

# Les taches et le spectre solaire

**Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno**

*Union Astronomique Internationale,  
Secundária Escola de Loulé, Portugal*

*ITeDA et Université Technologique Nationale, Argentine*

*Colegio Retamar de Madrid, Espagne*



# Objectifs

- Comprendre le spectre solaire
- Comprendre l'utilité du spectre solaire
- Comprendre les taches solaires
- Comprendre l'importance du travail de Galilée sur les taches solaires.



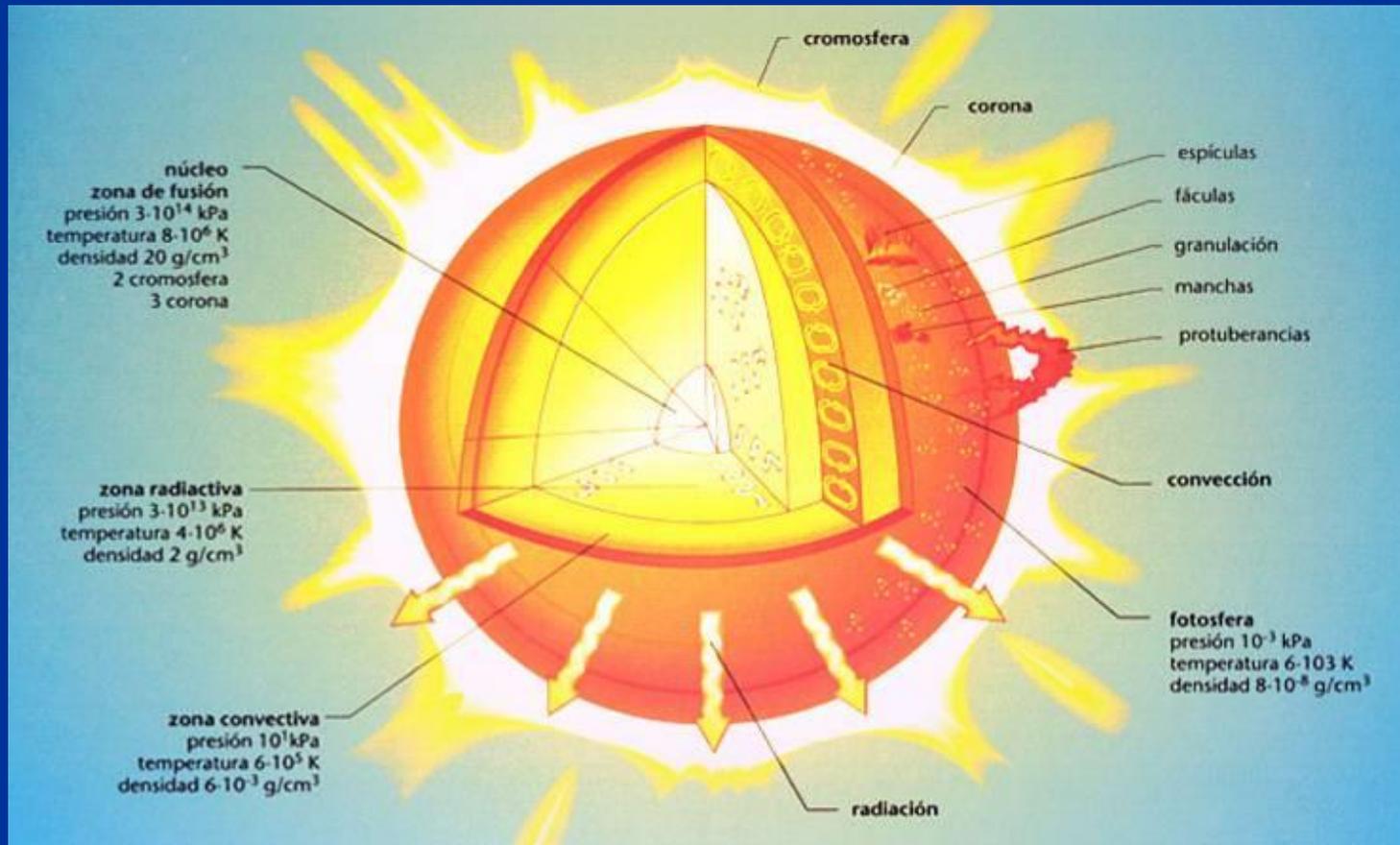
# Radiations solaires

Toute l'énergie (lumière, chaleur) que nous utilisons sur Terre vient du Soleil



# Radiations solaires

Ce rayonnement est créé à l'intérieur du noyau, à très haute pression et à 15 millions de degrés. Il est produit par des réactions de fusion nucléaire



# Radiations solaires

- 4 atomes d'hydrogène fusionnent pour donner l'atome d'hélium



- La masse résultante est inférieure à la masse des 4 protons et la masse restante est transformée en énergie:

$$E=mc^2$$

- Chaque seconde, 600 millions de tonnes d'Hydrogène sont convertis en 595,5 millions de tonnes d'Hélium, le reste est converti en énergie.

- Le Soleil est tellement massif qu'il va durer des milliards d'années.

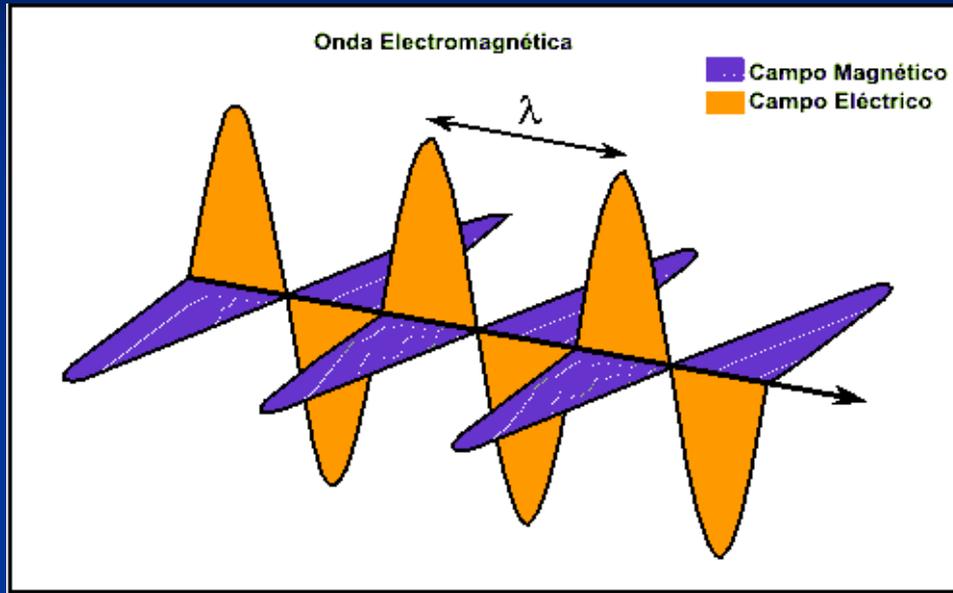


# Radiations solaires

Cette énergie est transportée avec une vitesse de 299.793 km/s. Elle prend 8 minutes pour atteindre la Terre



# Spectre Solaire: Radiations

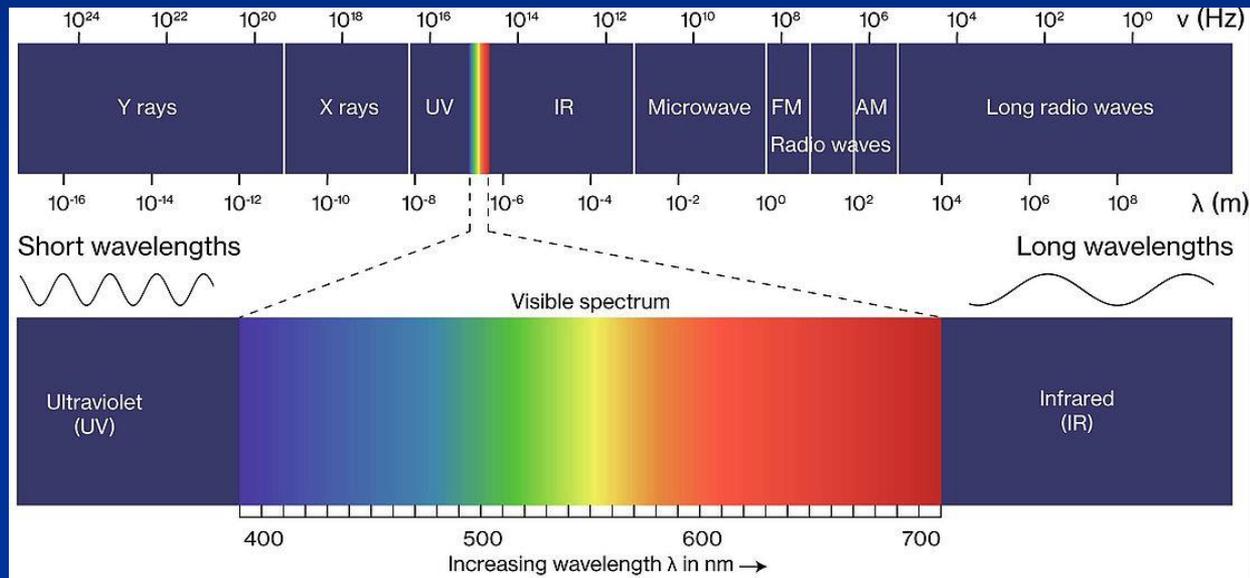


La longueur d'onde  $\lambda$ , la fréquence  $\nu$  et la vitesse de propagation  $c$  des ondes électromagnétiques sont liées par l'équation:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

# Spectre Solaire: Radiations

## Spectre électromagnétique



Gamma



X-ray



Visible



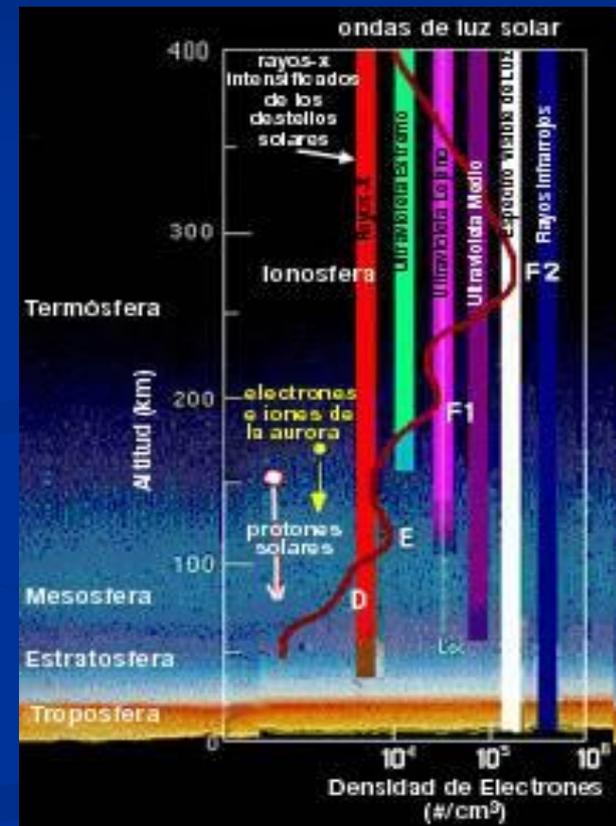
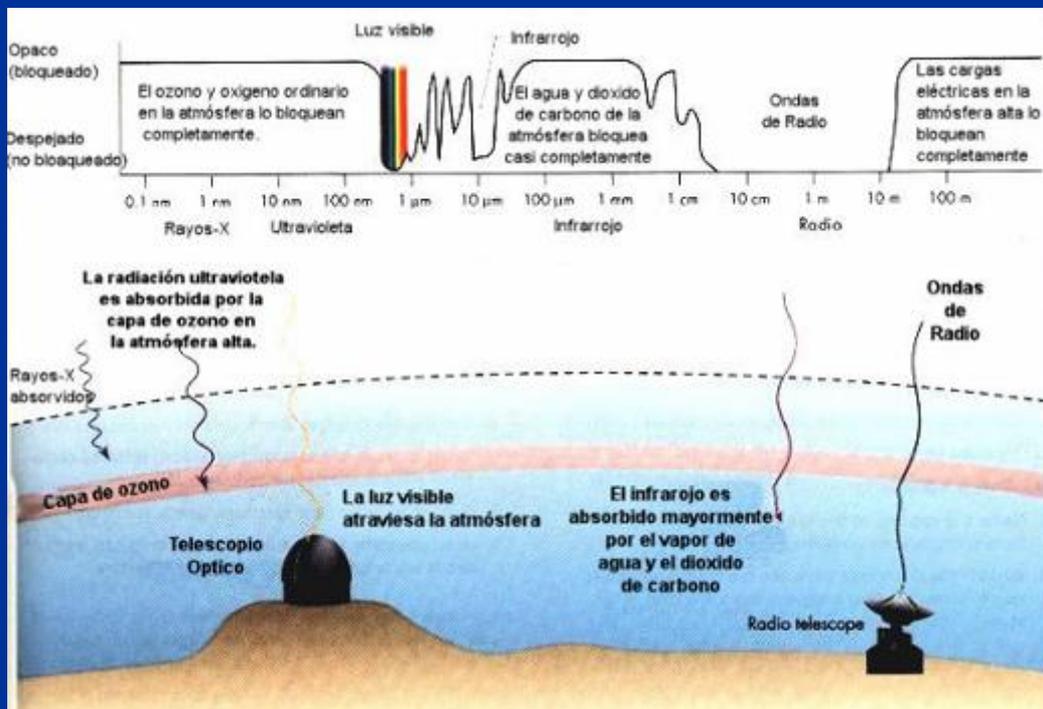
Infra rouge



