

**ASTRO CLUB
ORION**
SANARY SUR MER

Club d'astronomie ORION
Sanary sur mer

Cahier des charges

pour qu'une planète abrite la vie

par Robert Sénémeaud
rsenemeaud@gmail.com

Quid de la vie ailleurs

**Conditions nécessaires et peut être suffisantes
pour rendre une planète habitable**

Le rôle de l'eau

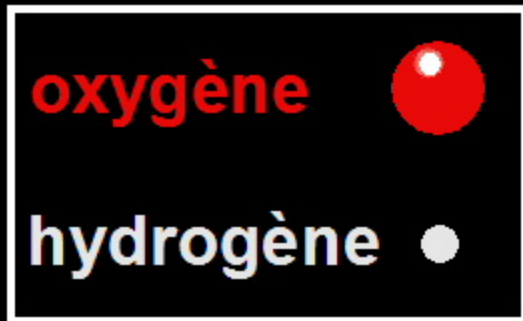
La bonne chimie ?

La bonne planète

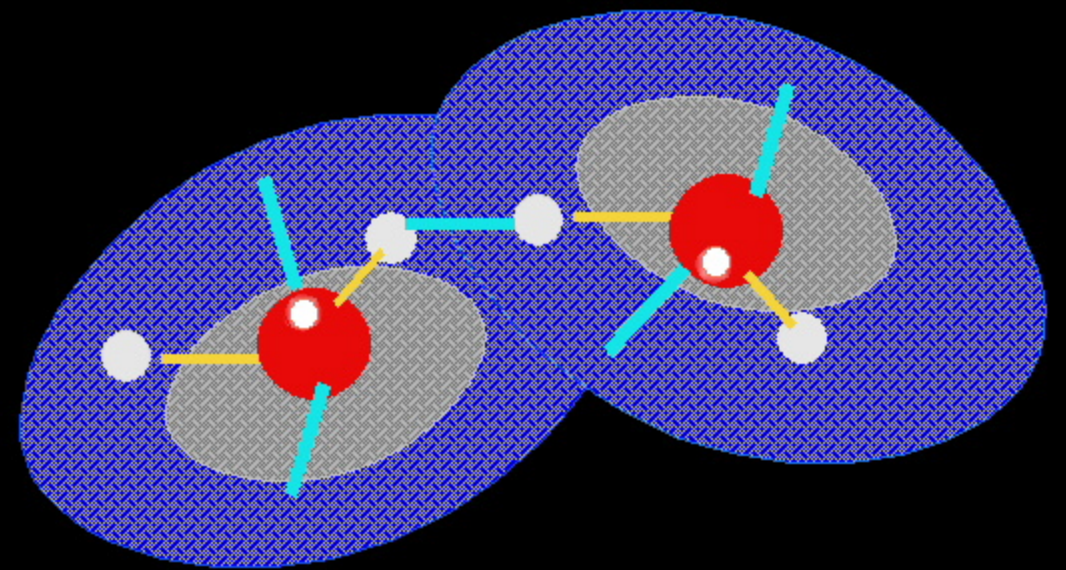
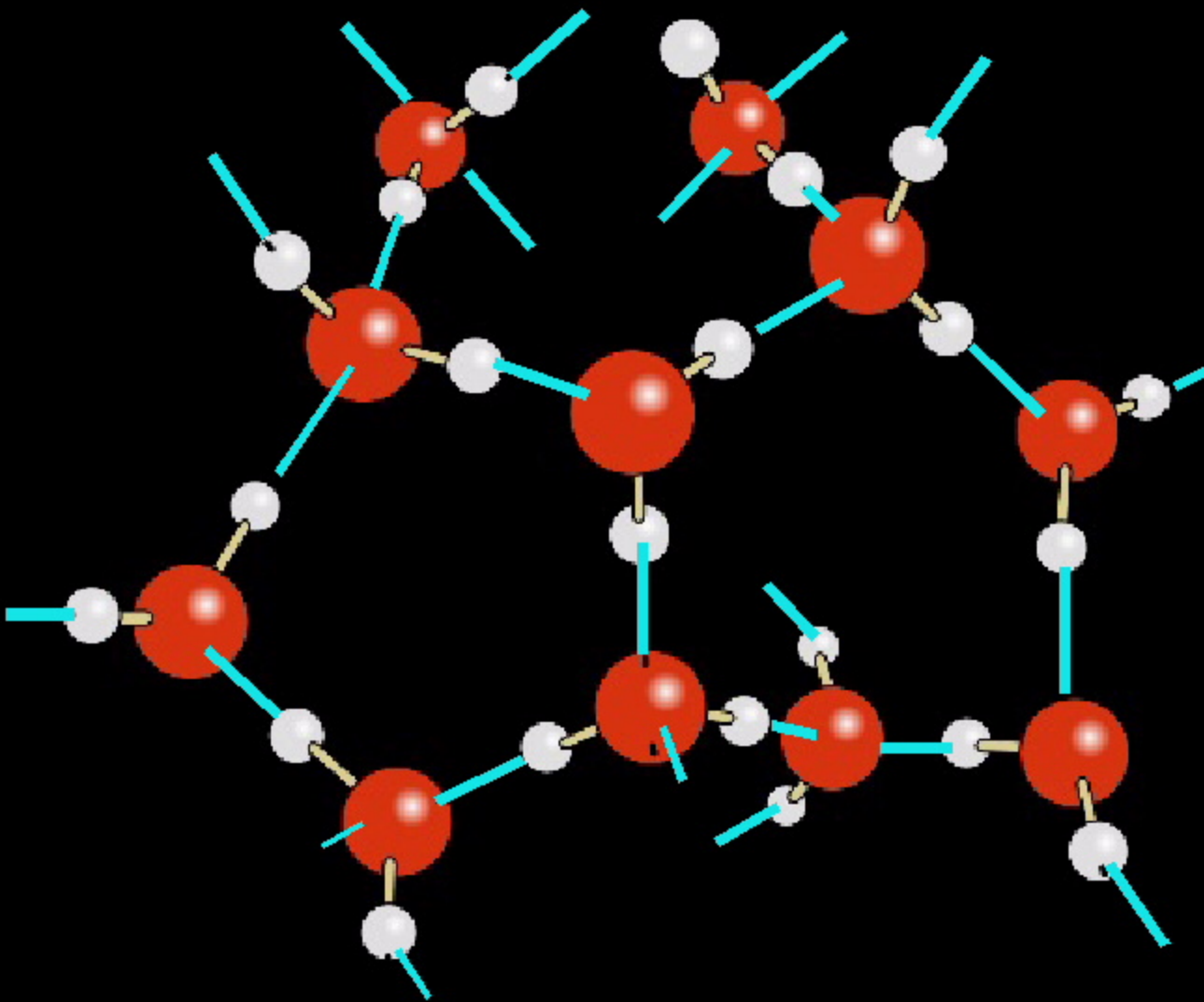
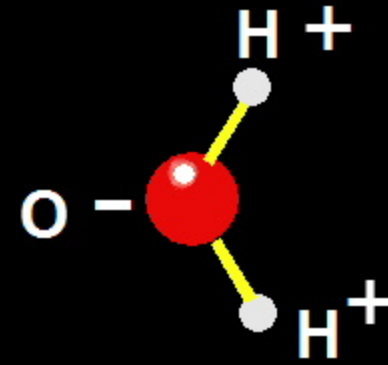
La bonne étoile

Scénario alternatif ?

