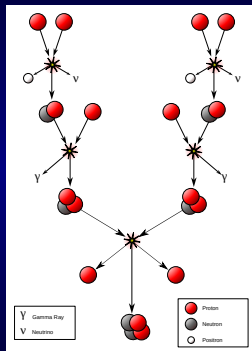
L'interaction électromagnétique ne suffit plus à séparer les noyaux
⇒ *la fusion nucléaire devient possible*

Fusion de l'hydrogène

Des noyaux d'hydrogène fusionnent pour former de l'hélium en **produisant de l'énergie** en partie **sous forme de lumière** (rayons gamma)

Fusion de l'hydrogène

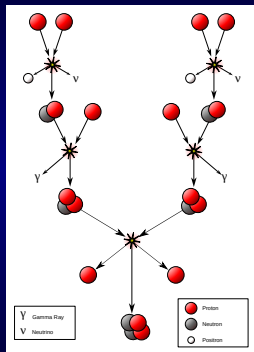
Des noyaux d'hydrogène fusionnent pour former de l'hélium en **produisant de l'énergie** en partie **sous forme de lumière** (rayons gamma)



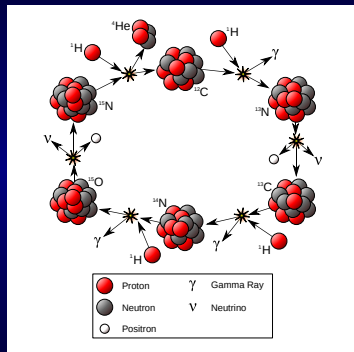
Chaîne proton-proton
(étoiles de masse solaire ou
inférieure)

Fusion de l'hydrogène

Des noyaux d'hydrogène fusionnent pour former de l'hélium en **produisant de l'énergie** en partie sous forme de lumière (rayons gamma)



Chaîne proton-proton
(étoiles de masse solaire ou
inférieure)



Cycle carbone-azote-oxygène
(étoiles de masse supérieure au Soleil)

Autres réactions de fusion

Au cours de la vie d'une étoile, les réactions de fusion qui se produisent peuvent changer

Autres réactions de fusion

Au cours de la vie d'une étoile, les réactions de fusion qui se produisent peuvent changer

Exemple

Quand il n'y a plus assez d'hydrogène au cœur de l'étoile :

Autres réactions de fusion

Au cours de la vie d'une étoile, les réactions de fusion qui se produisent peuvent changer

Exemple

Quand il n'y a plus assez d'hydrogène au cœur de l'étoile :

- la fusion s'arrête (et ne s'oppose plus à la gravité)

Autres réactions de fusion

Au cours de la vie d'une étoile, les réactions de fusion qui se produisent peuvent changer

Exemple

Quand il n'y a plus assez d'hydrogène au cœur de l'étoile :

- la fusion s'arrête (et ne s'oppose plus à la gravité)
- l'étoile se contracte, la température et la pression augmentent

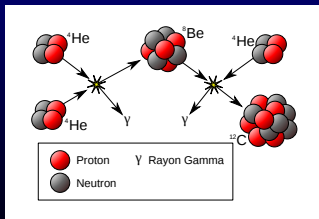
Autres réactions de fusion

Au cours de la vie d'une étoile, les réactions de fusion qui se produisent peuvent changer

Exemple

Quand il n'y a plus assez d'hydrogène au cœur de l'étoile :

- la fusion s'arrête (et ne s'oppose plus à la gravité)
- l'étoile se contracte, la température et la pression augmentent
- à 100 millions de degrés, la fusion des noyaux d'hélium commence



Réaction triple alpha

Un nouvel équilibre est trouvé : l'étoile est devenue une **géante rouge**

Arrêt définitif de la fusion

Selon sa masse initiale, une étoile peut ainsi connaître plusieurs phases de fusion à partir d'éléments de plus en plus lourds, à des températures de plus en plus élevées.