Radio

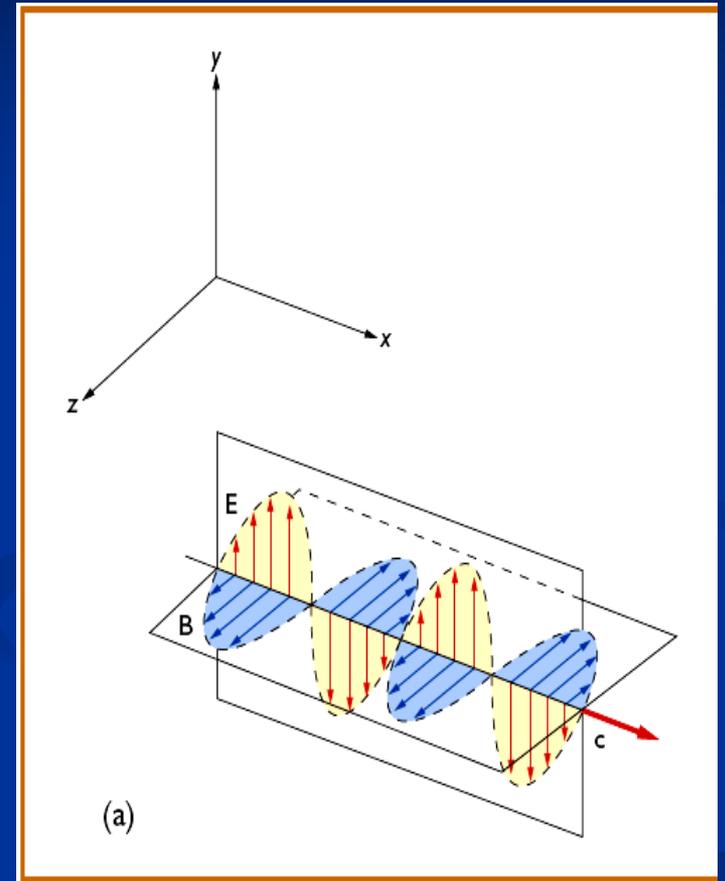
# Spectre Solaire: Radiations

L'atmosphère de la Terre est opaque à la plupart des longueurs d'ondes de rayonnement



# Radiations Solaires: Polarisation

- Le rayonnement électromagnétique parfait a un profil tel que vu sur la figure.
- Il y a une direction de vibration pour chacun des champs électriques et magnétiques.
- On dit qu'ils sont linéairement polarisés.
- La lumière du soleil n'a aucune direction privilégiée de vibration.

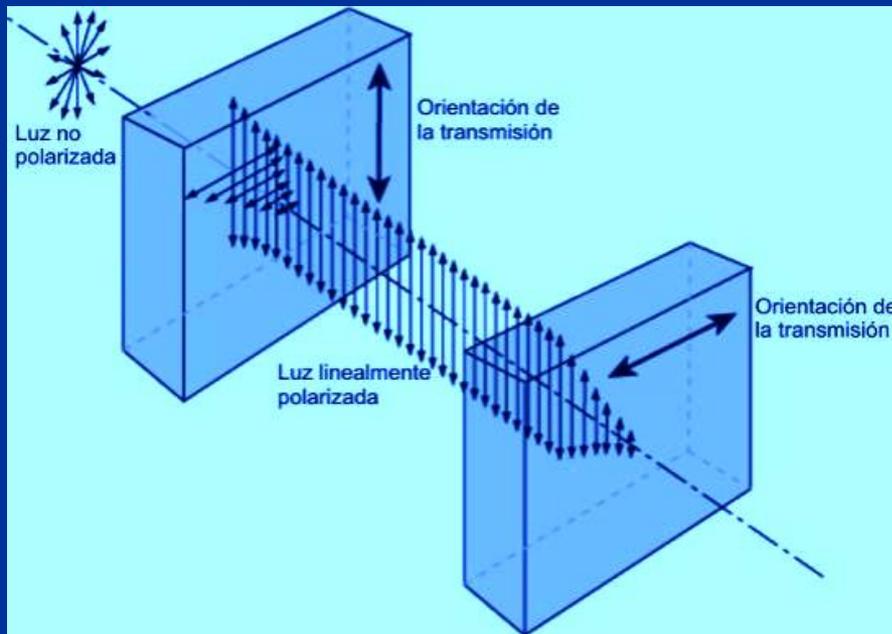


# Spectre solaire: Polarisation

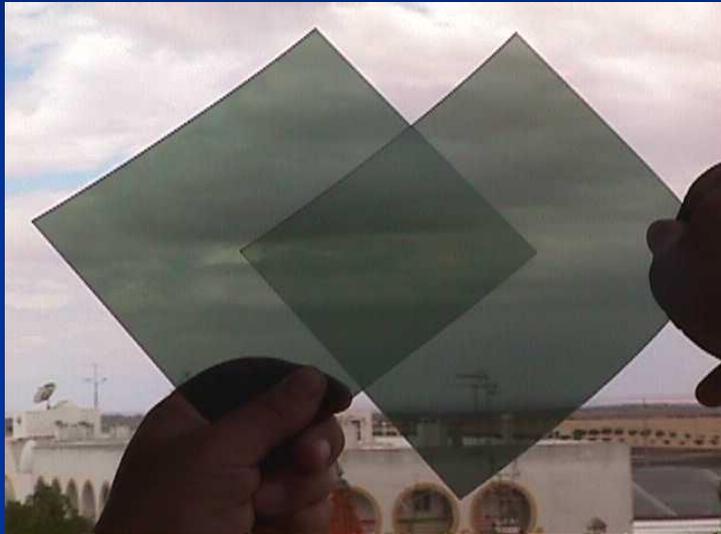
Le soleil peut être polarisé

- Par réflexion
- En faisant passer à travers un filtre polarisant

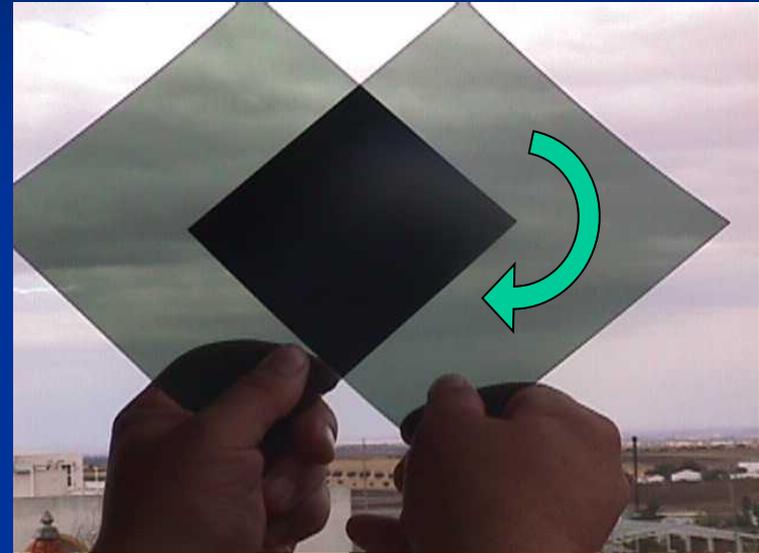
Lorsque les deux filtres polarisants ont des orientations de polarisation parallèles, la lumière passe à travers eux. S'ils sont perpendiculaires, la lumière qui passe à travers le premier filtre est bloquée par le second et la lumière ne parvient pas.



# Activité 1: Spectre solaire Polarisation



Si les filtres ont la même orientation, la lumière passe à travers.

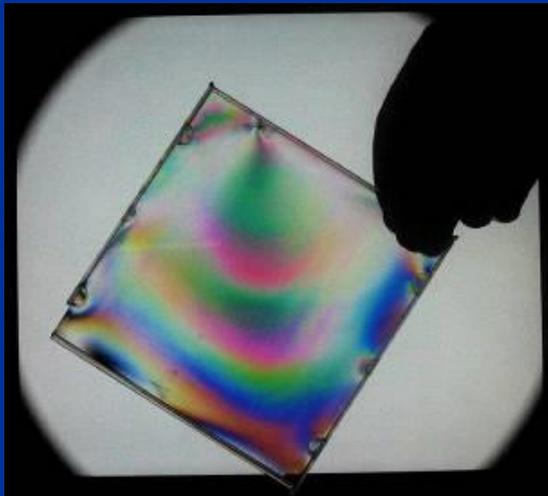


Si l'un des filtres est tourné à  $90^\circ$ , la lumière est bloquée.

# Activité 1: Spectre solaire Polarisation

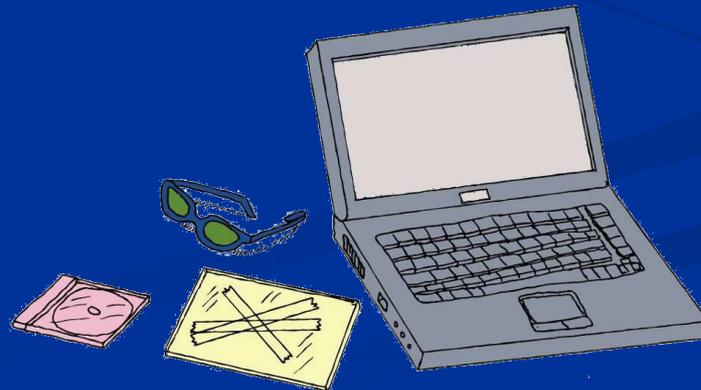


- ❖ La lumière peut également être polarisée par réflexion.
- ❖ Lunettes de soleil polarisées vous aide à éviter les reflets.
- ❖ La polarisation est utilisée dans la photographie et dans l'ingénierie pour voir les tensions internes dans les matériaux.

