

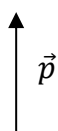
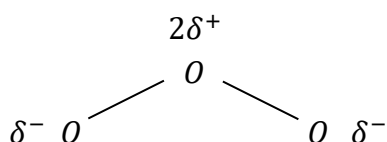
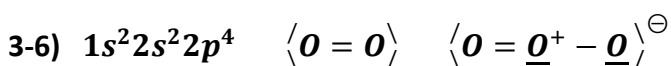
1) Ce sont des rayonnements ultra-violet car la longueur d'onde est comprise entre **100 et 400 nm**.

L'énergie des photons associés à ce type de rayonnement est de l'ordre de  $10^{-18} J \sim 10 eV$ , ce qui correspond à l'ordre de grandeur des énergies d'ionisation des atomes.

2) La couche d'ozone absorbe la quasi-totalité des *UV b & c* ainsi que la moitié des *UV a*.

Ces rayonnements ionisants sont à la fois **nécessaires** (synthèse de la vitamine D) et **préjudiciables** au développement de la vie. Absorbés par les acides nucléiques (ADN, ARN) présents dans les cellules, ils altèrent les molécules et entraînent des mutations de gènes régulateurs de la division cellulaire.

On pense ainsi que les UV ont joué un rôle dans le développement de la vie à partir d'éléments monocellulaires mais à présent, leur aptitude à initier des cancers ne fait plus aucun doute.



Par effet mésomère, la charge négative se répartit sur les deux atomes d'oxygène situés aux extrémités.

7)  $\Delta_r H^0 = 283,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \Delta_r S^0 = -137 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \Delta_r G^0 = 324,6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad K(25^\circ\text{C}) = 1,2 \cdot 10^{-57}$

8)  $K = \frac{P_{O_3}^2 P^0}{P_{O_2}^3} \rightarrow P_{O_3} = 3,3 \cdot 10^{-30} \text{ bar} \quad (P_{O_2} = 0,21 \text{ bar})$

9) Dans la troposphère, la température diminue quand on s'élève. La réaction étant endothermique, l'équilibre est déplacé **vers la gauche** (sens exothermique). Dans la stratosphère, la température augmente quand on s'élève, l'équilibre est déplacé **vers la droite** en faveur de la production d'ozone.

Mais il semblerait qu'au-delà d'une certaine altitude, la pression diminuant, la production d'ozone soit défavorisée car la réaction consomme des gaz.

10) Les prévisions thermochimiques précédentes concernent un équilibre rapide. Dans le cas contraire, tant qu'un équilibre n'est pas atteint, c'est la cinétique chimique qui impose ses règles.

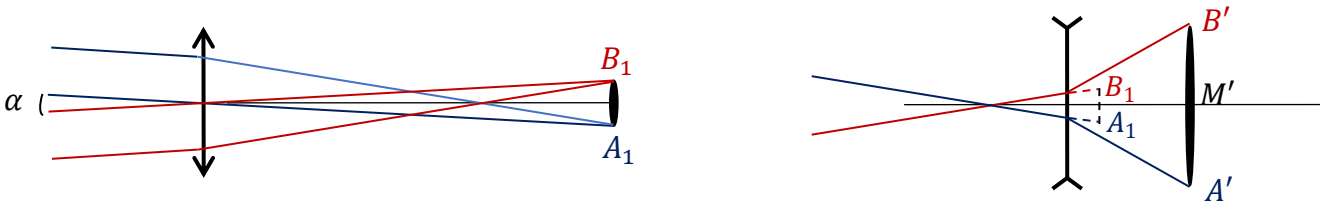
Dans le cas de l'ozone, il semblerait que dans la **basse** stratosphère la réaction soit **rapide**, la proportion de  $O_3$  augmente avec la température. Dans la **haute** stratosphère par contre, bien que le rayonnement soit plus fort, la cinétique **ralentit** à cause de la **raréfaction** de  $O_2$ , le pourcentage d'ozone diminue.

Ce caractère limitant de la cinétique se conjugue et amplifie l'influence de la baisse de pression citée plus haut.

11 & 12)  $P_{O^*} = \sqrt{K_R^0 P_{O_2} P^0} \rightarrow v = k \sqrt{K_R^0 P^0 P_{O_2}^{3/2}} \quad \text{L'ordre partiel en } O_2 \text{ est } 3/2$

13) La distance Terre-Soleil ne représente que **4 millièmes** de la distance Soleil-Proxima du Centaure.