La molécule d'eau et les liaisons hydrogènes



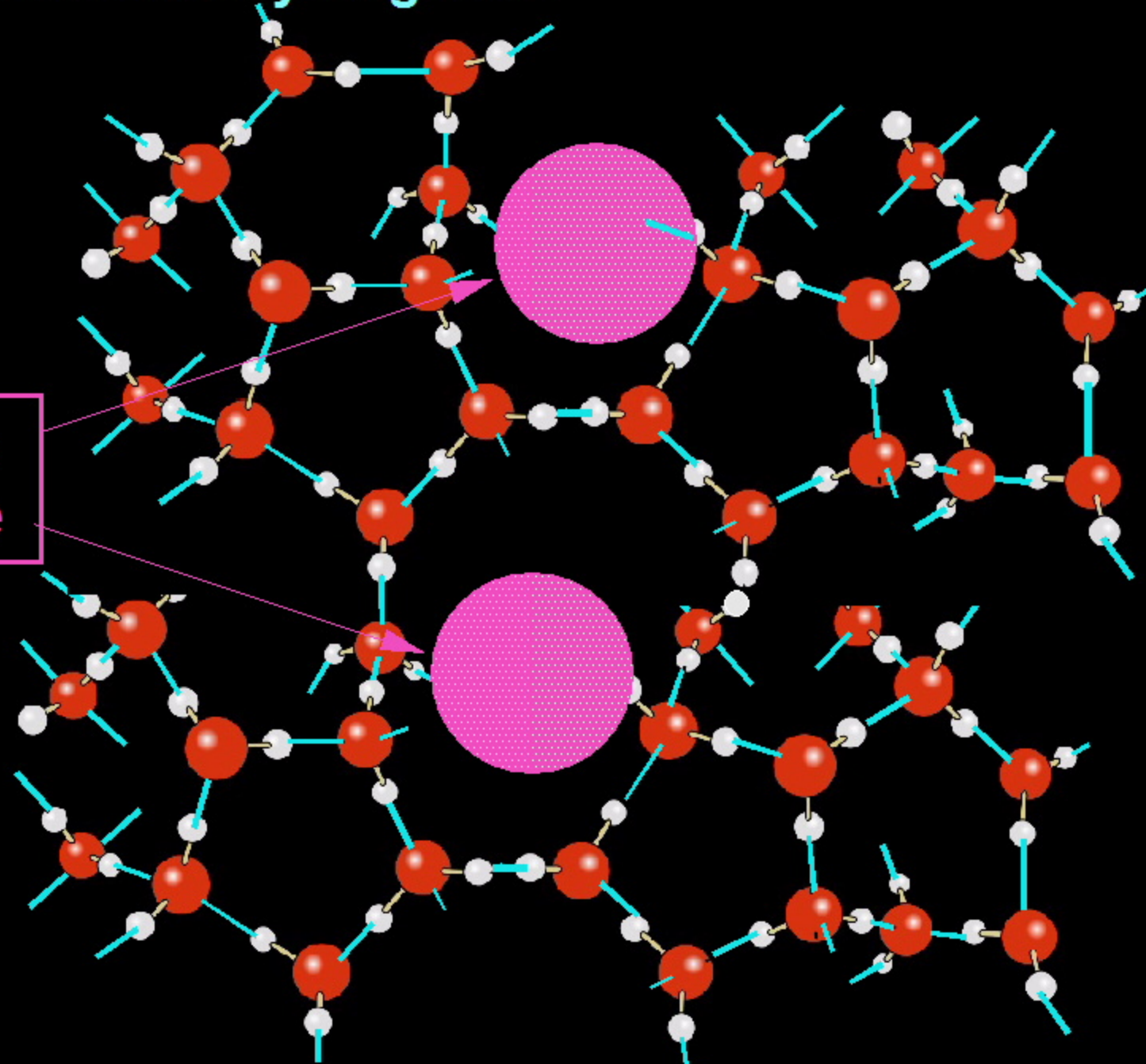
corps dipolaire



nuage électronique entourant
les deux molécules d'eau

Le premier rôle de l'eau : la dissolution

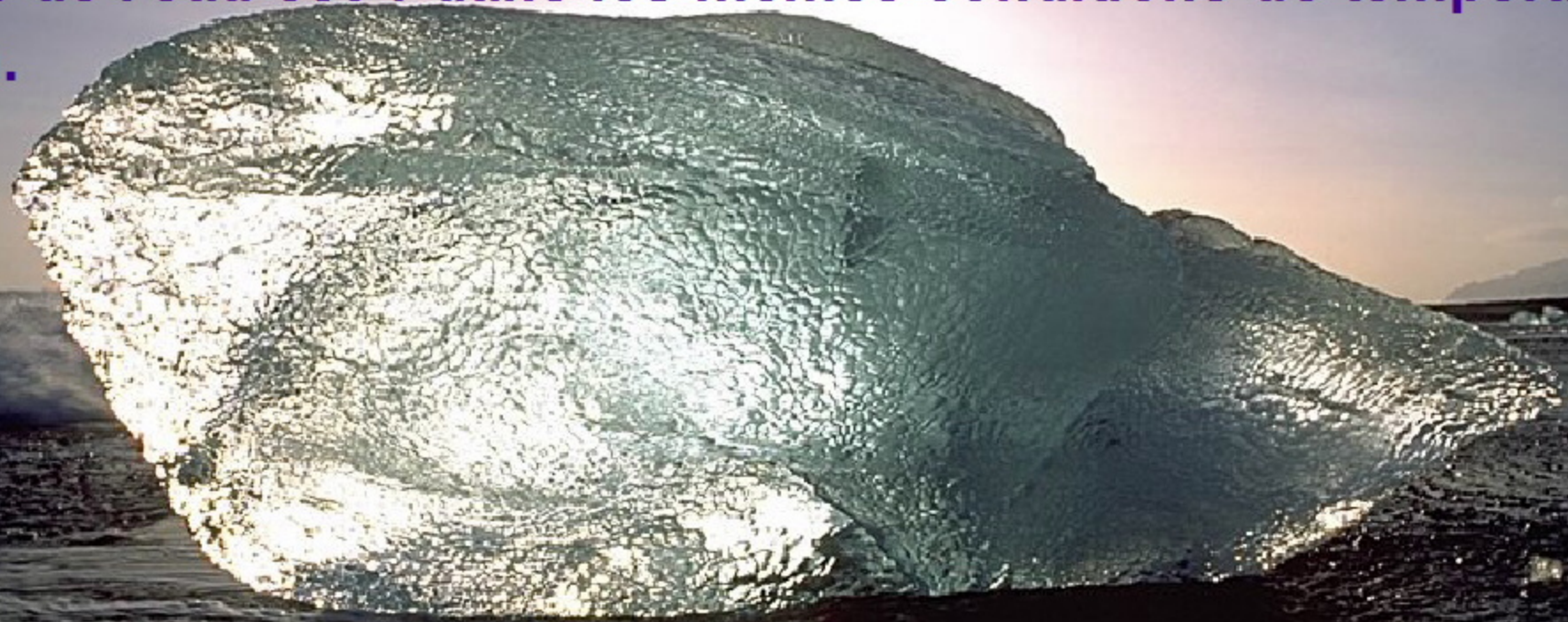
La dissolution d'une espèce chimique par l'eau consiste à séparer les grosses molécules en les entourant par des chapelets de molécules d'eau et cela grâce aux liaisons hydrogènes.



molécules d'une
espèce chimique

Lers liaisons hydrogène sont responsables d'une autre propriété curieuse de l'eau.

La glace, constituant solide de l'eau à la pression ordinaire, est plus légère que l'eau et flotte sur le liquide. En effet sa densité est de 0.92 alors que celle de l'eau est 1 dans les mêmes conditions de température et de pression.

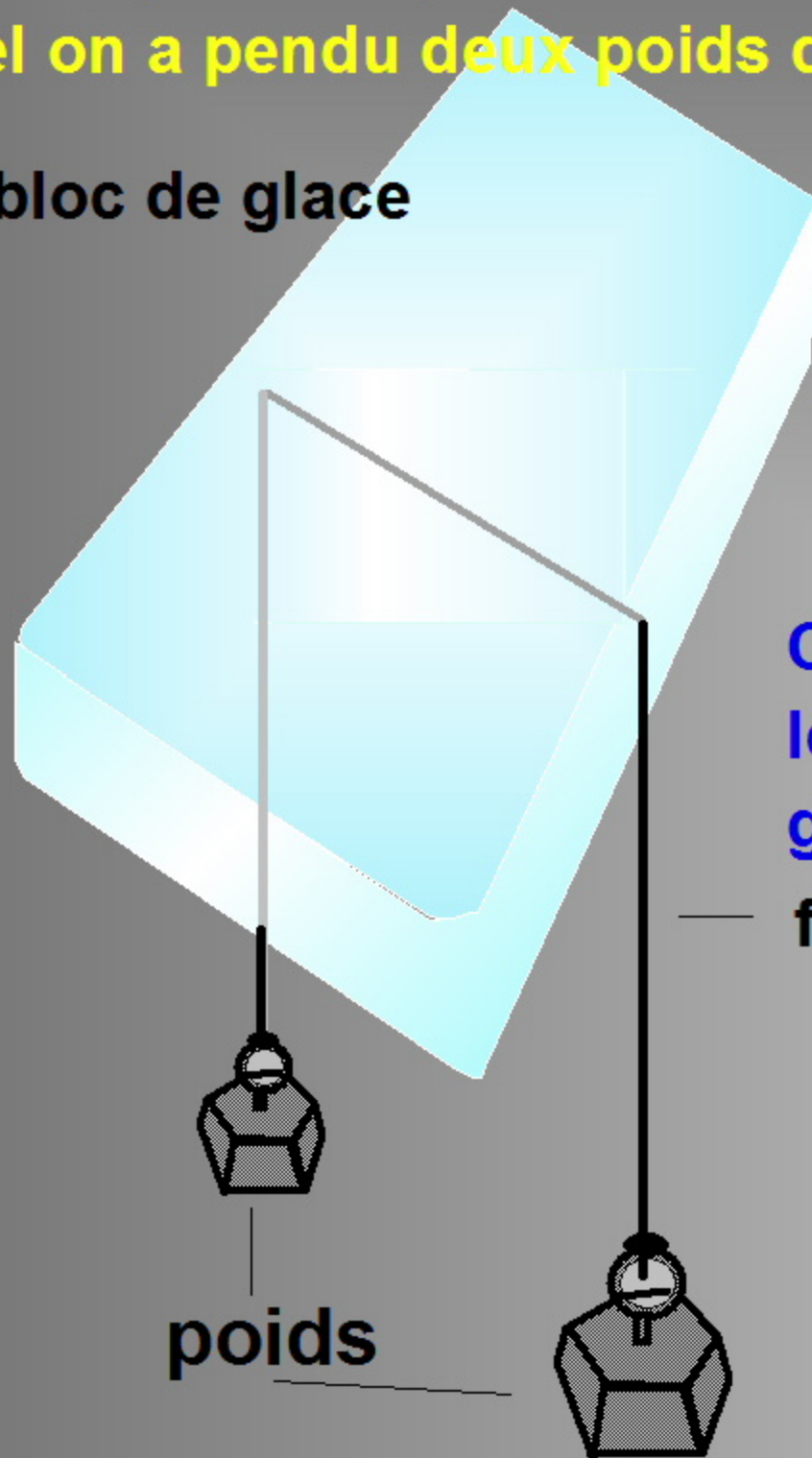


|
Iceberg

Une étrange propriété de la glace d'eau

A une température proche de 0 C° plaçons sur un barreau de glace un fil auquel on a pendu deux poids de part et d'autre du barreau.

bloc de glace



Sous la pression des poids, la glace fond sur le trajet supérieur du fil.

A température constante la glace se reforme au dessus de fil pendant que le fil descend.

Cette propriété est utilisée efficacement par le patineur sur glace : entre les patins et la glace se forme un fil liquide.

fil métal

poids

La bonne chimie ?