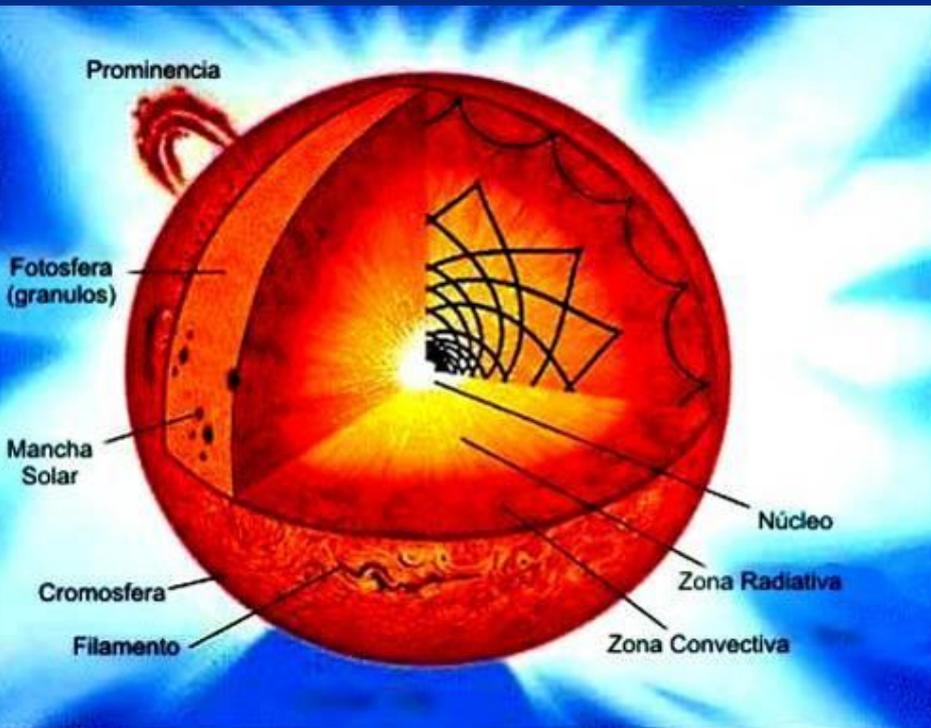


## Activité 2: la lumière polarisée

- L'écran de l'ordinateur portable émet une lumière polarisée.
- Observez le plan de polarisation avec des lunettes de soleil polarisées.
- Certains objets tournent le plan de polarisation: le ruban adhésif sur le cristal
- Observer les contraintes internes dans un morceau de plastique transparent (par exemple, une boîte de CD)

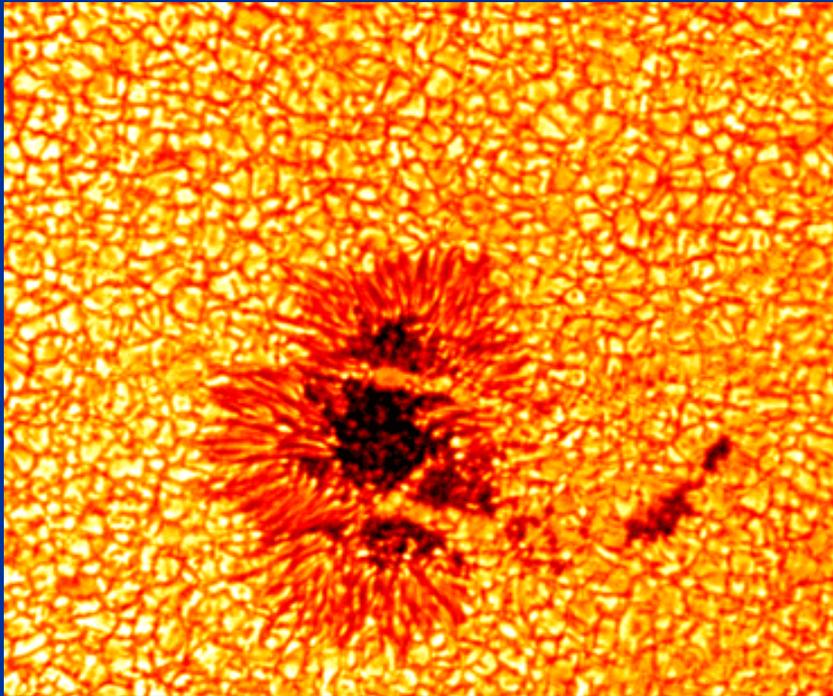


# Structure du Soleil



- **Coeur :**  
15 millions de degrés Kelvin
- **Zone radiative**  
8 millions de degrés Kelvin
- **Zone convective**  
500.000 degrés Kelvin
- **Il y a une convection**  
(mouvement de la matière) dans le soleil.

# Structure du Soleil



• photosphère:

6.400 - 4.200 K,  
est la surface du Soleil

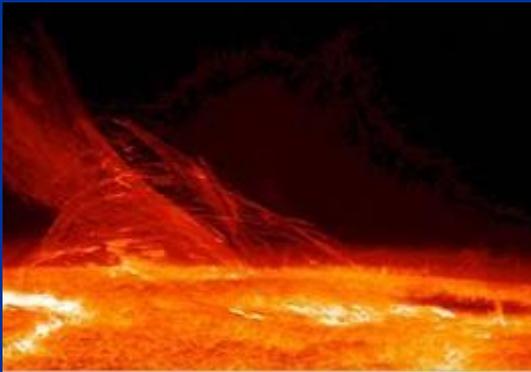
Elle contient des granules  
de 1000 km

# Structure du Soleil



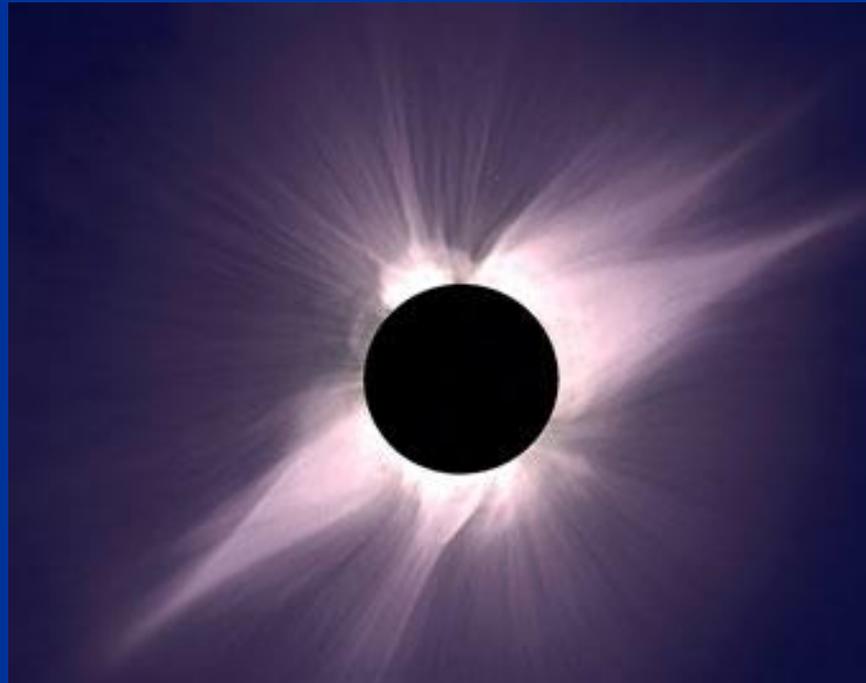
Chromosphère: "prairie brûlante"  
de  $4.200-1 \cdot 10^4$  K.

Il y a des protubérances et des  
étincelles éclairantes

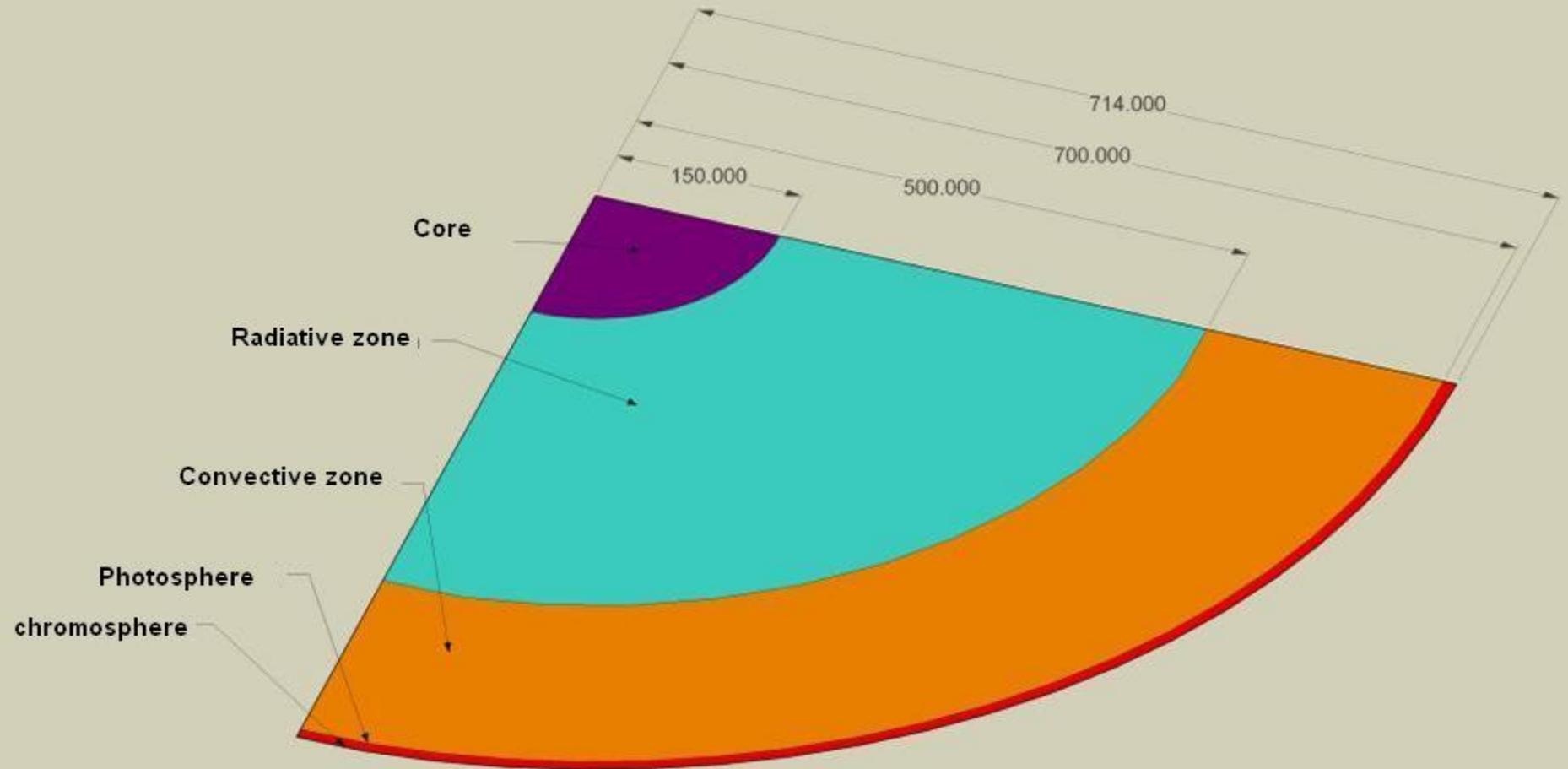


# Structure du Soleil

- Couronne: vent solaire,  $1-2 \cdot 10^6$  K.
- Seulement observée pendant les éclipses ou avec un instrument spécial (le coronographe).