Arrêt définitif de la fusion

Selon sa masse initiale, une étoile peut ainsi connaître plusieurs phases de fusion à partir d'éléments de plus en plus lourds, à des températures de plus en plus élevées.

Mais...

Au-delà du nickel 56 (^{56}Ni), qui est produit à **plusieurs milliards de degrés**, les réactions de fusion consomment de l'énergie au lieu d'en produire
→ plus aucune réaction de fusion ne peut empêcher l'étoile de s'effondrer

Arrêt définitif de la fusion

Selon sa masse initiale, une étoile peut ainsi connaître plusieurs phases de fusion à partir d'éléments de plus en plus lourds, à des températures de plus en plus élevées.

Mais...

Au-delà du nickel 56 (^{56}Ni), qui est produit à **plusieurs milliards de degrés**, les réactions de fusion consomment de l'énergie au lieu d'en produire
→ plus aucune réaction de fusion ne peut empêcher l'étoile de s'effondrer

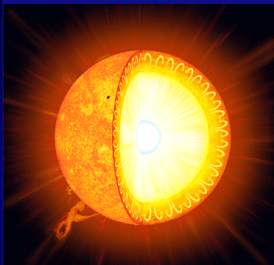
La suite est une autre histoire...

Plan de l'exposé

- 1 D'où vient l'énergie ?
- 2 Comment se transmet-elle ?
 - La structure interne d'une étoile
 - La structure externe
- 3 Que nous dit la lumière qui vient jusqu'à nous ?

Les différentes « zones » d'une étoile

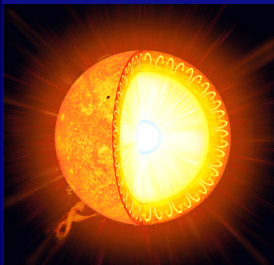
Le Soleil



En partant du centre :

Les différentes « zones » d'une étoile

Le Soleil

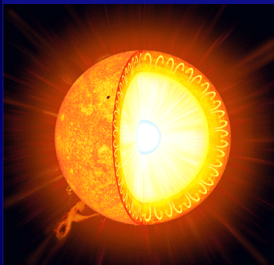


En partant du centre :

- la **zone radiative**, où l'énergie est transmise par rayonnement

Les différentes « zones » d'une étoile

Le Soleil

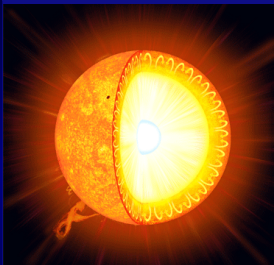


En partant du centre :

- la **zone radiative**, où l'énergie est transmise par rayonnement
- la **zone convective**, où l'énergie est transmise par convection (mouvement de matière)

Les différentes « zones » d'une étoile

Le Soleil



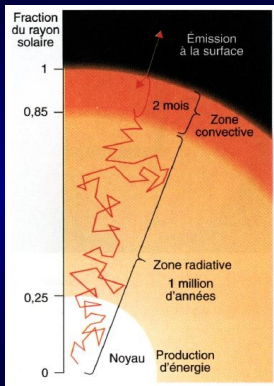
En partant du centre :

- la **zone radiative**, où l'énergie est transmise par rayonnement
- la **zone convective**, où l'énergie est transmise par convection (mouvement de matière)

Toutes les étoiles ne sont pas comme cela :

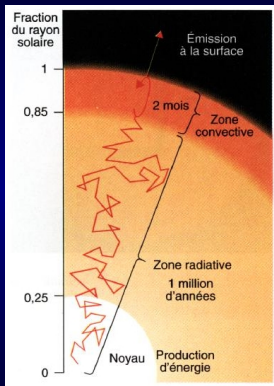
- les moins massives sont entièrement convectives
- les plus massives sont presque entièrement radiatives avec un cœur convectif

Le trajet de la lumière



- Dans la zone radiative, les **photons** (particules de lumière) sont en permanence absorbés et réémis dans toutes les directions
→ ils mettent **un million d'années** à en sortir !