Ou

La chimie du vivant

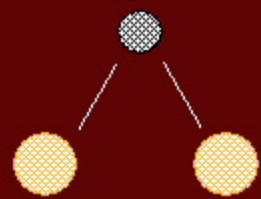
Telle qu'on la connait sur Terre

La Vie sur Terre

Les molécules premières

gaz disponibles dans l'atmosphère primitive terrestre

gaz carbonique



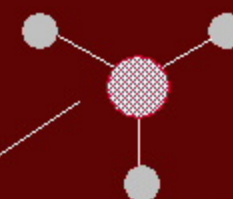
eau



méthane



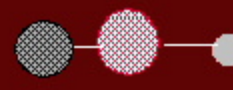
ammoniac



formaldéhyde



acide cyanhydrique

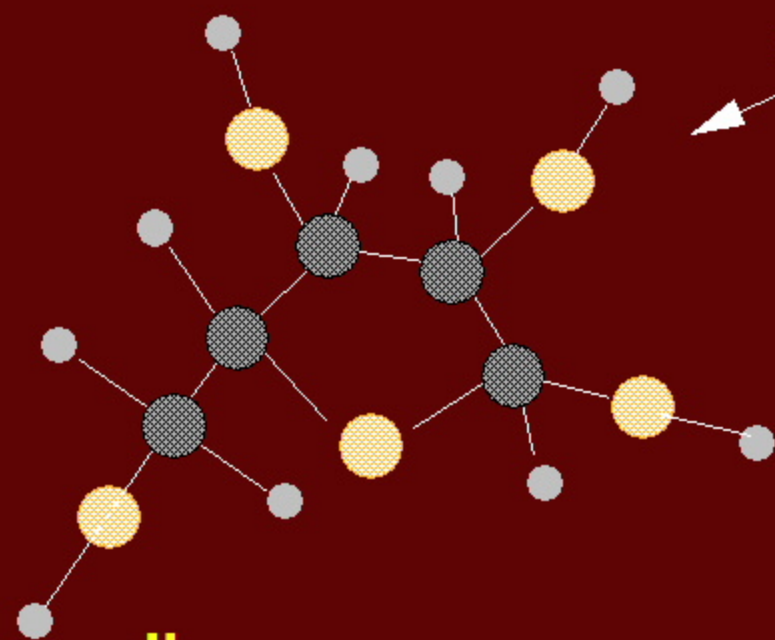


oxygène	
hydrogène	
carbone	
azote	

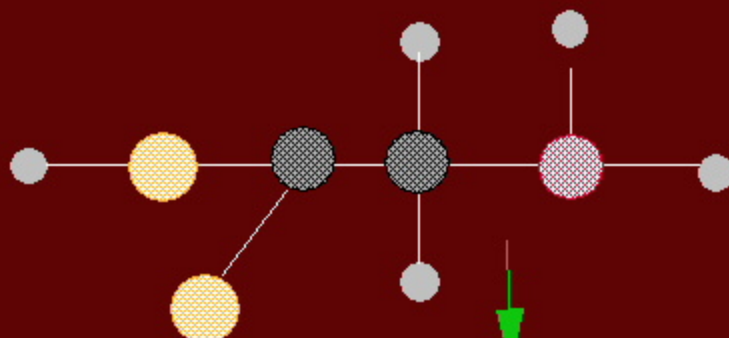
x5

x5

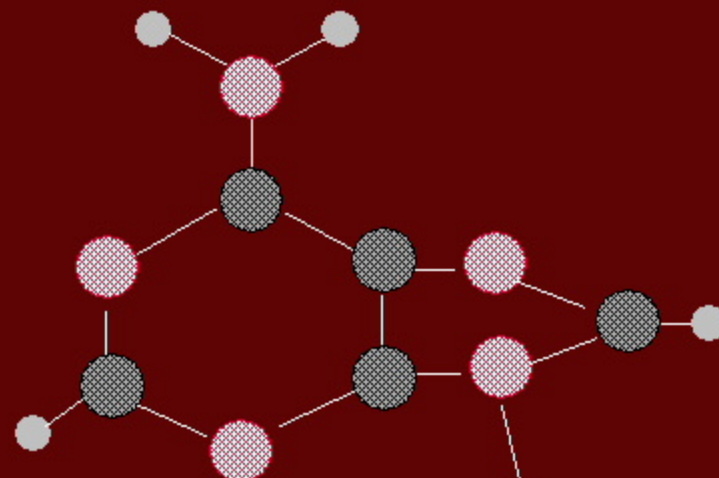
acide aminé



ribose



avec 6 carbones → glucose

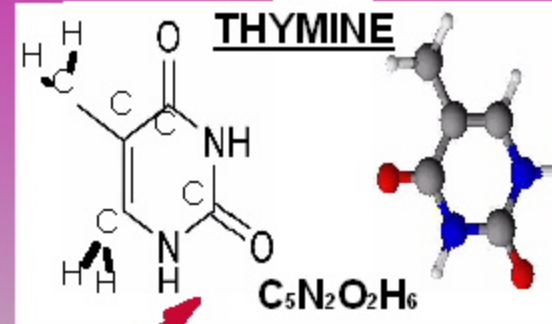
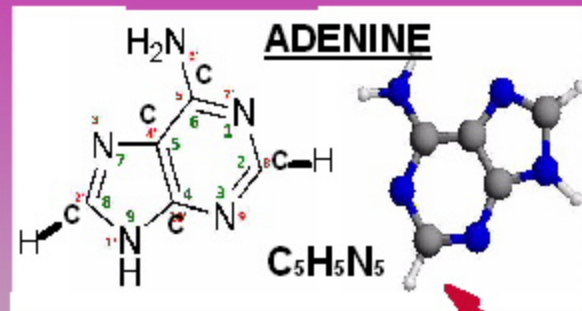


adénine

sucres à 5 carbones

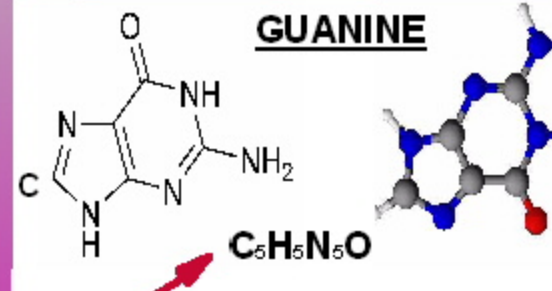
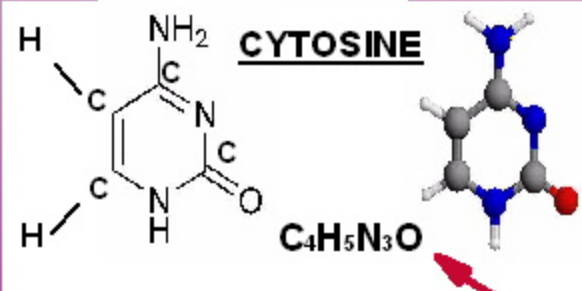
Les quatre briques fondamentales de la vie sur terre

Dans l'ADN



appariement des deux bases dans l'ADN (couplage AT)
stabilité chimique sensible aux UV (impact sur le génome)

Des expériences de biochimie prébiotique montrent que de l'acide cyanhydrique à l'état liquide va spontanément permettre l'apparition d'une infime quantité d'adénine.

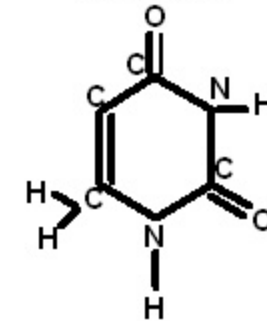


appariement des deux bases dans l'ADN (couplage CG)
stabilité chimique sensible aux UV (impact sur le génome)

Dans l'ARN

la THYMINE est remplacée par l'URACILE

URACILE

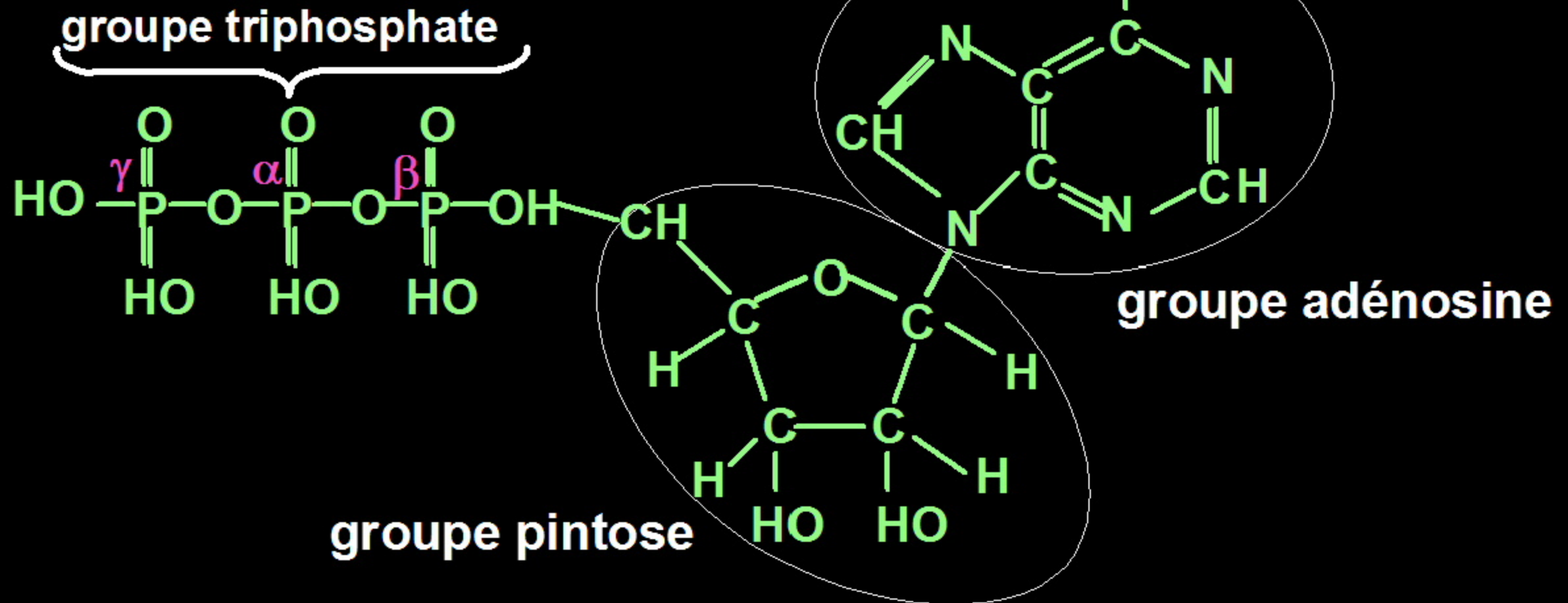


Adénosyne triphosphate : **ATP**

Rôle

Fournir l'énergie nécessaire aux réactions chimiques des cellules. C'est un nucléotide servant à stocker et transporter l'énergie.