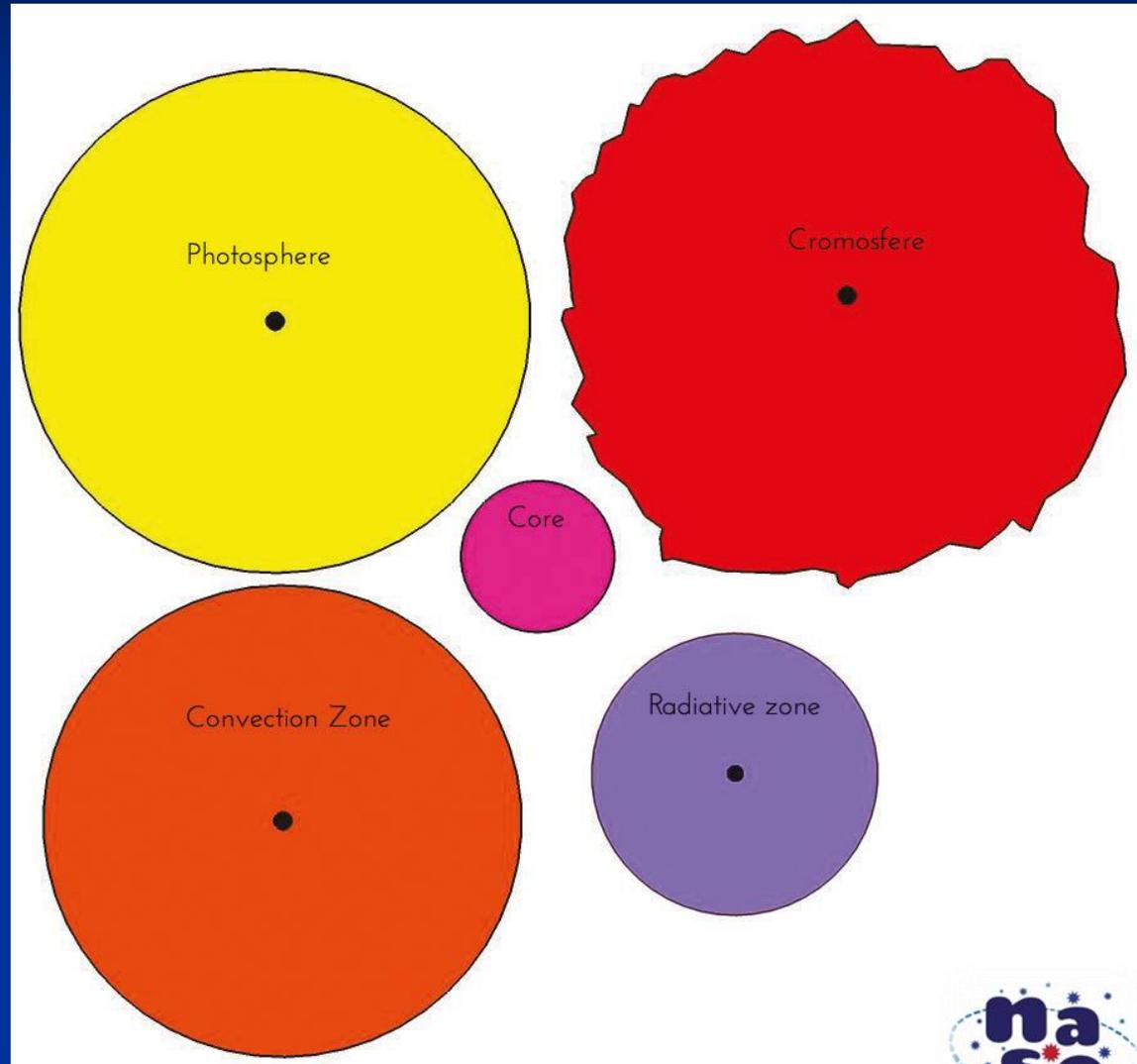


# Structure du Soleil



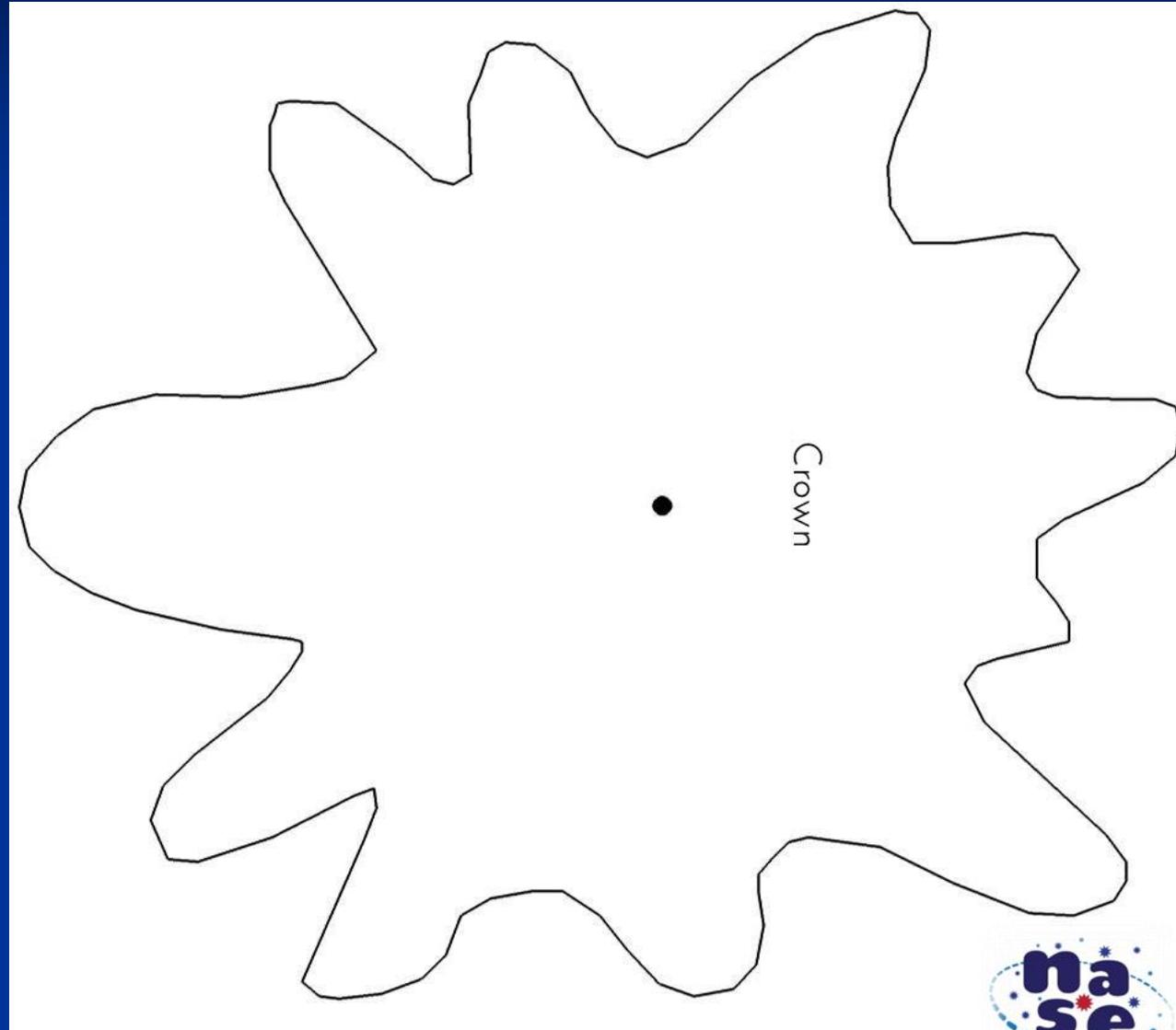
# Activité 3: Structure solaire

Modèle simple de couches de soleil. L'objectif est de découper les différents chiffres. Ils peuvent être découpés dans des morceaux de papier de couleurs différentes ou être peints.



# Activité 3: Structure solaire

Enfin, vous pouvez en coller un au-dessus les uns des autres, dans le bon ordre.



# Activité 3: Structure solaire

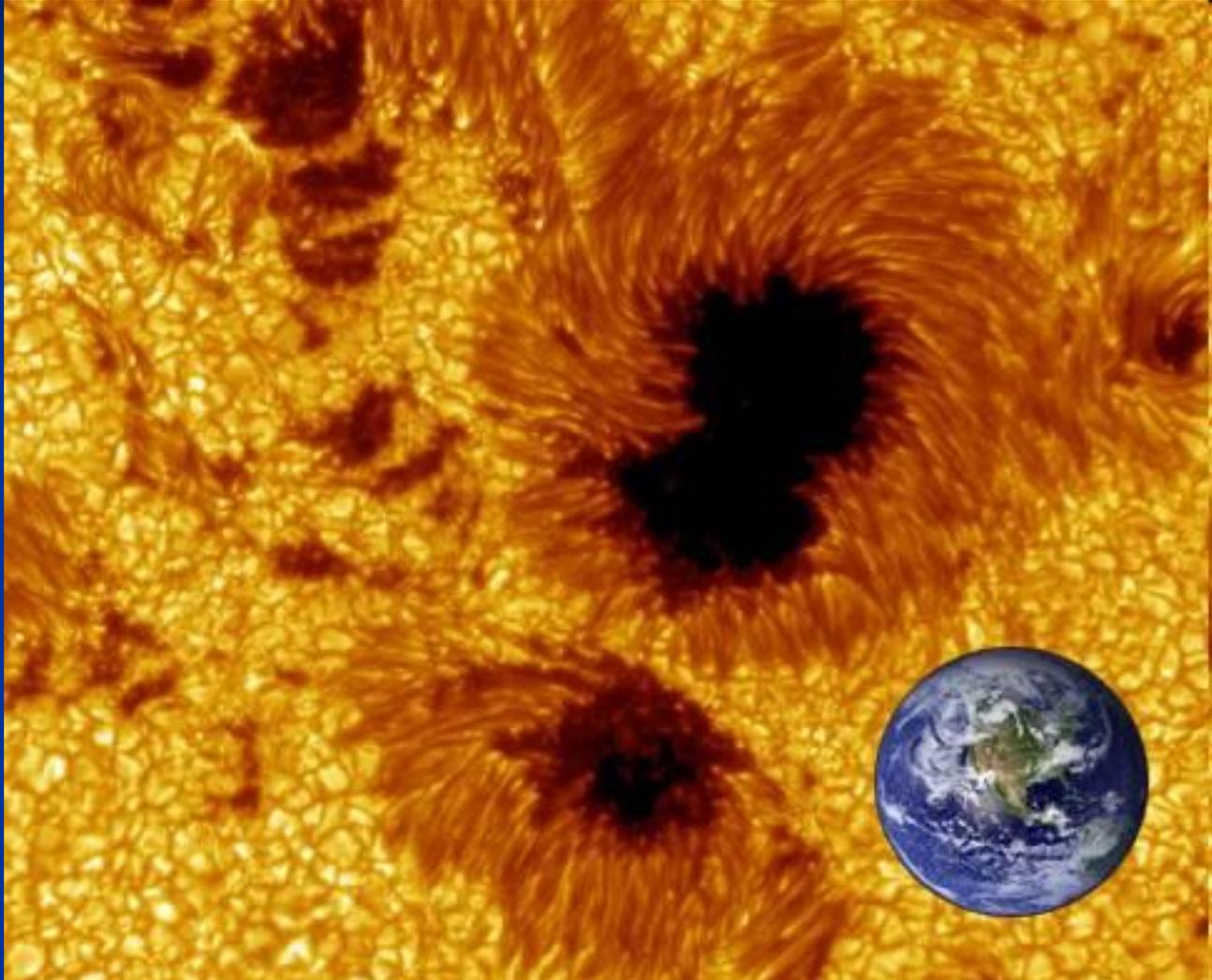


# Taches Solaires

- Taches sombres sur la photosphère qui sont  $\sim 4.200$  K au lieu de  $6.000$  K.
- Chaque tache solaire a deux régions: Ombre (centrale) et Pénombre.

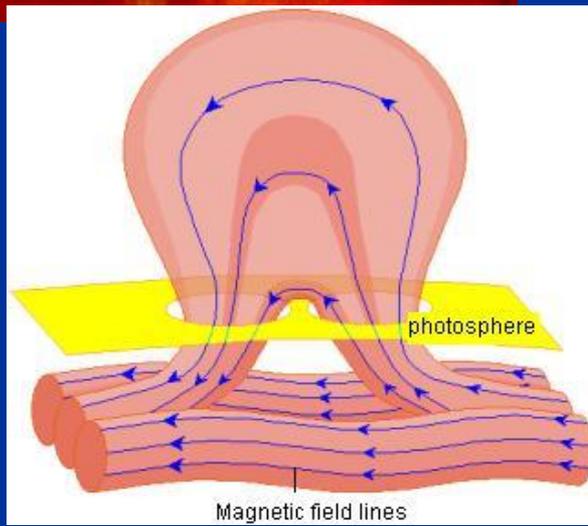
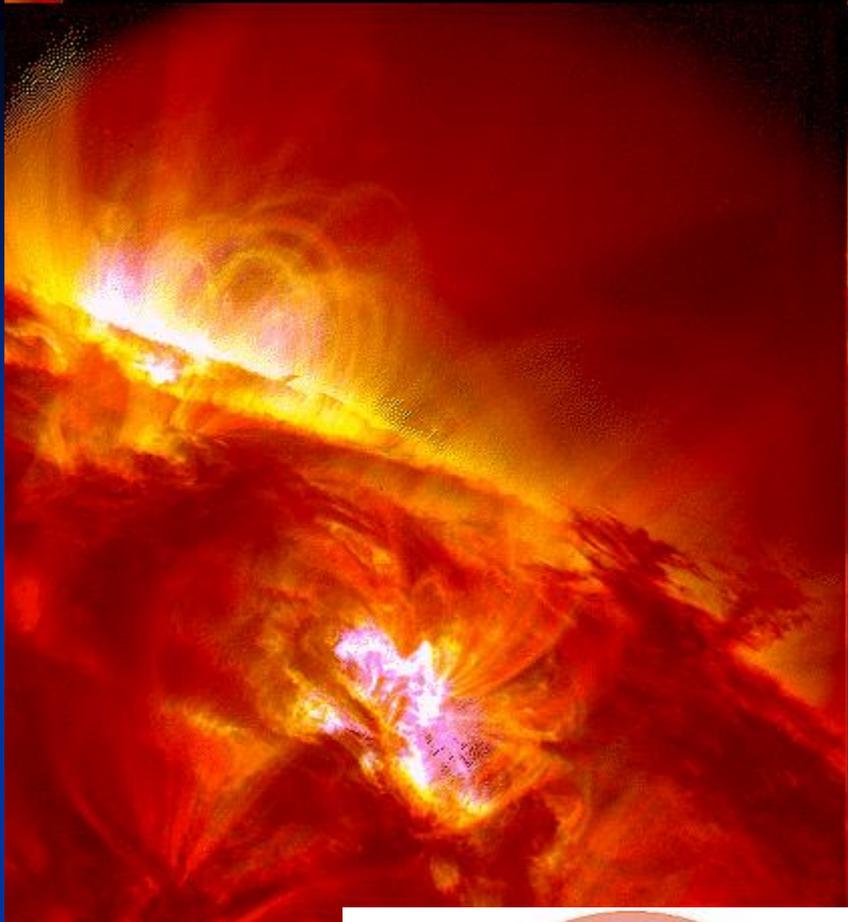