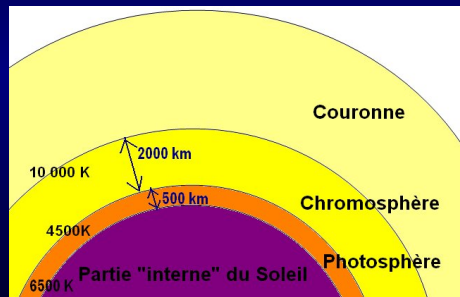
Le trajet de la lumière



- Dans la zone radiative, les **photons** (particules de lumière) sont en permanence absorbés et réémis dans toutes les directions
→ ils mettent **un million d'années** à en sortir !
- Dans la zone convective, l'énergie est transportée par la matière environnante, qui met **2 mois** à atteindre la surface.

L'atmosphère d'une étoile

En se rapprochant de la surface, il existe une limite à partir de laquelle la lumière peut se propager librement : c'est le début de la **photosphère**, d'où vient la majorité de la lumière qui arrive jusqu'à nous

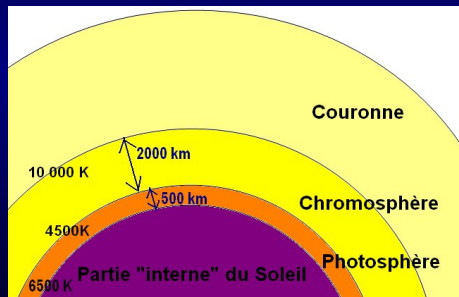


L'atmosphère d'une étoile

En se rapprochant de la surface, il existe une limite à partir de laquelle la lumière peut se propager librement : c'est le début de la **photosphère**, d'où vient la majorité de la lumière qui arrive jusqu'à nous

La lumière traverse alors deux autres couches de plus en plus chaudes et de moins en moins denses et lumineuses, visible uniquement lors d'éclipses totales :

- la chromosphère
- la couronne



L'atmosphère d'une étoile

En se rapprochant de la surface, il existe une limite à partir de laquelle la lumière peut se propager librement : c'est le début de la **photosphère**, d'où vient la majorité de la lumière qui arrive jusqu'à nous

La lumière traverse alors deux autres couches de plus en plus chaudes et de moins en moins denses et lumineuses, visible uniquement lors d'éclipses totales :

- la chromosphère (en rouge)
- la couronne (en gris)

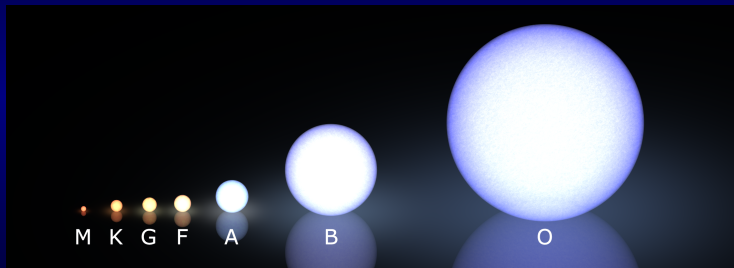


Plan de l'exposé

- 1 D'où vient l'énergie ?
- 2 Comment se transmet-elle ?
- 3 Que nous dit la lumière qui vient jusqu'à nous ?
 - Par ses propriétés physiques
 - Par ses variations

Sa couleur

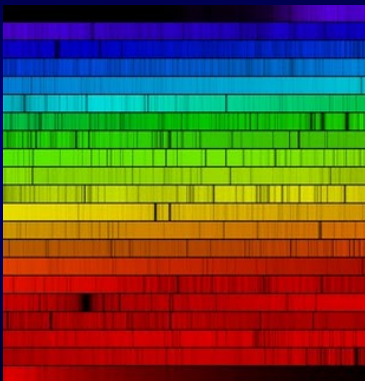
La couleur de la lumière provenant d'une étoile nous renseigne sur sa température de surface. Une étoile froide (< 3500 K) sera rouge alors qu'une étoile chaude (> 25000 K) sera bleue