Formule : $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$



$ATP + H_2O \rightarrow ADP + \pi + 31 \text{ kJ/mole}$ parmi les réactions possibles

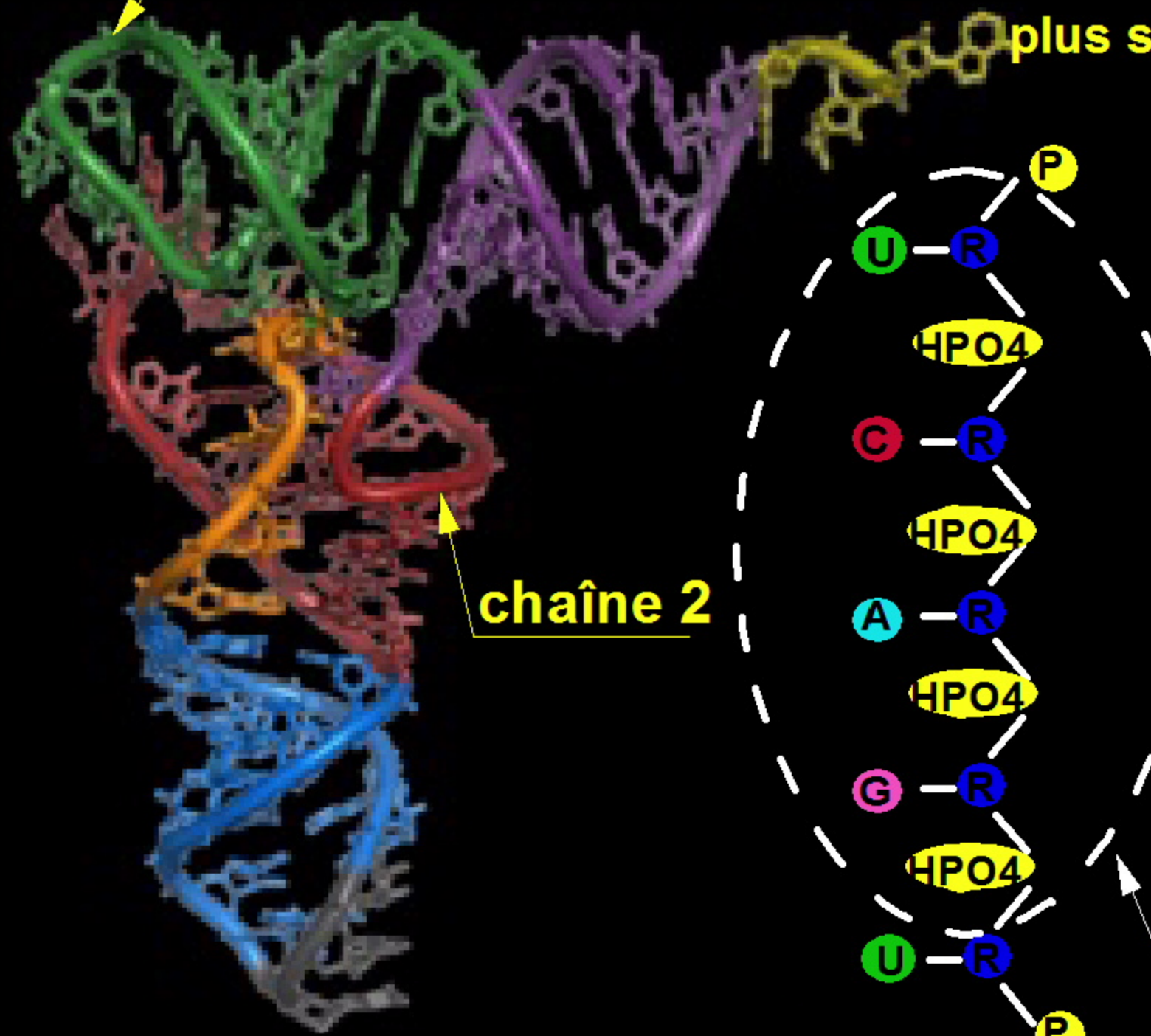
où π est le radical HPO_4^{2-} et $ADP = ATP - \pi$

L'énergie libérée est de 31 kJ/mole à 25° C et 42 kJ/mole à 37° C à 1 bar.

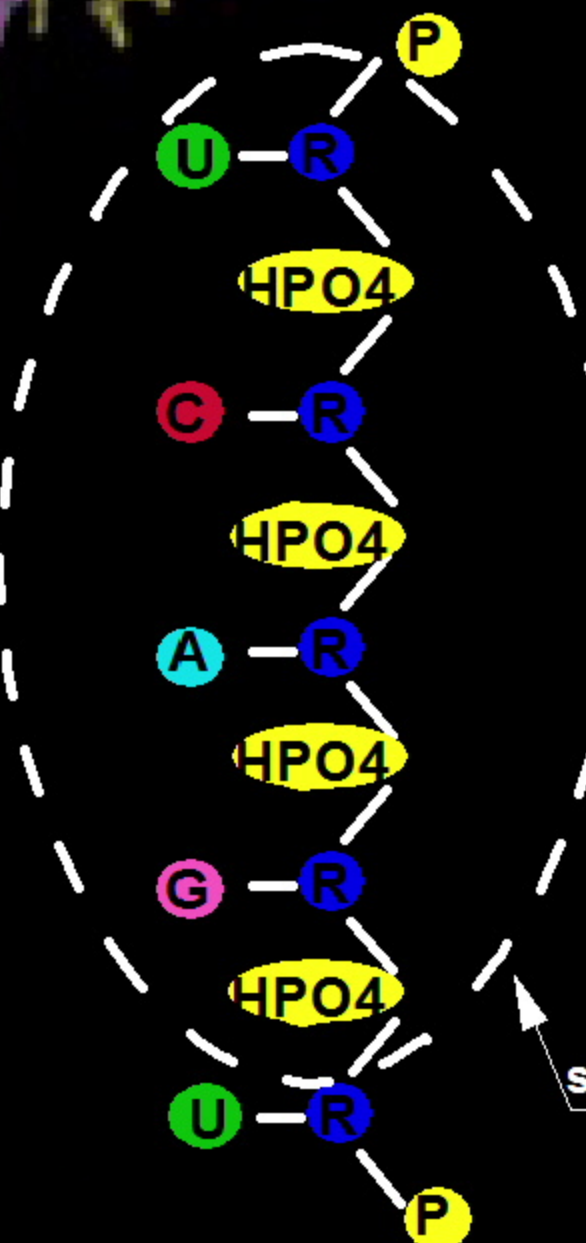
Acide ribonucléique double brin ARN_{db}

chaîne 1

L'ARN simple brin se rencontre le plus souvent dans les cellules.



chaîne 2



P Acide phosphorique
 H_3PO_4

Ion phosphate HPO_4^{3-}

R Ribose $C_5H_{10}O_5$

G	Ganine	$C_5H_5N_5O$
C	Cytosine	$C_4H_5N_3O$
A	Adénine	$C_5H_5N_5$
U	Uracile	$C_4H_4N_2O_2$

séquence ARN

L'acide désoxyribonucléique ou ADN

A = Adénine

C = Cytosine

G = Guanine

T = Thymine

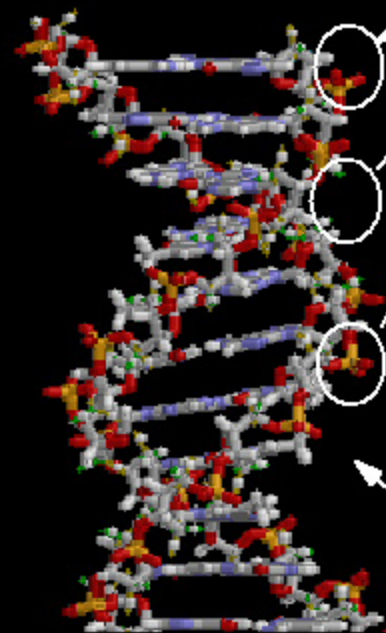
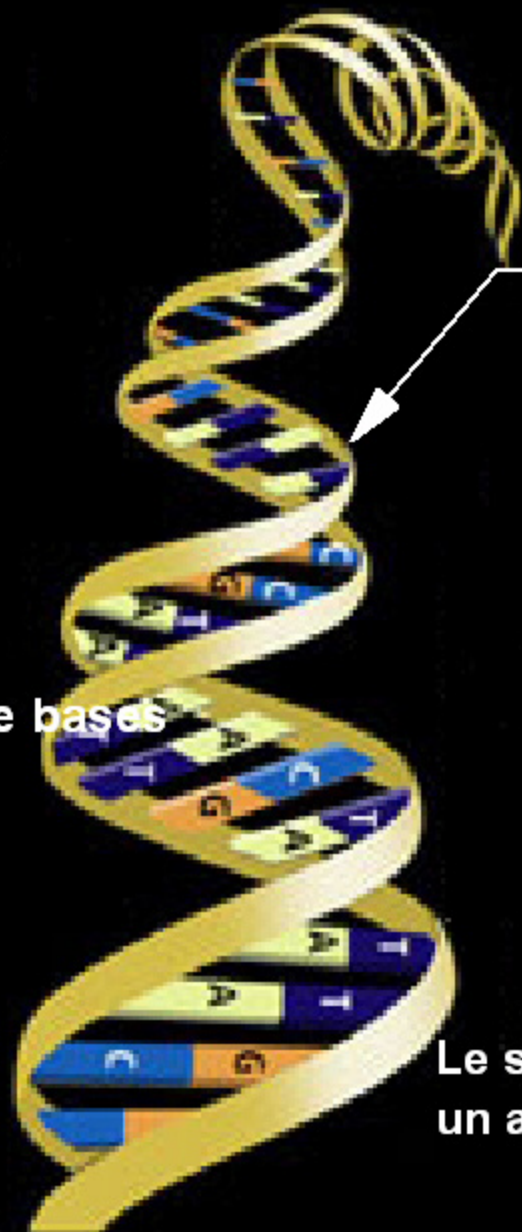
corp de l'hélice :

Segment d'ADN

chaîne sucre phosphate

C ⊗ G
G ⊗ C
T ⊗ A
A ⊗ T

paires de bases



en réalité la molécule d'ADN se compose de deux hélices imbriquées

Le sucre est un ribose qui a perdu un atome d'oxygène (**désoxyribose**)

La planète

Le type de planète

Pour que la vie existe et perdure, la planète doit se protéger des flux de particules et des rayons X et Γ issus de son étoile mère, en créant un bouclier magnétique.

Or, pour créer le champ magnétique il faut un effet "dynamo".

Ceci n'est possible que si sous la croûte de surface de la planète existe une phase liquide à la fois convective et conductrice électriquement.

En bref la planète doit contenir un coeur chaud entretenant la fusion d'une masse métallique. C'est bien entendu le cas de la Terre.

Il faut donc que le coeur de la planète soit riche en métaux lourds, tel l'isotope 235 de l'uranium pour générer par radioactivité la chaleur nécessaire à la fusion du coeur.

En se référant à ce qu'on connaît sur Terre :

La planète doit être rocheuse pour abriter un océan liquide fait d'eau avec ou sans continent émergé.

Le diagramme de l'eau ci-joint, montre que quel que soit la pression atmosphérique agissant sur l'eau pour qu'elle soit en phase liquide, sa température doit être au delà de 273 K.