# Taches Solaires

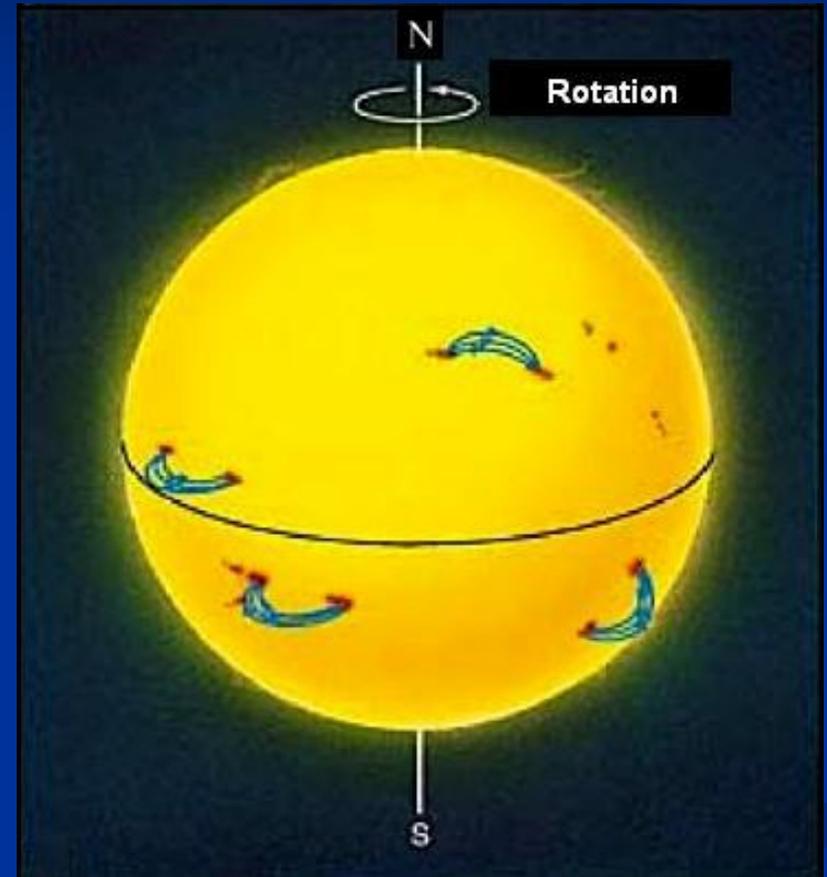
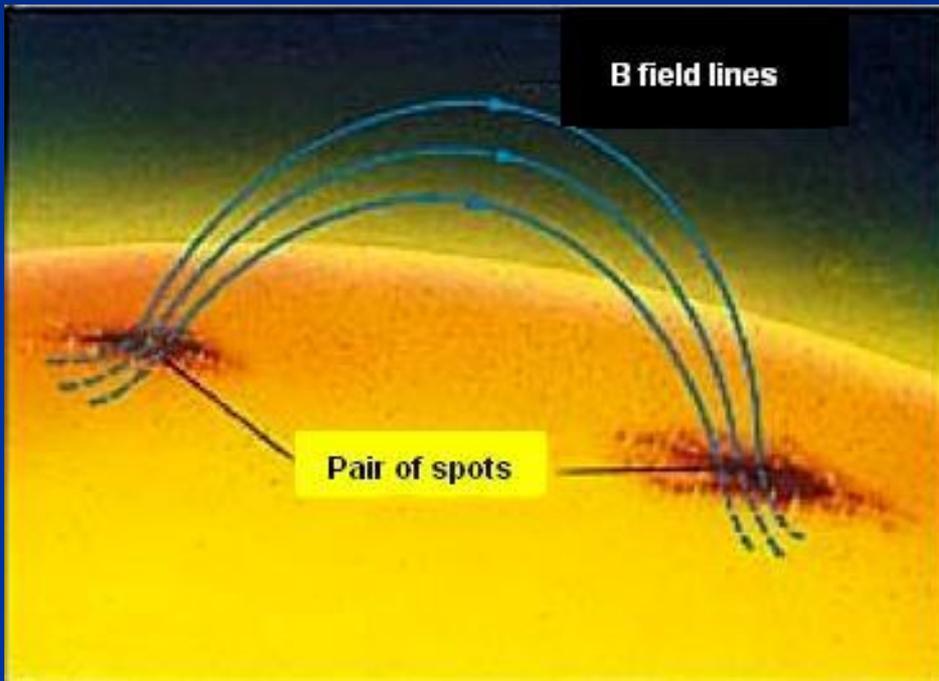


# Taches Solaires

- Il y a de forts champs magnétiques.
- Ils sont causés par l'affleurement des lignes magnétiques dans la boucle montant de l'intérieur.

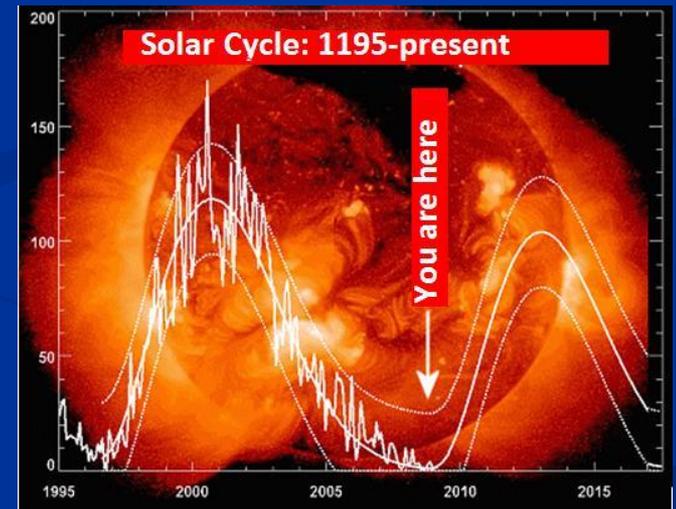
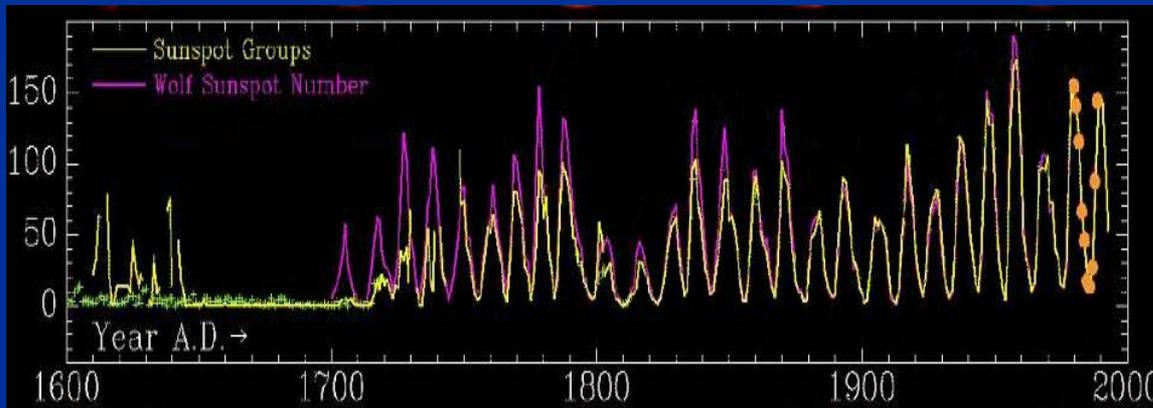


# Taches Solaires



# Taches Solaires

- Le nombre de taches solaires indique «l'activité solaire»
- Nombre de Wolf =  $10 \cdot G + F$   
(G = groupes; F = nombre total de taches solaires)
- Le cycle des taches solaires est de 11 ans

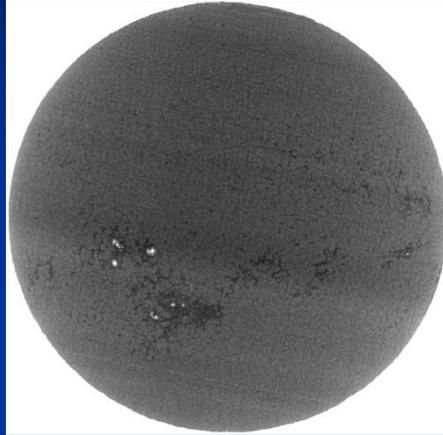


En 2008, il y a eu un minimum d'activité de Soleil qui a duré plus longtemps que d'habitude.

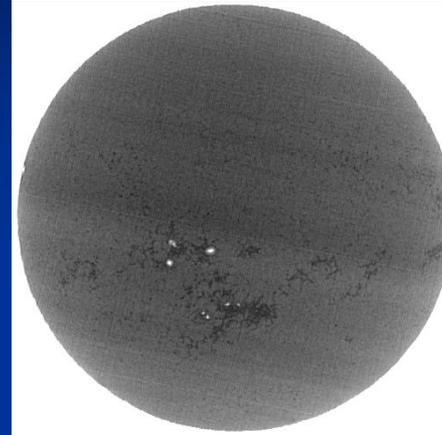


# Taches Solaires: Rotation Solaire

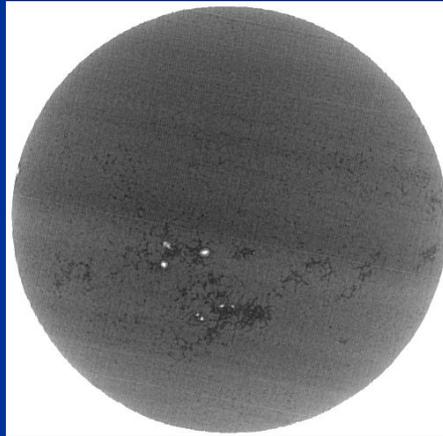
November 21 1992



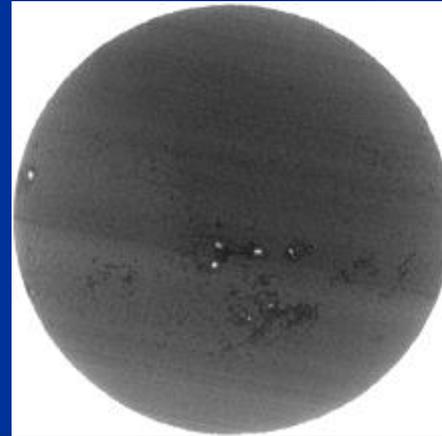
November 22 1992



November 23 1992



November 24 1992



Credit for images: Astronomical Observatory of the University of Coimbra



# Taches Solaires: Rotation Solaire



- Elles peuvent être utilisées pour mesurer la rotation solaire.
- Galilée a été l'un des premiers à avoir vu des taches solaires à l'aide d'un télescope; Il les a utilisé pour mesurer la période de rotation solaire.
- Rotation différentielle: 25 jours à l'équateur / 34 jours aux pôles.



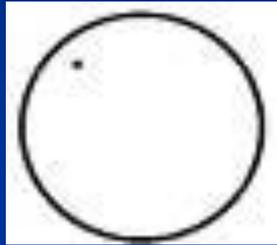
# Activité 4: Détermination de la Période de rotation du Soleil

- Les observations du Soleil doivent toujours être faites par projection avec un télescope ou des jumelles, mais jamais directement.