C'est ce qu'on appelle le **type spectral** d'une étoile. Notre Soleil est de type G

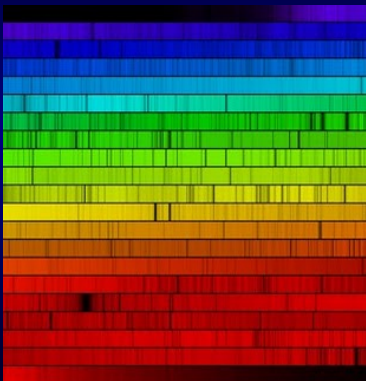
Ses raies d'absorption

Lorsque l'on décompose la lumière solaire avec un prisme, voici ce qu'on obtient :



Ses raies d'absorption

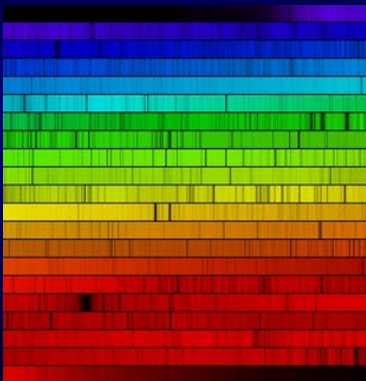
Lorsque l'on décompose la lumière solaire avec un prisme, voici ce qu'on obtient :



Les petits traits noirs sont appelés des **raies d'absorption**. Ils sont dus au fait que l'atmosphère du Soleil absorbe certaines **longueurs d'ondes** (qui distinguent les différents types de lumière), caractéristiques des **éléments chimiques** qui la constituent.

Ses raies d'absorption

Lorsque l'on décompose la lumière solaire avec un prisme, voici ce qu'on obtient :

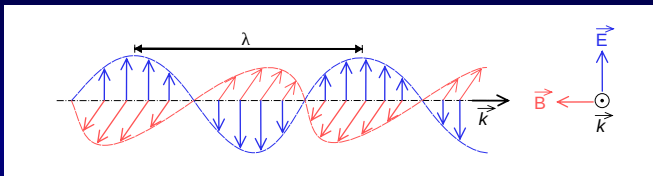


Les petits traits noirs sont appelés des **raies d'absorption**. Ils sont dus au fait que l'atmosphère du Soleil absorbe certaines **longueurs d'ondes** (qui distinguent les différents types de lumière), caractéristiques des **éléments chimiques** qui la constituent.

En examinant l'intensité des différentes raies du spectre d'une étoile, on en déduit la composition de son atmosphère

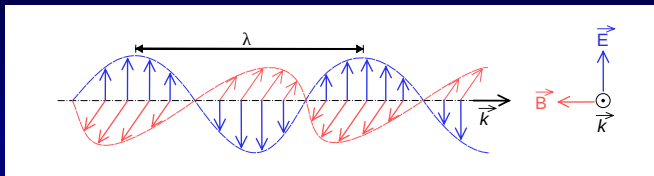
Sa polarisation

La lumière est une **onde électromagnétique**, c'est à dire une oscillation du champ électromagnétique :



Sa polarisation

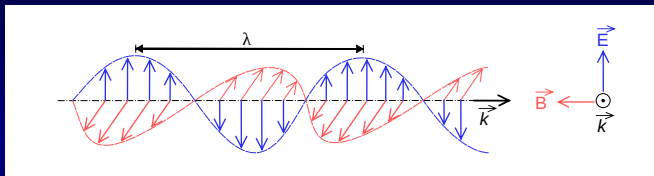
La lumière est une **onde électromagnétique**, c'est à dire une oscillation du champ électromagnétique :



La **polarisation** désigne la façon dont le champ électrique oscille (linéairement, circulairement,...) \rightarrow cinéma 3D

Sa polarisation

La lumière est une **onde électromagnétique**, c'est à dire une oscillation du champ électromagnétique :



La **polarisation** désigne la façon dont le champ électrique oscille (linéairement, circulairement,...) → cinéma 3D

Intérêt

L'étude de la polarisation de la lumière d'une étoile nous renseigne sur son champ magnétique

Et le reste ?