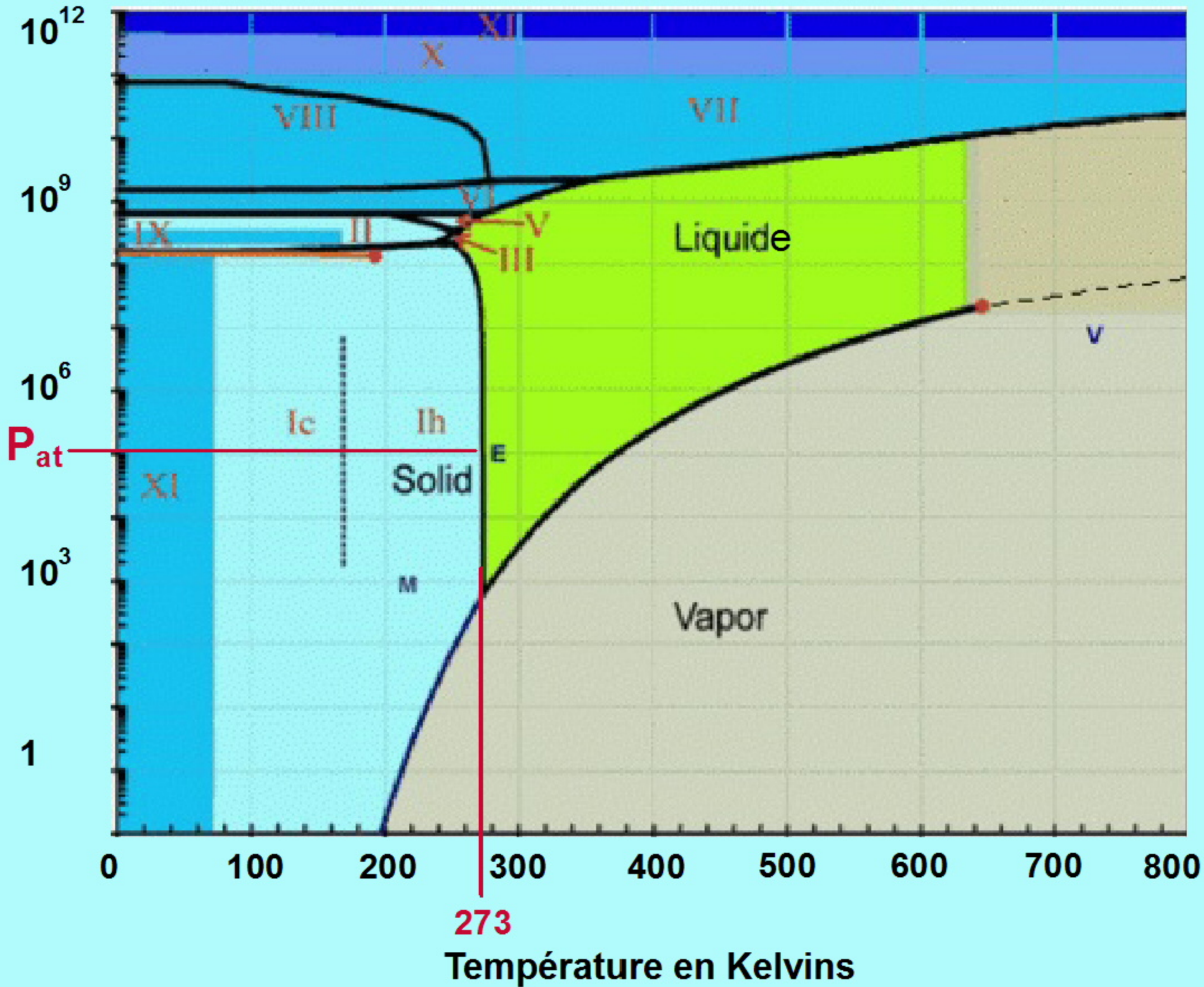
En revanche, le couple pression – température peut prendre des valeurs importantes avant d'être un obstacle à la vie, comme en témoignent les fumeurs noirs de l'océan pacifique sur Terre.

Le rayonnement thermique reçu de l'étoile doit avoir une valeur compatible avec les exigences de la vie $\text{flux} \approx 1400 \text{ W/m}^2$.

Une question

La gravité de surface joue-t-elle un rôle dans l'apparition de la vie ?

Pression en pascals



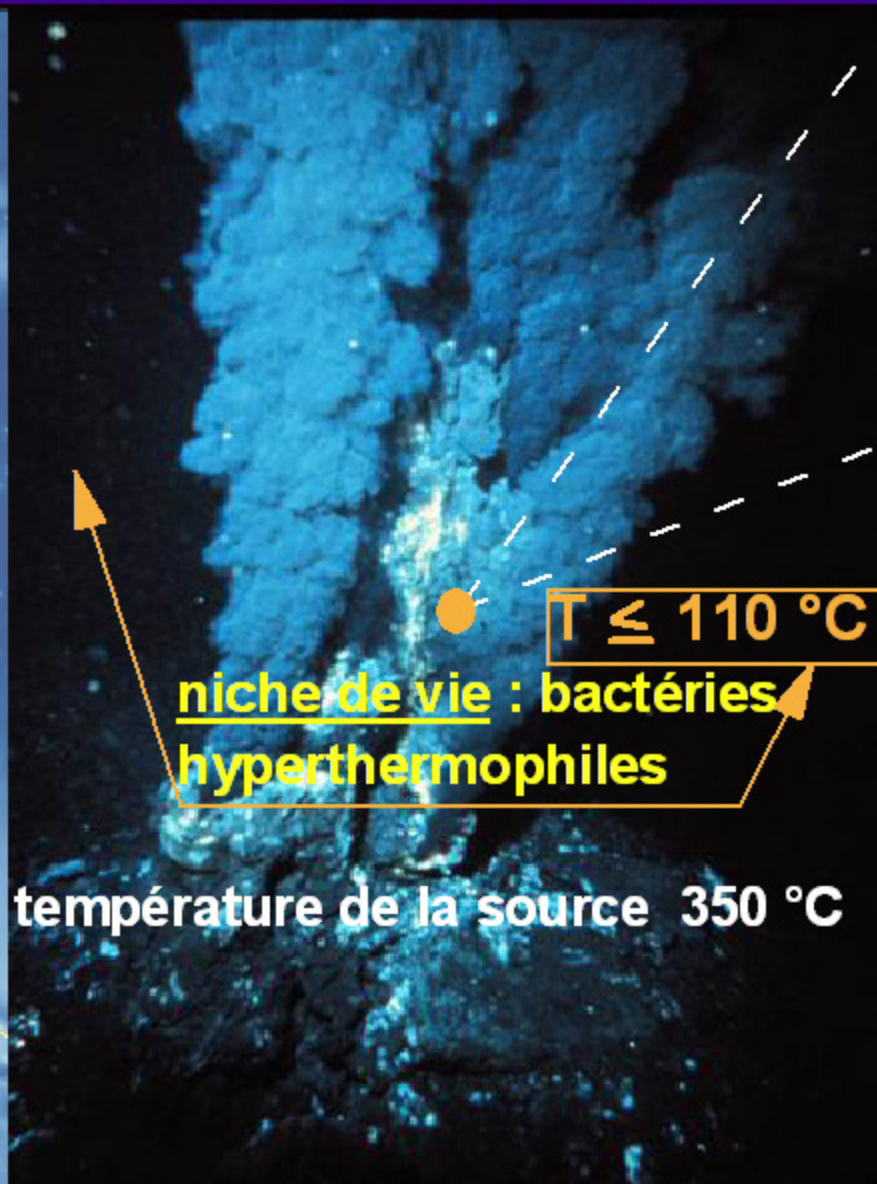
273

Température en Kelvins

Modèle alternatif : origine sous-marine d'apparition du vivant

l'option de la chimiosynthèse

fumeur noir de la fosse des
Marianes dans le pacifique



Gas	%
Hydrogen	45
Methane	6
Carbone dioxide	43
Nitrogen	4
Hydrogen sulfide	2

pression dans
la fosse 1100 bars

Fumeurs noirs des Caraïbes

Cette cheminée hydrothermale, est la plus profonde connue, l'une des plus puissantes aussi. Elle fait partie d'un ensemble de cheminées situé à **4 960 mètres de profondeur**, le long de la fosse des Caïmans, dans la mer des Caraïbes. Haute d'une cinquantaine de mètres, elle propulse un panache à **1 100 mètres !** Les fluides brûlants qui s'en échappent autour de **450 °C** sont très riches en sulfures et en cuivre, et une faune originale s'est développée autour : crevettes, anémones, poissons et gastéropodes...

source journal *La RECHERCHE*

A près de 5000 m de profondeur la pression est de 500 fois la pression atmosphérique et pourtant la vie existe : donc, l'importance de la pression atmosphérique n'est pas une contrainte pour la vie.

De ce point de vue, l'importance de la gravité de surface de la planète n'est pas un obstacle à la vie, ce qui permet de penser que la grosseur de la planète peut être très supérieure à celle de la Terre..