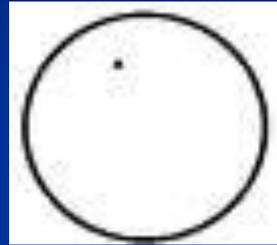


# Activité 4: Détermination de la Période de rotation du Soleil

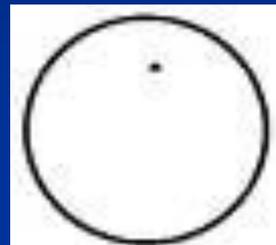
- Les taches solaires sont dessinées pendant plusieurs jours



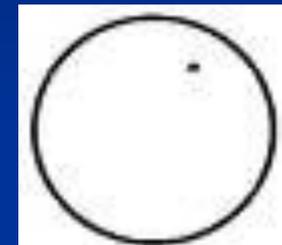
Day 1



Day 4

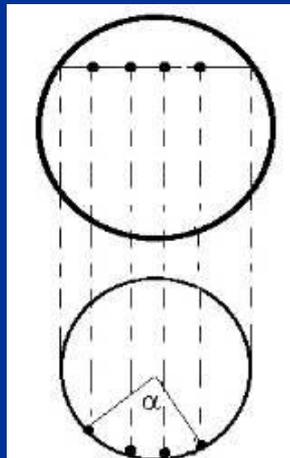


Day 6



Day 8

- Tracer la route, la circonférence et l'angle  $\alpha$ . Puis la période  $P$  qui pourrait être mesurée en jours

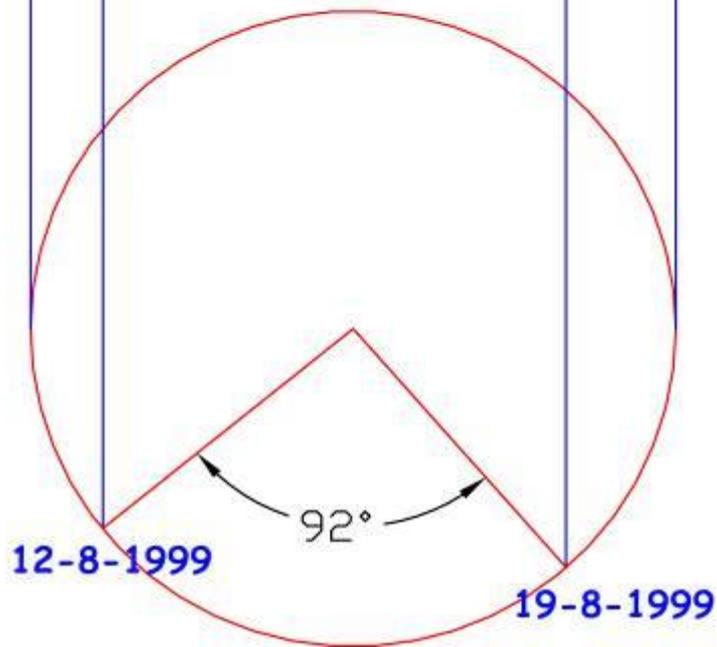


$$\frac{360^\circ}{\alpha^\circ} = \frac{T}{t}$$



## Activité 4: Détermination de la Période de rotation du Soleil

$$T = \frac{360^\circ \times 7 \text{ days}}{92^\circ} = 27,3 \text{ days}$$



# Radiation solaire

- Le Soleil est un grand réacteur nucléaire produisant des photons, chacun a une fréquence (couleur) et une énergie  $E = h \cdot \nu$
- La luminosité (puissance en watts) du Soleil est énorme: à chaque seconde, elle émet l'équivalent de trillions de bombes atomiques.
- Cette énergie est transmise à travers l'espace comme une bulle qui grandit en fonction du temps
- La surface de la bulle est de  $4 \cdot \pi \cdot R^2$ .
- A une distance  $R$  du Soleil, l'énergie qui arrive en chaque seconde à  $1 \text{ m}^2$  est:

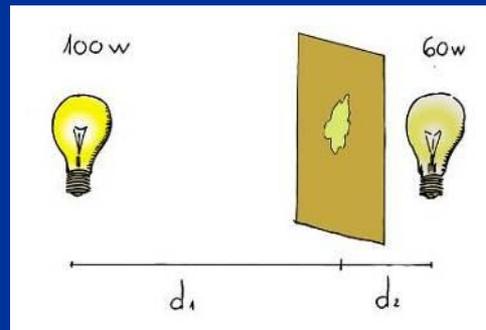
$$\frac{P}{4\pi R^2}$$



# Activité 5: Mesurer la luminosité du Soleil

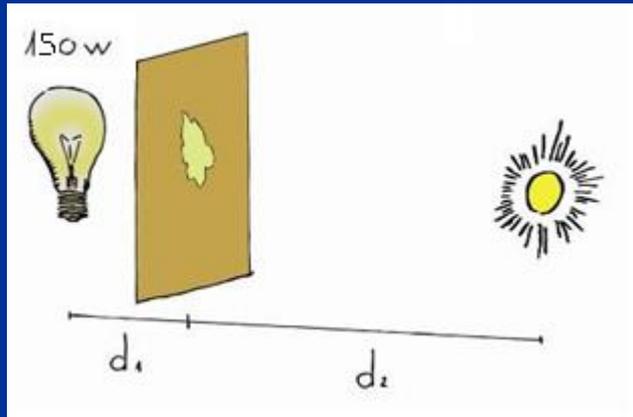
- L'énergie transmise est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance. Si nous connaissons la distance par rapport au Soleil, nous pouvons calculer sa puissance.
- Nous fabriquons un photomètre à huile. Lorsque la lumière sortant des deux côtés du papier est la même, le spot n'est plus vu; c'est-à-dire que la même énergie est arrivée des deux côtés, et ensuite:

$$\frac{P_1}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{P_2}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$



# Activité 5: Mesurer la luminosité du Soleil

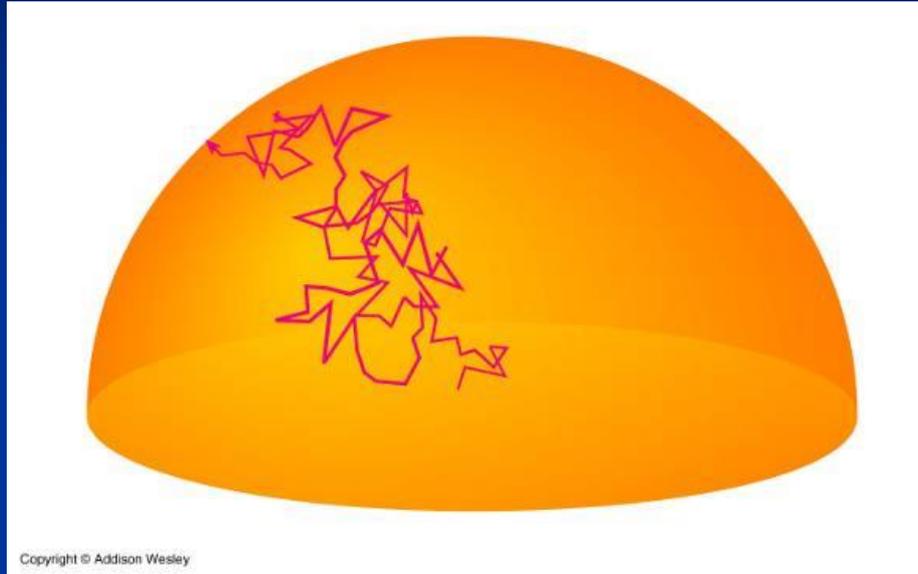
Nous comparons une lampe de 150 W au Soleil, qui est à 150 millions de km ( $1,5 \cdot 10^{11}$  m), et nous mesurons P.



$$\frac{150W}{d_1^2} = \frac{P}{d_2^2}$$

- Le résultat devrait être d'environ  $3,8 \cdot 10^{26}$  W

# Spectre solaire: Opacité



Les photons sont produits dans les parties les plus intérieures du Soleil et interagissent avec le matériau très dense dans cette zone. Un photon produit dans le noyau du Soleil prend jusqu'à 1 million d'années pour atteindre la photosphère.

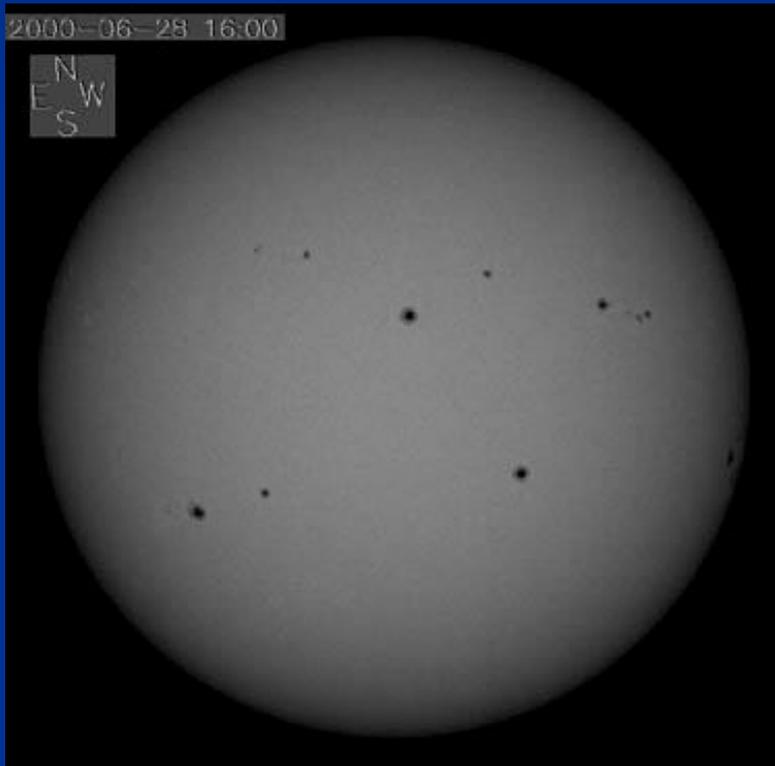


# Spectre solaire: Opacité

Les parties internes du Soleil sont opaques (de nombreuses interactions, comme dans un solide)

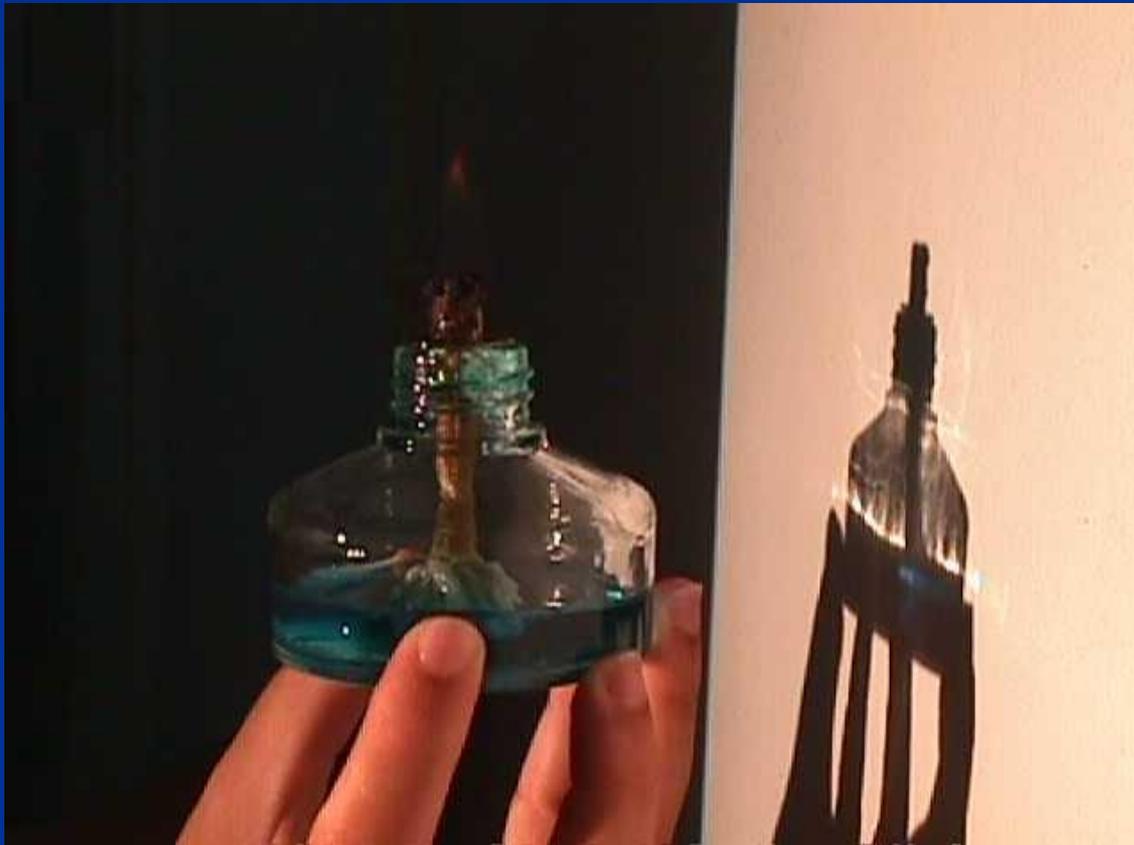
Les parties extérieures sont transparentes.

Preuve: obscurité, la couche externe du Soleil est moins lumineuse parce qu'elle est plus transparente



# Activité 6: Transparence et opacité

Transparent n'est pas le même qu'invisible



# Le spectre



Fuente: Deutsche Bundespost 1993



En 1701, Newton utilisa un prisme et décomposa la lumière du soleil en couleurs.