Problème

Toute la lumière que l'on reçoit nous vient de la surface. Comment peut-on savoir ce qu'il se passe à l'intérieur ?

Et le reste ?

Problème

Toute la lumière que l'on reçoit nous vient de la surface. Comment peut-on savoir ce qu'il se passe à l'intérieur ?

Réponse

De la même façon que pour la Terre : en faisant de la sismologie

⇒ *Et oui, les étoiles vibrent !*

On appelle cela de l'**astérosismologie**

Et le reste ?

Problème

Toute la lumière que l'on reçoit nous vient de la surface. Comment peut-on savoir ce qu'il se passe à l'intérieur ?

Réponse

De la même façon que pour la Terre : en faisant de la sismologie

⇒ *Et oui, les étoiles vibrent !*

On appelle cela de l'**astérosismologie**

Malheureusement, on en peut pas poser de sismographes sur le Soleil (trop chaud et pas de surface solide) et encore moins sur les autres étoiles !

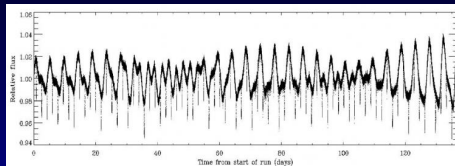
Astérosismologie

Alors comment fait-on ?

Astérosismologie

Alors comment fait-on ?

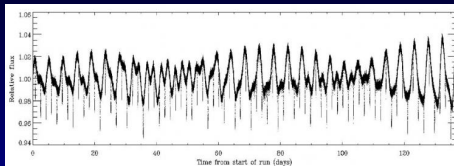
- on mesure les variations de luminosité d'une étoile



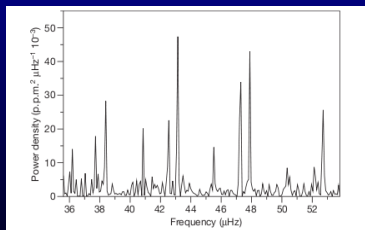
Astérosismologie

Alors comment fait-on ?

- on mesure les variations de luminosité d'une étoile



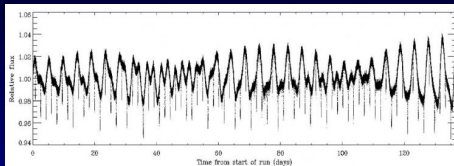
- on calcule le spectre correspondant



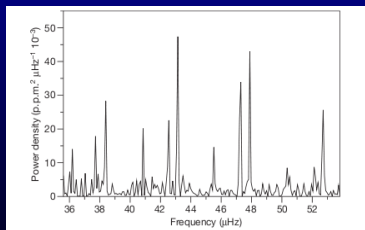
Astérosismologie

Alors comment fait-on ?

- on mesure les variations de luminosité d'une étoile



- on calcule le spectre correspondant



- les fréquences d'oscillation nous donnent des indications sur la structure interne de l'étoile (cf. corde de guitare)

Conclusion

À retenir

Conclusion

À retenir

- La lumière des étoiles provient de réactions de fusion nucléaire qui ont lieu en leur centre

Conclusion

À retenir

- La lumière des étoiles provient de réactions de fusion nucléaire qui ont lieu en leur centre
- Cette lumière peut mettre des millions d'années pour en sortir

Conclusion

À retenir

- La lumière des étoiles provient de réactions de fusion nucléaire qui ont lieu en leur centre
- Cette lumière peut mettre des millions d'années pour en sortir
- Tout ce que l'on sait des étoiles nous vient de la lumière qu'elles émettent