Importance pour la vie

de la valeur du rayonnement stellaire incident I_{incd}

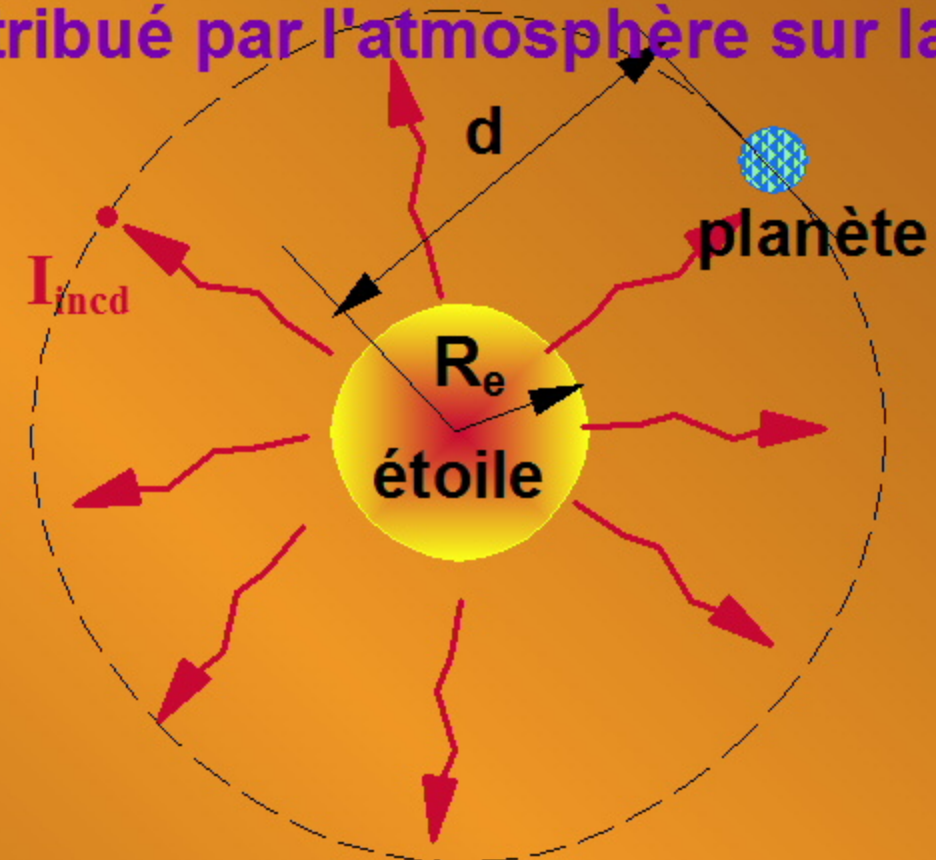
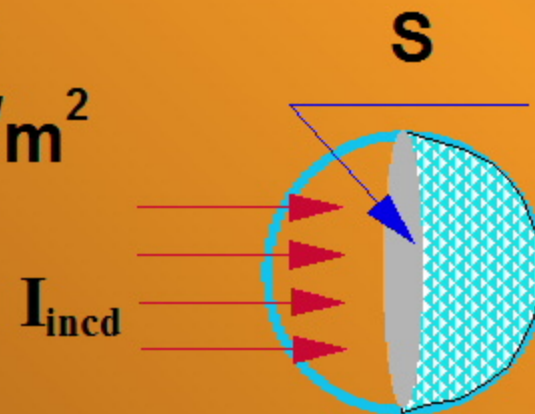
$$I_{\text{incd}} = \frac{R_{\text{soleil}}^2}{d_{\text{Soleil-Terre}}^2} \sigma T_{\text{S}}^4 \quad \text{pour la Terre } I_{\text{incd}} = 1362 \text{ Watts /m}^2$$

L'intensité vraie I_{vraie} est donnée par l'intégrale :
$$I_{\text{vrai}} = \frac{1}{4\pi R^2} \int_0^S I_{\text{incd}} ds$$

I_{incd} étant la même en tous points de la surface de la sphère solaire, de rayon égal à celui de l'orbite planétaire, l'intégrale ci-dessus prend la forme simple d'un produit, où S est l'aire de la surface éclairée projetée sur le grand cercle de la planète : $S = \pi R^2$. Cet éclairement est redistribué par l'atmosphère sur la surface entière $4\pi R^2$:

$$I_{\text{vrai}} = \frac{I_{\text{incd}}}{4}$$

Pour la Terre $I_{\text{vrai}} = 340 \text{ Watts/m}^2$



Nota

La redistribution du rayonnement est due à la rotation journalière de la planète.

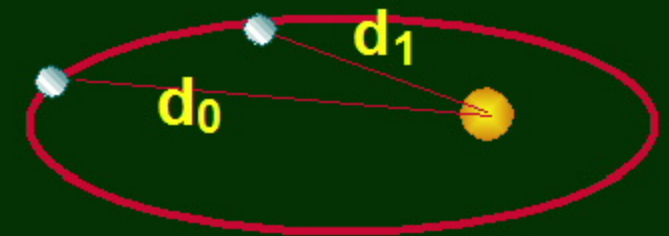
Les contraintes sur le flux incident

Cas d'une trajectoire de planète elliptique.

Exemple de la Terre

Le flux incident vaut $I_{\text{incd}} = 1362 \text{ Watts} / \text{m}^2$. Il contient la distance étoile - planète au carré d^2 . Quand la distance d passe de d_0 à d_1 dans le cas d'une orbite elliptique, le flux incident varie comme le carré de d , de même le flux qui lui est proportionnel :

$$I_{\text{incd}} = I_{\text{incd},0} \frac{d_0^2}{d_1^2}$$



Si l'orbite était très elliptique, entraînant une diminution de 2% sur la distance, le flux incident varierait de 4%.

Par exemple pour la Terre cela donnerai une variation de 4°C . Ce saut de température aurait des conséquences écologiques et économiques incommensurables à l'aune de ce que l'on considère aujourd'hui.

Cet exemple montre que pour que la vie perdure, la planète doit parcourir une orbite d'éllipsité quasi-nulle comme celle de la Terre pour que sa constante stellaire soit la plus stable possible.

La gravité de surface

C'est une accélération Γ en m/s/s. Le poids P d'un objet de masse m placé à la surface de la planète s'écrit : $P = m \Gamma$

L'accélération au sol n'est autre que le champ de gravitation exercé par la planète à fleur de sol : $\Gamma = \frac{G M_{pl}}{R_{pl}^2}$

En introduisant la densité moyenne ρ_{pl} de la planète : $\Gamma = \frac{4\pi}{3} G \rho_{pl} R_{pl}$

Sous réserve que la densité de la planète soit proche de celle de la Terre, c'est-à-dire $\rho_{pl} = C^{te}$, on voit que Γ croît comme le rayon de la planète.

Sous la condition $\rho_{pl} = C^{te}$, une planète dont la masse est deux fois celle de la Terre et donc le rayon est $2^{\frac{1}{3}}$ fois celui de la Terre, a une gravité de surface $\Gamma = 2^{\frac{1}{3}} g$ soit :

$$\Gamma = 12.5 \text{ m/s/s} \text{ quand } g = 9.81 \text{ m/s/s}$$

Rien n'indique que ce gain de 26% sur Γ soit un problème pour la vie. Donc, toute chose restant égale par ailleurs, la masse de la planète n'impacte pas le fonctionnement de la vie.

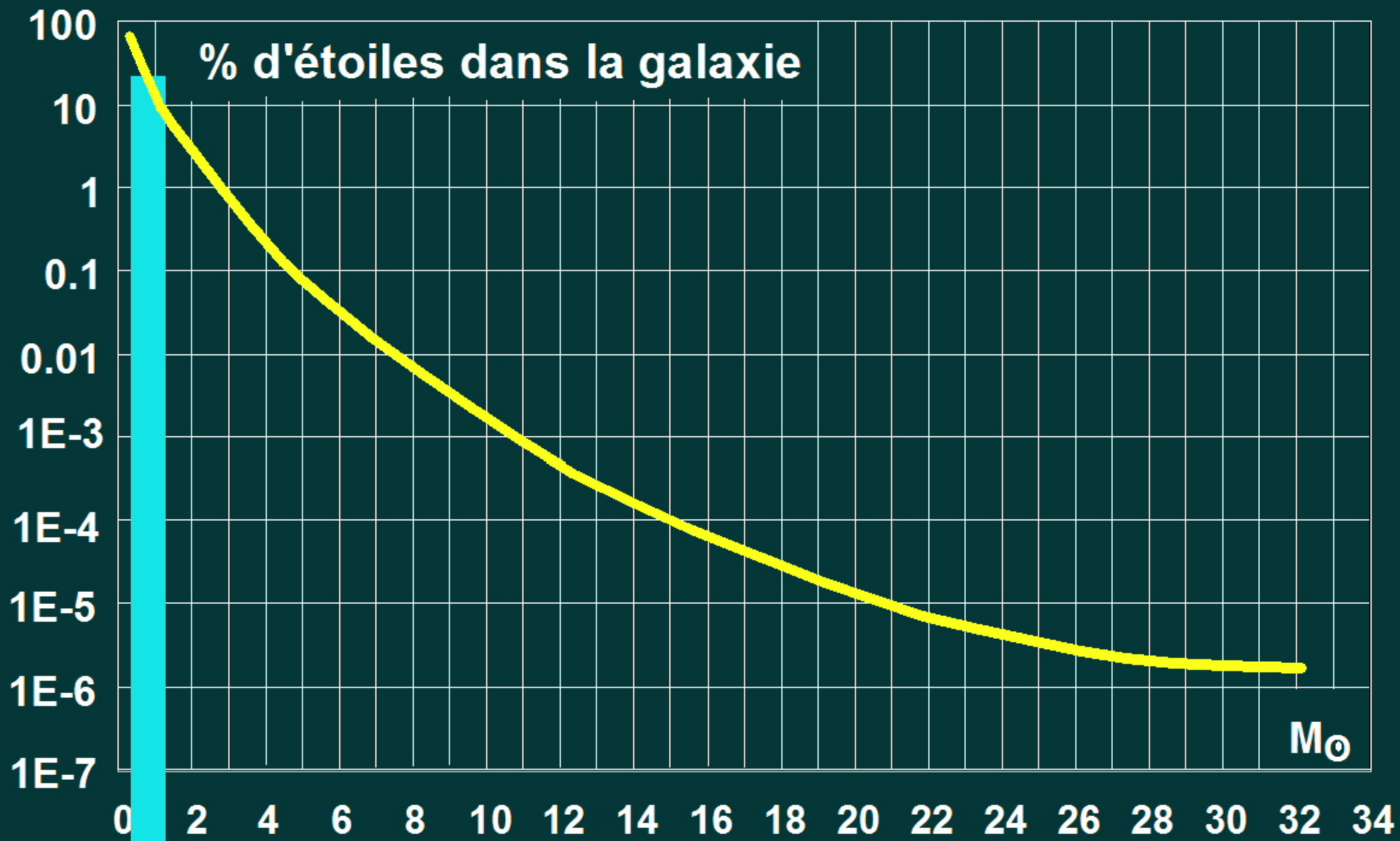
L'étoile

SERIE SPECTRALE DANS LA SEQUENCE PRINCIPALE

Classe spectrale	nombre de Masses solaires	% d'étoiles dans la galaxie	Nombre d'étoiles dans notre galaxie	Luminosité (Soleil = 1)	température de surface en °K	$\left(\frac{T_{\odot}}{T_{star}}\right)^2$	Rayon de l'étoile (Soleil = 1)	distance à l'étoile pour $\phi = 1362W / M^2$	durée de vie (années)
								en U.A.	
OS	32	0.00002	20 000	6 000 000	35000	0.027	66	37	0.001miliard
B0	16	0.1	100 000 000	6 000	28000	0.042	3.25	24	0.01miliard
B5	6			6 00	11000	0.28	4.95	3.6	0.1miliard
A0	3	1	1 200 000 000	60	10000	0.34	2.63	3	0.5miliard
A5	2			20	7500	0.6	2.68	1.67	1miliard
F0	1.75	3	3700 000 000	6	7500	0.6	1.47	1.67	2miliards
F5	1.25			3	6000	0.93	1.6	1.07	4miliards
G0	1.06	9	11 000 000 000	1.3	6000	0.93	2.79	1 U.A.	10miliards
soleil	1			1	$T_{\odot} = 5785$	1	1		1
G5	0.92			0.8	5000	1.34	1.2		15miliards
K0	0.80	14	17 000 000 000	0.4	5000	1.34	1.2	0.74	20miliards
K5	0.69			0.1	3600	2.58	0.8	0.39	30miliards
M0	0.48	73	89 000 000 000	0.02	<3600	>2.58	0.8	//	75miliards
M5	0.20			0.001					200miliards