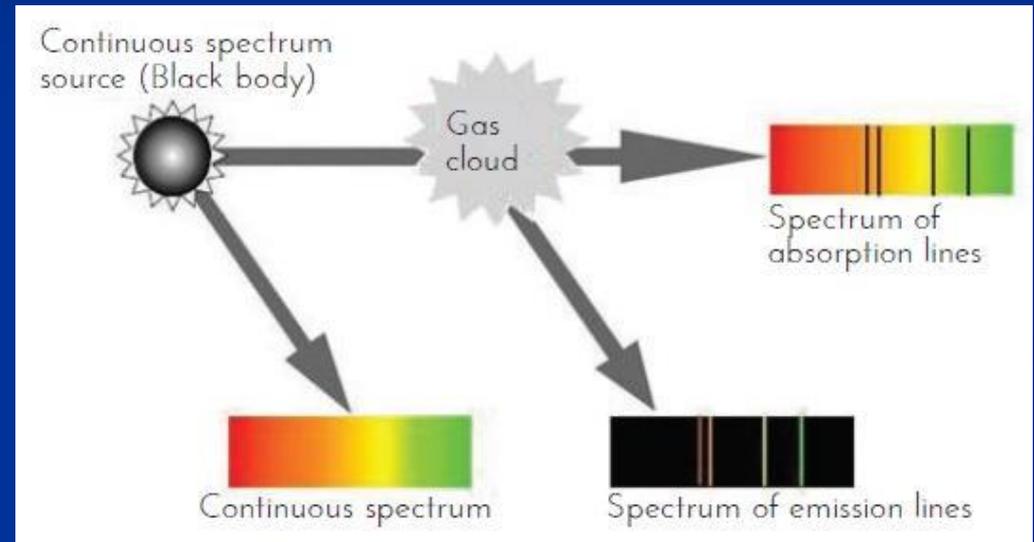
Toute lumière peut être décomposée avec un prisme ou un réseau de diffraction. Ce que vous obtenez est le spectre.



# Lois de Kirchhoff et de Bunsen

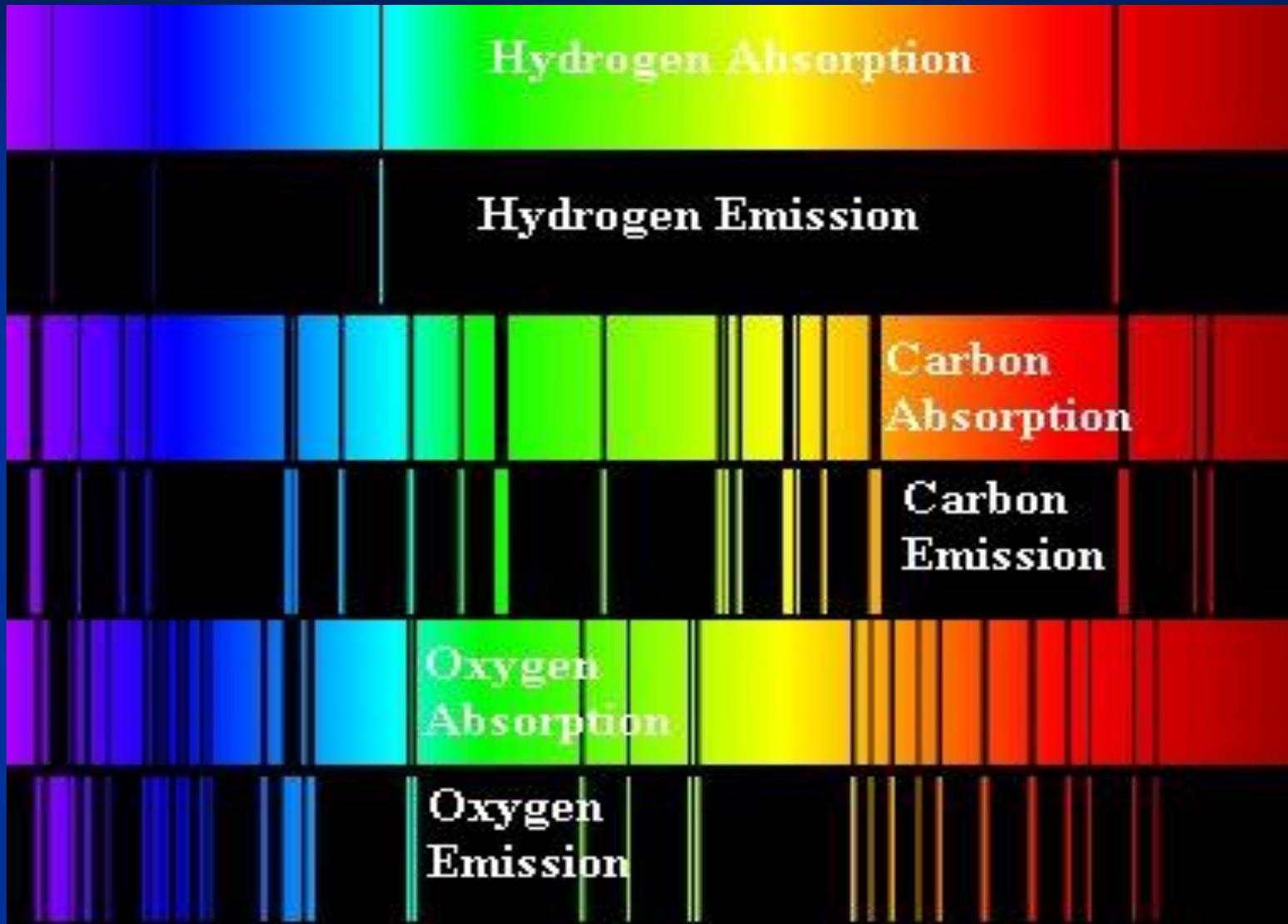
1<sup>ère</sup> loi: Un objet solide incandescent produit de la lumière et donne un spectre continu.

2<sup>ème</sup> loi - Un gaz rare chaud ne produit de la lumière qu'à certaines longueurs d'ondes, qui dépendent de la composition chimique de ce gaz

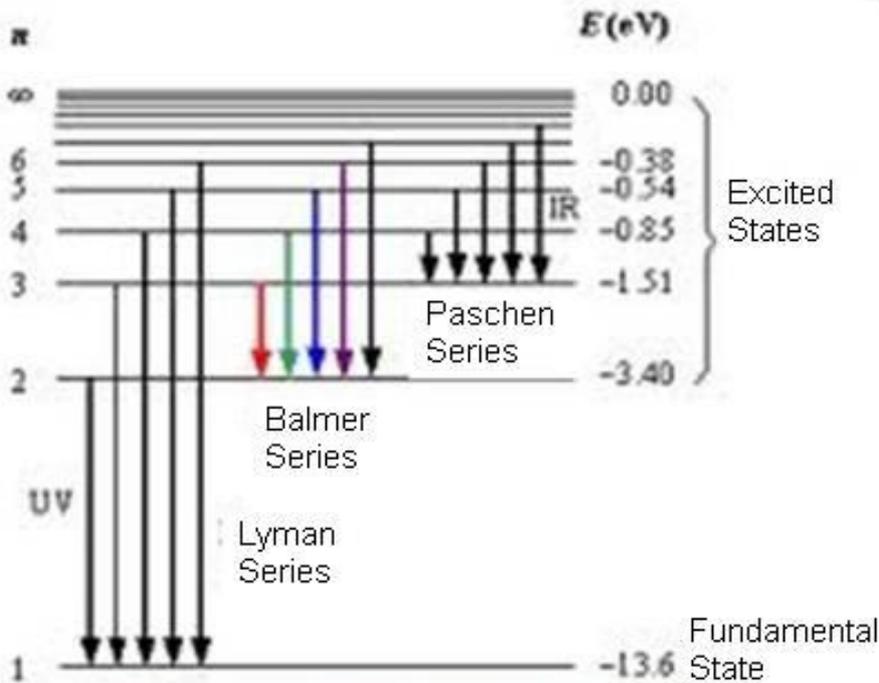


3<sup>ème</sup> loi - Un objet solide incandescent entouré d'un gaz à basse pression produit un spectre continu avec des vides dans des longueurs d'ondes dont les positions correspondent à celles de la 2<sup>ème</sup> loi

# Spectre



# Spectre



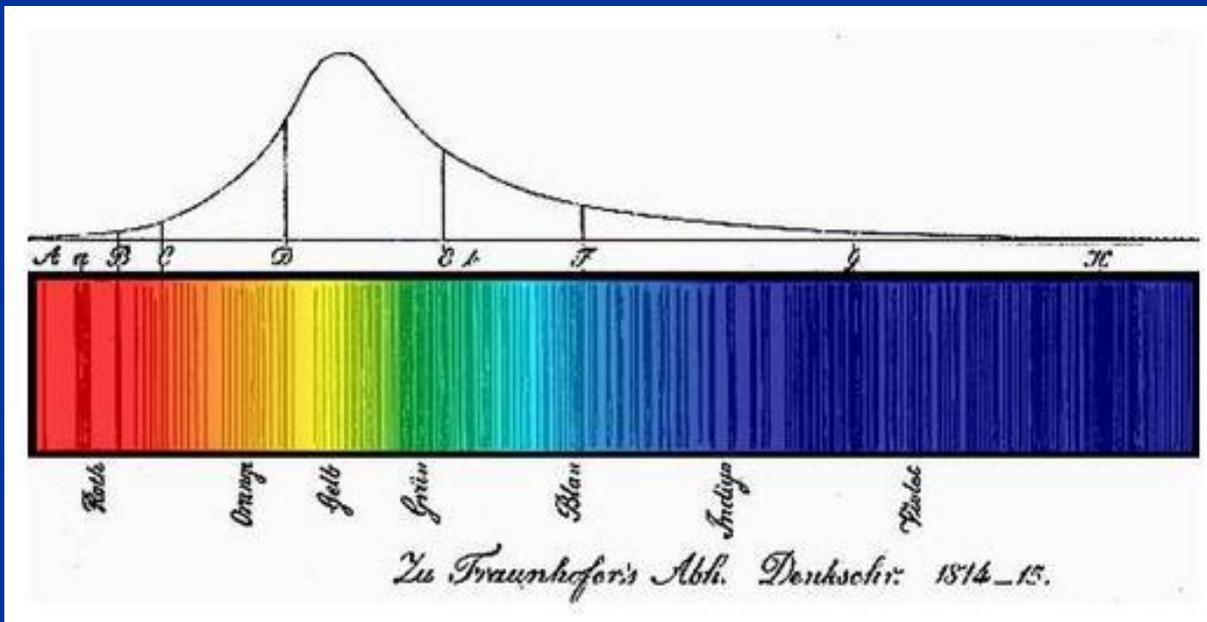
Energy levels of the hydrogen atom, with some of the transitions which produce the spectral lines indicated

Émission et absorption dues à des sauts d'électrons entre deux niveaux d'énergies quantifiées.

# Spectre solaire: SPECTRE D'ABSORPTION

En 1802, William Wollaston a observé des raies noires sur le spectre solaire.

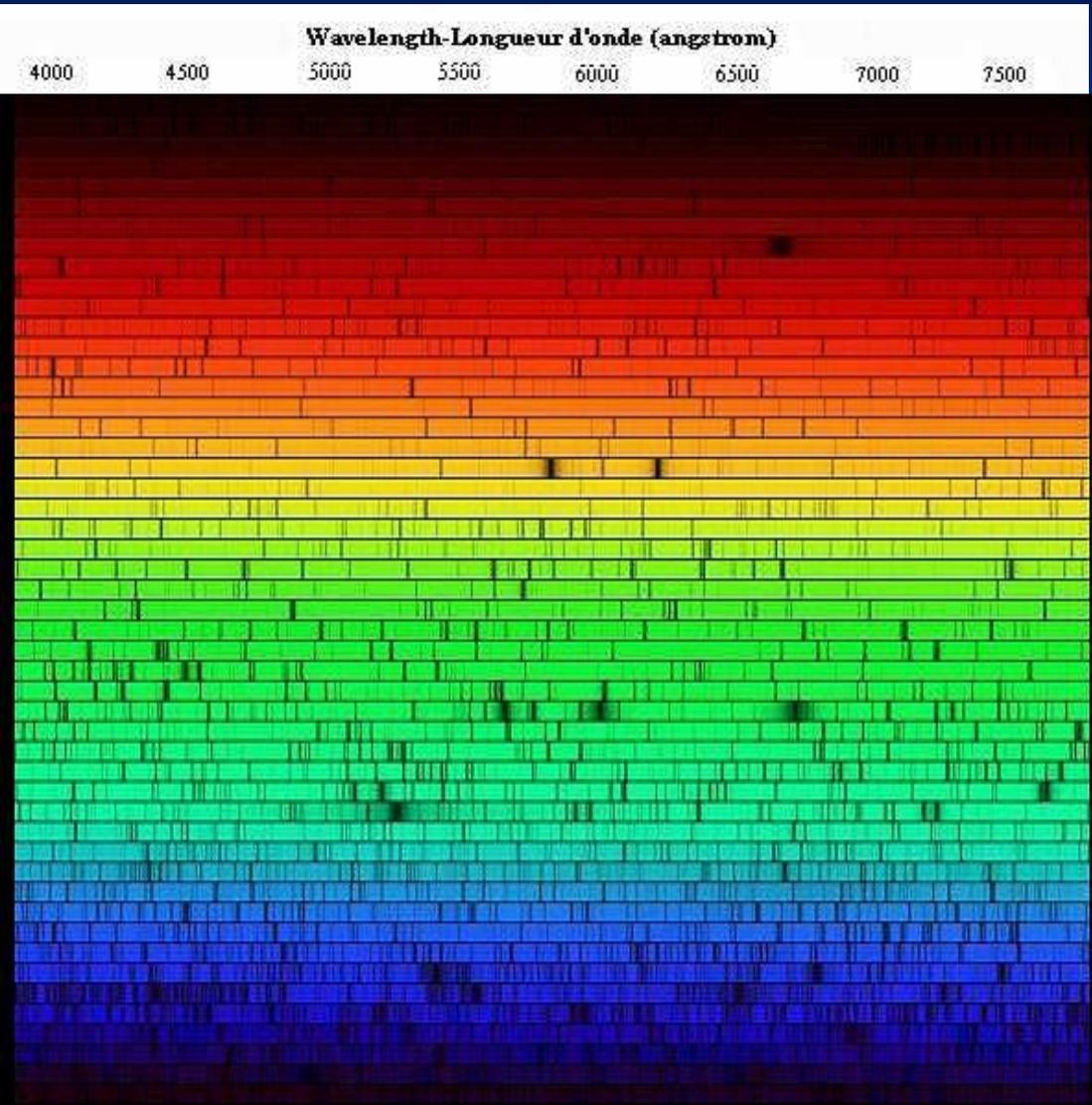
En 1814, Joseph Fraunhofer étudie systématiquement les spectres du Soleil et détecte environ 700 raies sombres.



Joseph Fraunhofer  
1787-1826



# Spectre solaire: SPECTRE D'ABSORPTION



- Les raies sombres apparaissent en raison de la présence de gaz dans l'atmosphère solaire.
- Nous pouvons connaître les constituants du Soleil sans entrer à l'intérieur
- Aujourd'hui, les spectres à haute définition montrent beaucoup plus de raies.



# Rayonnement du corps noir



Quand un fer se réchauffe, il émet de la lumière:

- Rouge
- Jaune
- Blanc
- Bleuâtre

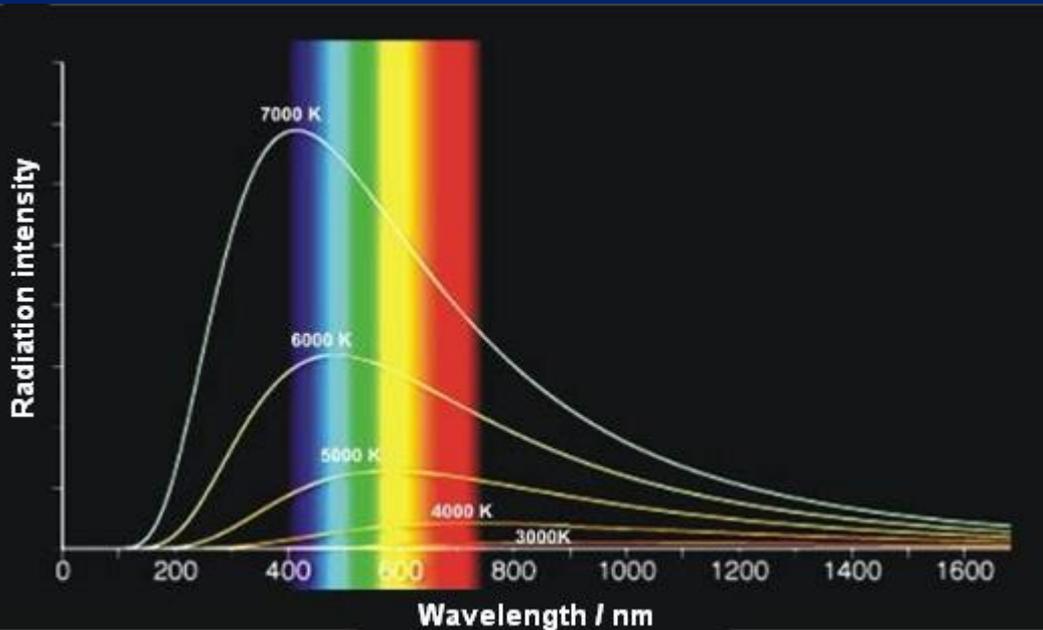
# Rayonnement du corps noir

Tout "corps noir" lorsqu'il est chauffé émet de la lumière à de nombreuses longueurs d'onde.

Il y a  $\lambda_{\text{max}}$  correspond une énergie maximale. Ce  $\lambda_{\text{max}}$  dépend de la température T:

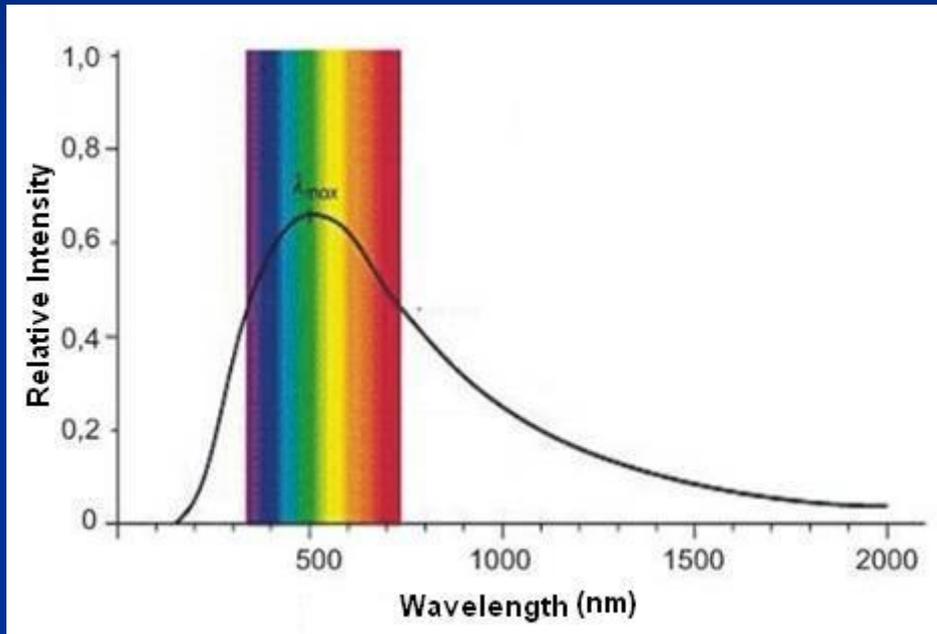
$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T} \quad (\text{m})$$

loi de Wien



En étudiant le rayonnement d'un objet éloigné, nous pouvons mesurer sa température sans avoir besoin d'y aller.

# Rayonnement du corps noir



Le Soleil a un  $\lambda_{max}$  de 500 nm.

Cela signifie que sa température de surface est de 5800 K.

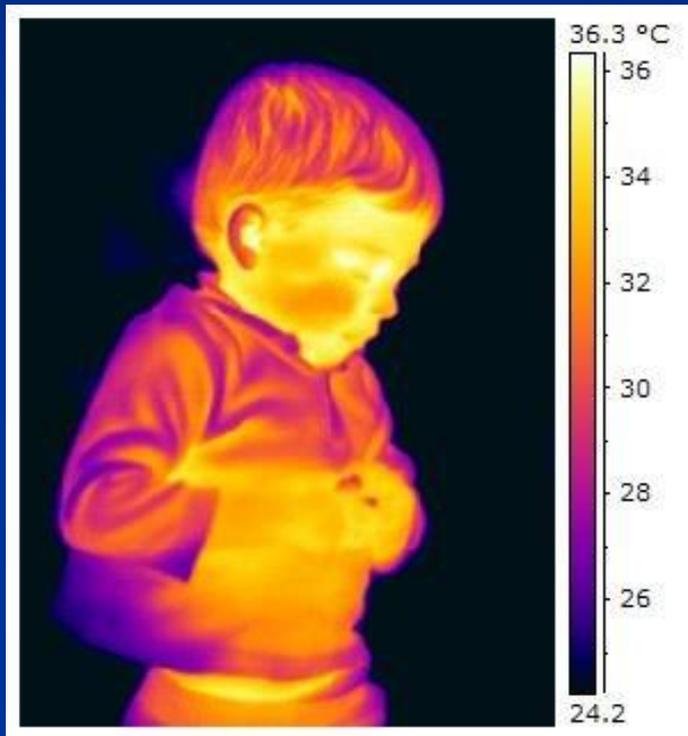
# Rayonnement du corps noir

Le corps humain a une température de

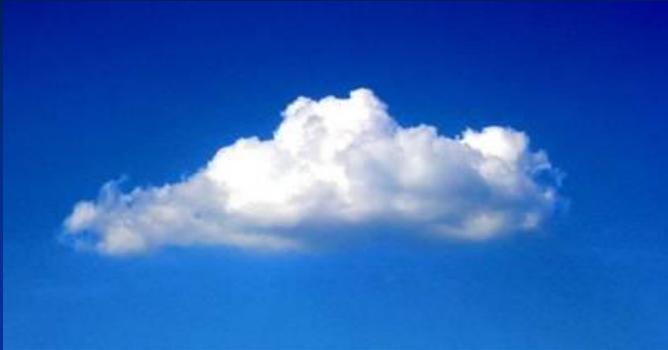
$$T = 273 + 37 = 310 \text{ K.}$$

Un corps émet la plus grande énergie à  $\lambda_{\text{max}} = 9300 \text{ nm}$ .

Les dispositifs de vision nocturne utilisent ces  $\lambda$ .



# Diffusion de la lumière



- Si la lumière blanche traverse un gaz avec de grosses particules, toutes les couleurs seront également dispersées (nuage blanc).
- Ces particules qui ont une taille semblable à  $\lambda$  de photons seront dispersées, et les autres non (diffusion de Rayleigh).
- Dans notre atmosphère, les photons bleus sont plus dispersés que le rouge, et ils viennent de toutes les directions:

Par conséquent, nous voyons le ciel bleu.

Au coucher du soleil, la lumière passe à travers plus d'atmosphère, alors elle vire vers le jaune-rougeâtre.



# Activité 7: Dispersion de la lumière

- Versez dans un verre haut quelques gouttes de lait. Illuminez avec une lampe de poche ou le smartphone le fond du verre. Lorsque la lumière traverse l'eau laiteuse:



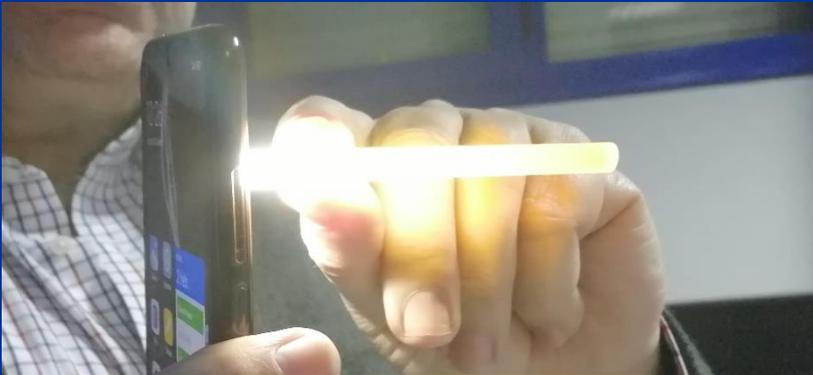
- Regardez le verre latéralement, la lumière apparaît bleuâtre.

- Mais si l'on regarde du haut du verre, la lumière apparaît rouge.



# Activité 7: Dispersion de la lumière

- Bâton de colle thermofusible
- La lampe de poche ou un smartphone
  - Regardez le bâton de colle latéralement. La lumière apparaît de couleur bleuâtre.
  - Si vous regardez du côté le plus éloigné la lumière apparaît jaunâtre ou rougeâtre.



**Merci pour votre  
attention!**