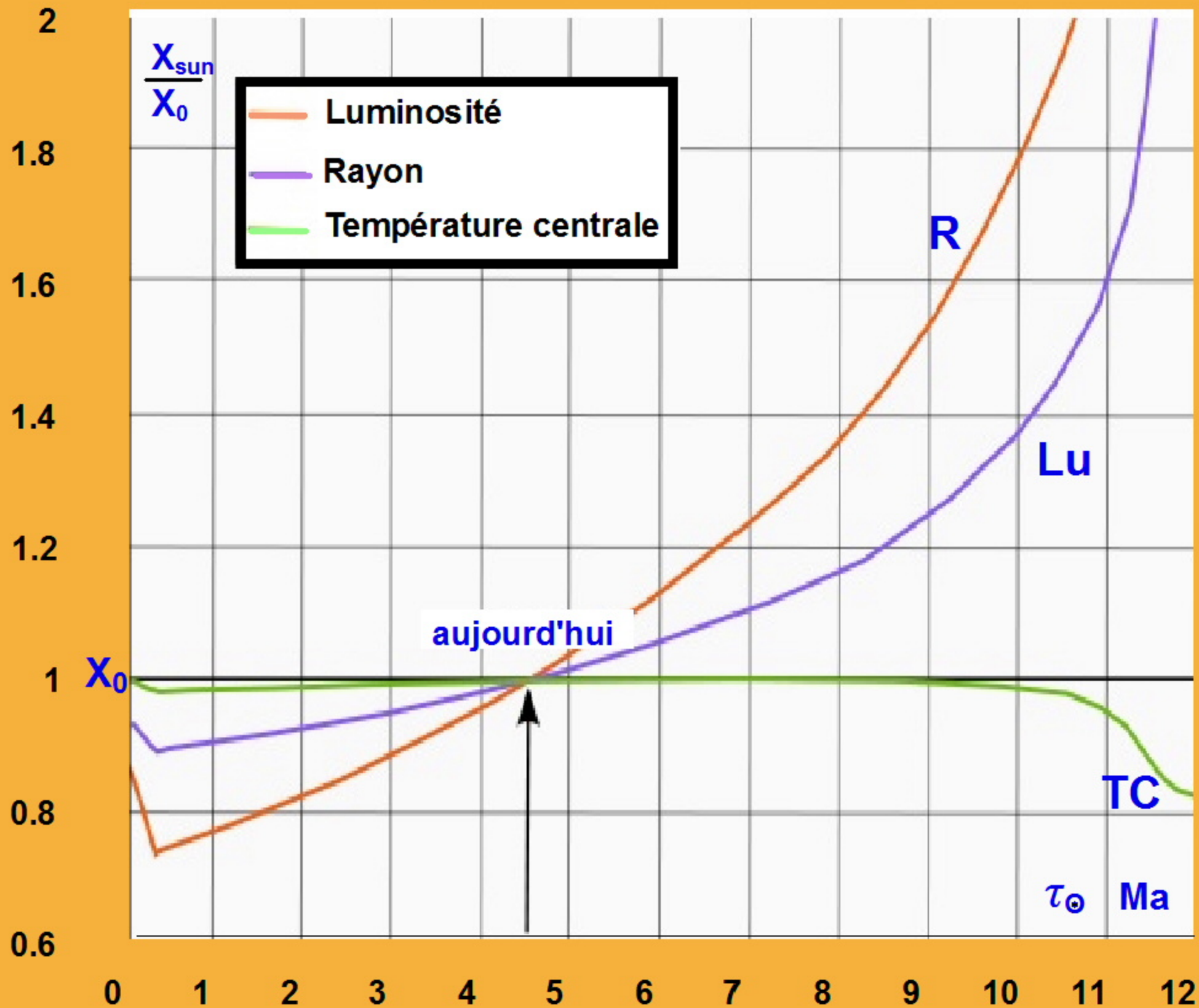
dernière estimation 1.4E11 étoiles.

$$\frac{R_{star}}{R_{\odot}} = \frac{T_{\odot}^2}{T_{star}^2} \sqrt{\frac{I_{star}}{I_{\odot}}}$$

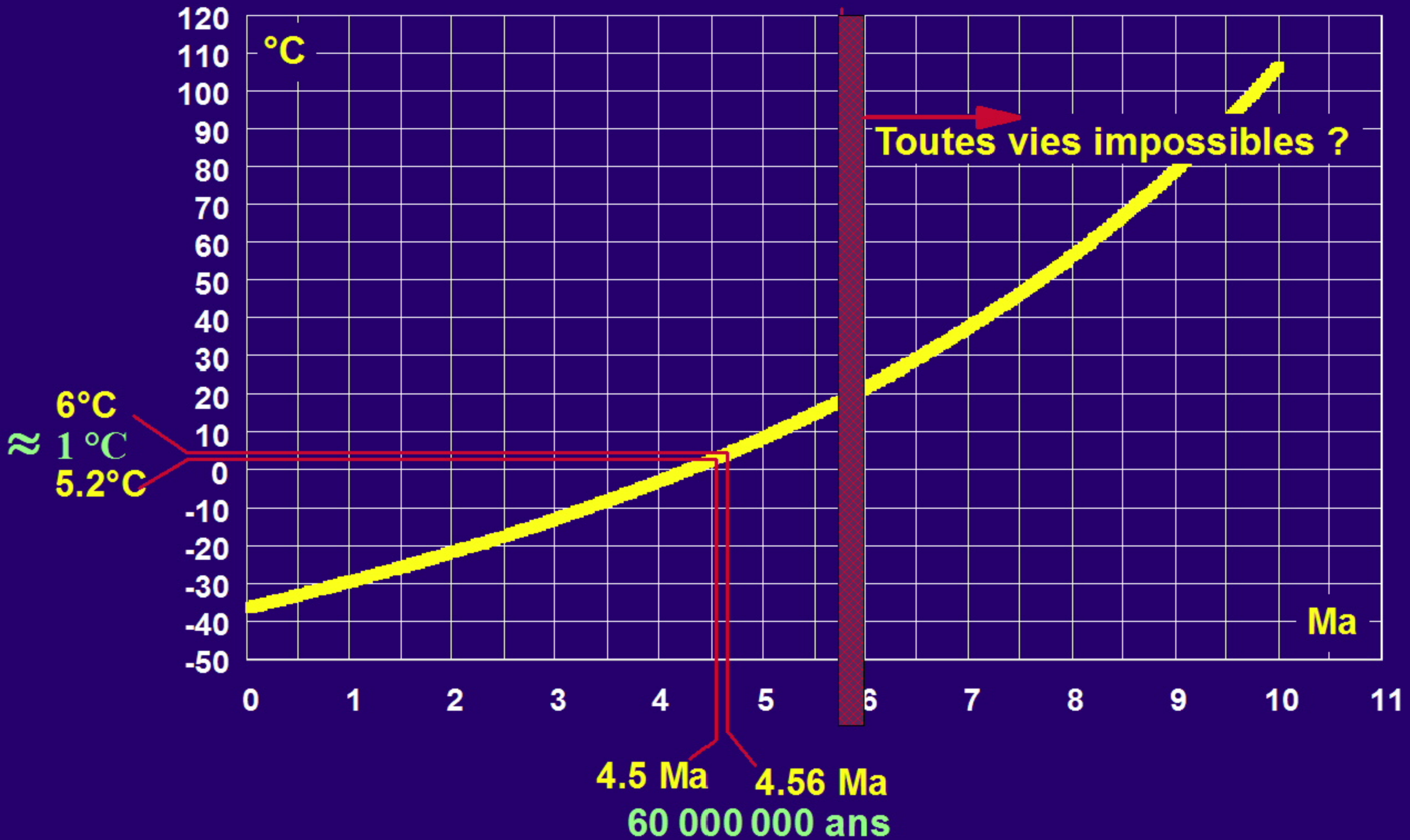


masses stellaires pouvant autoriser la vie
0.6 à 1.2 M_{\odot}

Evolution du Soleil



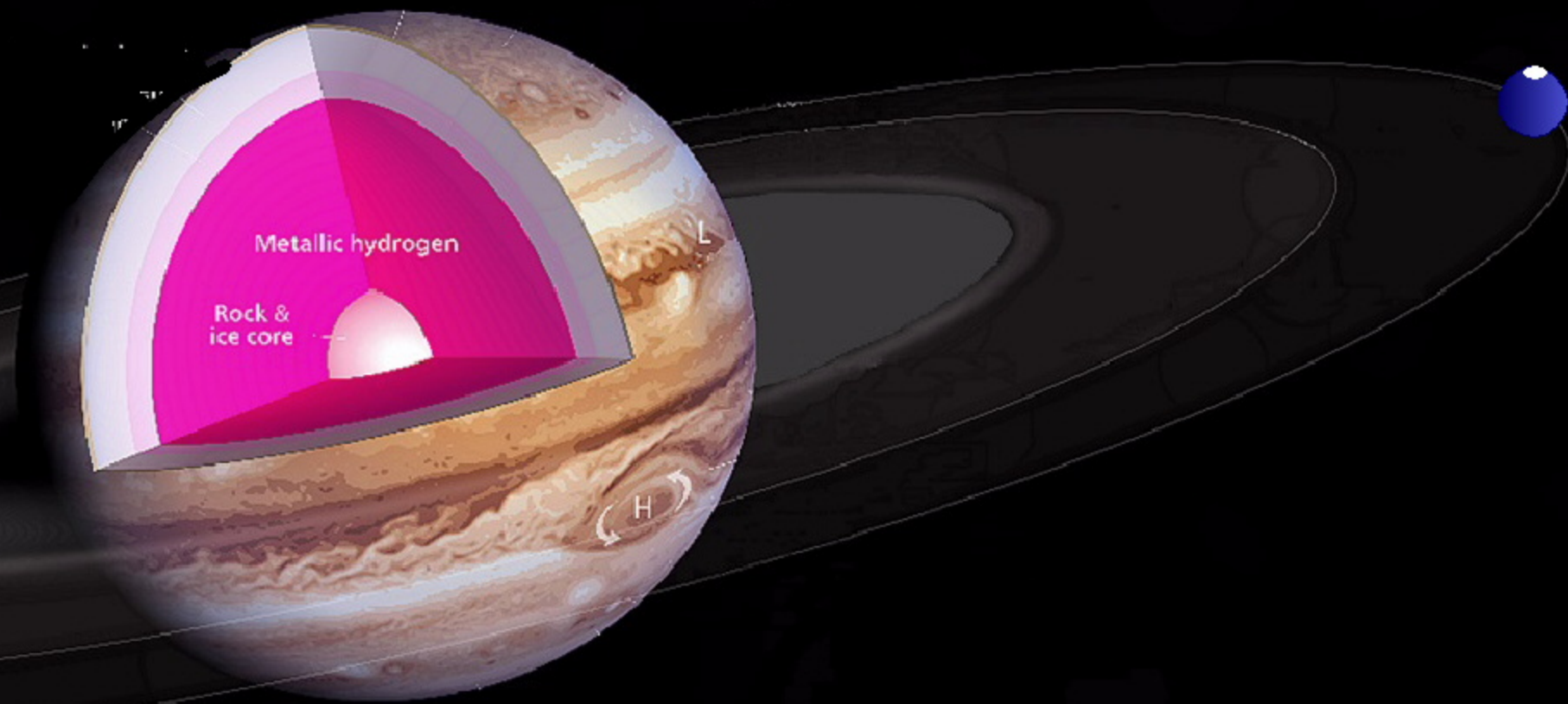
température moyenne sur Terre issue de l'irradiation solaire



Scénario alternatif

Scénario alternatif

Une planète gazeuse telle une super jupiter autour de laquelle orbite une lune type superganymède ou une petite planète rocheuse de la taille de la terre par exemple. L'intérêt est que la planète mère possède un champ magnétique protégeant sa lune du flux de particules issu de l'étoile.



La contrainte d'une super Jupiter (+ massive) tient au fait que le barycentre du couple planète - lune ne doit pas être trop loin du centre de la planète pour éviter un effet de Yo-Yo trop important de sa lune.

Ganymède

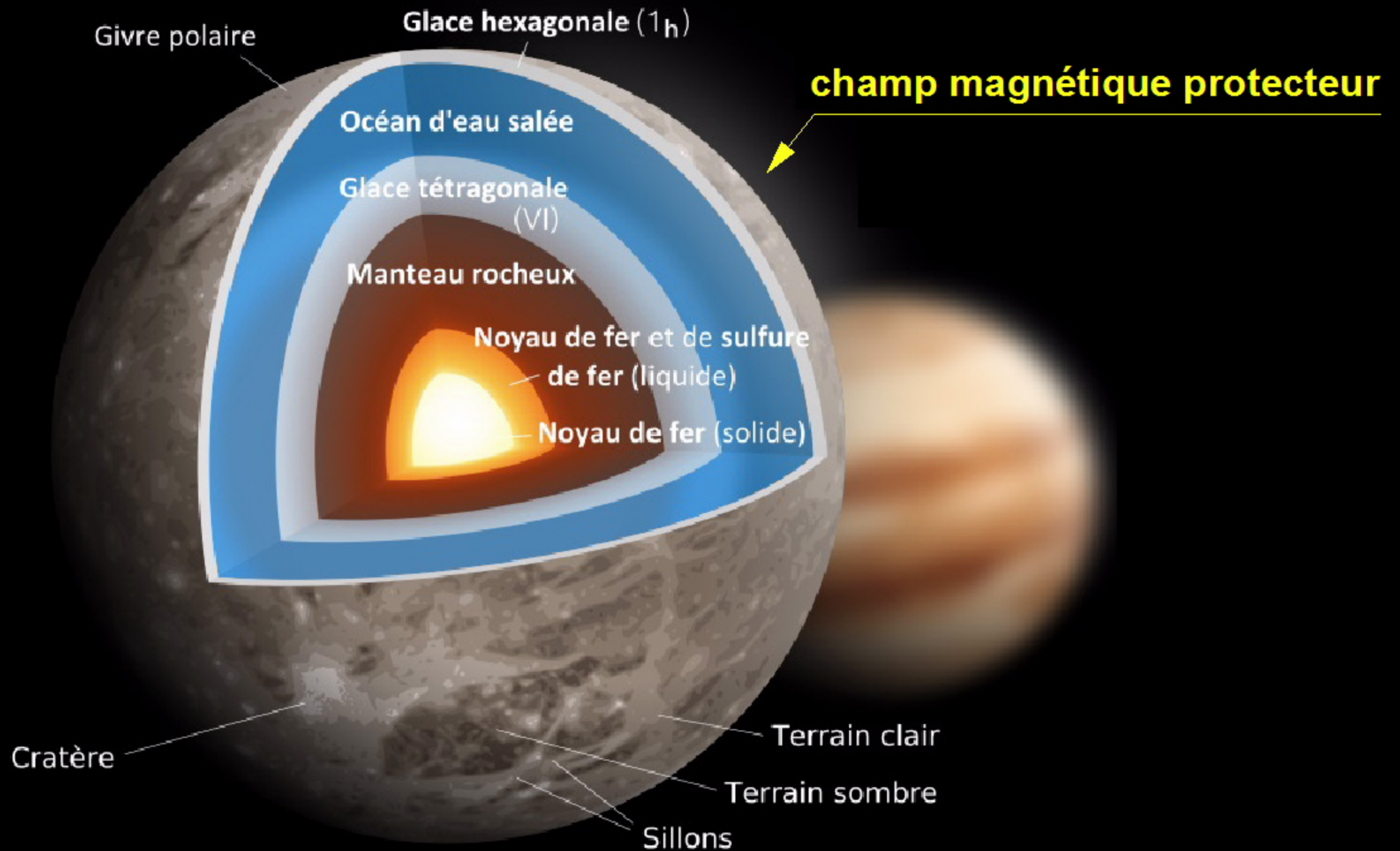


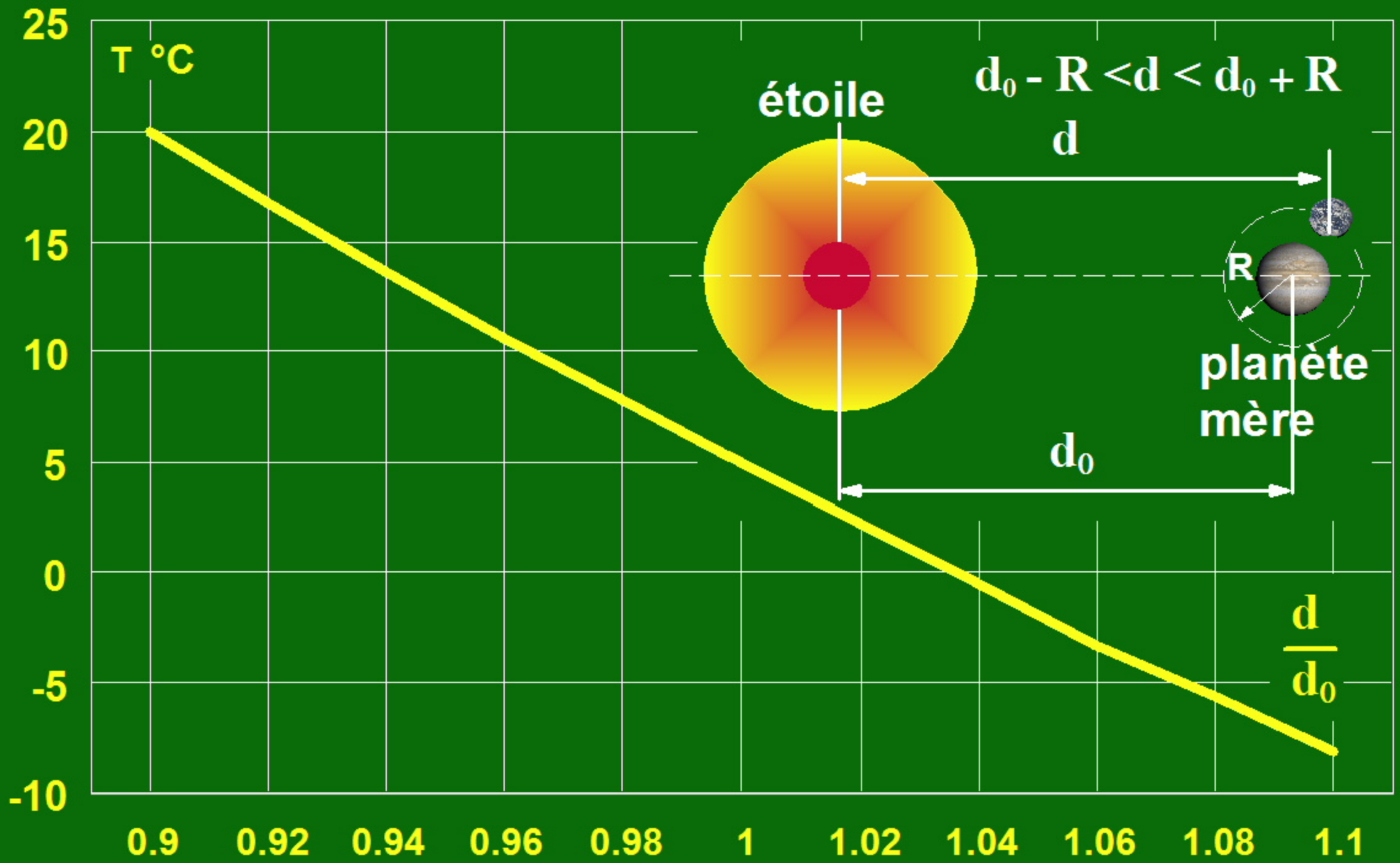
Diamètre	5 262,4 km
Masse	$1,482 \times 10^{23}$ kg
Masse volumique	$1,941 \times 10^3$ kg/m ³
Gravité à la surface	1,428 m/s/s
Vitesse de libération	2,742 km/s
Période de rotation \approx	7,154 j
(synchrone)	
Température de surface minimale :	
70 K	
moyenne :	110 K
maximale :	152 K
Vitesse orbitale moyenne	10,9 km/s
Période de révolution	7,154 j

Donc sur Ganymède le jour dure une semaine terrestre

Ganymède

Terre miniature orbitant autour de Jupiter





Oscillation de la distance étoile-lune durant son parcours autour de la planète mère.

FIN