14-15 & 17) L'image  $A_1B_1$  est située dans le plan **focal image** de  $L_1$ . Sa taille est  $\alpha f' = \frac{2R_E}{D_E} f' = 39 \text{ nm}$



16) On a  $\frac{O_2M'}{O_2F'_1} = 4$  que l'on reporte dans la formule de Descartes afin d'obtenir  $\overline{O_2M'} = -3f'_2$

Ainsi,  $\frac{-3f'_2}{O_2O_1+f'_1} = 4 \rightarrow \overline{O_1O_2} = f'_1 + \frac{3}{4}f'_2$  Ce qui correspond à 8 m moins 1,5 cm

18) La taille de  $A'B'$  était de  $0,16 \mu\text{m}$ , seul **un cristal** a noirci. L'apparence était "ponctuelle".

19) Chaque pixel est un carré de côté égal à  $2,9 \mu\text{m}$ , l'apparence reste "ponctuelle".

20) La puissance surfacique émise par une étoile évolue en  $\frac{1}{r^2}$ , en supposant que Proxima du Centaure émet la même puissance que le Soleil, la puissance surfacique reçue sur Terre en provenance de l'étoile vaut  $600 * \left(\frac{1,5 \cdot 10^8}{3,99 \cdot 10^{13}}\right)^2 \sim 8,5 \cdot 10^{-9} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow 1,7 \text{ nW}$  entre dans le dispositif ( $S = \frac{\pi D_1^2}{4}$ ). Au cours de l'exposition,  $1,2 \mu\text{J}$  pénètre dans le capteur. Or chaque photon véhicule une énergie ( $\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda_{obs}}$ ) égale à  $3,3 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow 3,6 \cdot 10^{12}$  photons entrent et l'ordre de grandeur de la charge produite est  $-2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ .

On peut faire l'hypothèse plus raisonnable qu'il y a égalité des puissances surfaciques émises (Poynting) à la surface des étoiles (même température - loi de Stefan) : Le rapport des rayons au carré intervient et finalement la charge vaut environ  $-4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ .

[En réalité, Proxima du Centaure émet principalement dans l'infra rouge ( $T \sim 3 \cdot 10^3 \text{ K}$ ). La puissance émise dans le visible ne représente que 0,006 % de celle du Soleil : La charge serait plutôt de l'ordre de  $10^{-11}$  à  $10^{-10} \text{ C}$ ]

21) Le diamètre angulaire de la tache centrale de diffraction vaut  $3 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$  ( $\frac{2,44 \lambda_{obs}}{D_1}$ )  $\rightarrow$  Dans le plan focal de  $L_1$  la tache centrale a pour diamètre **une vingtaine de micromètres** :

La diffraction a pour conséquence une extension des images sur la plaque ou le capteur.

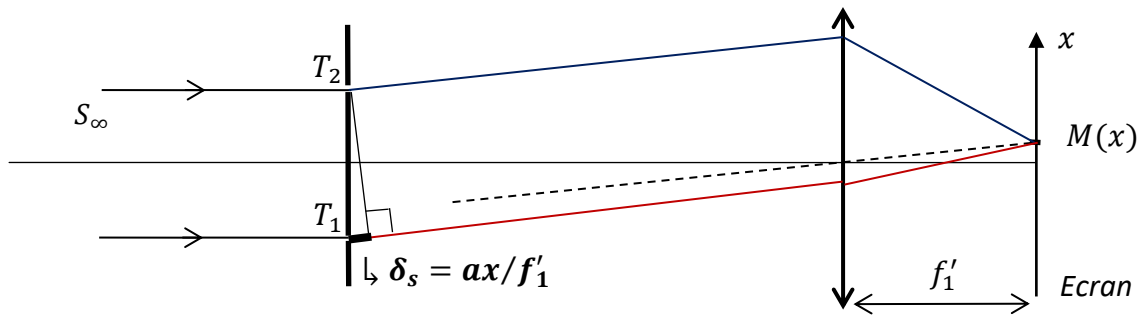
La gêne est somme toute secondaire car il n'est pas question ici de distinguer deux objets proches.

22)  $P_E = \frac{2D_{TS}}{D_E} \rightarrow D_E = \frac{2D_{TS}}{P_E} = 4,01 \cdot 10^{13} \text{ km}$  Avec  $P_E = 1,545 * \frac{\pi}{180 \cdot 3600} \text{ rad}$

23) La distance Terre-Soleil varie car la trajectoire de la Terre dans  $\mathcal{R}_{Hélio}$  est **elliptique** ... ?!

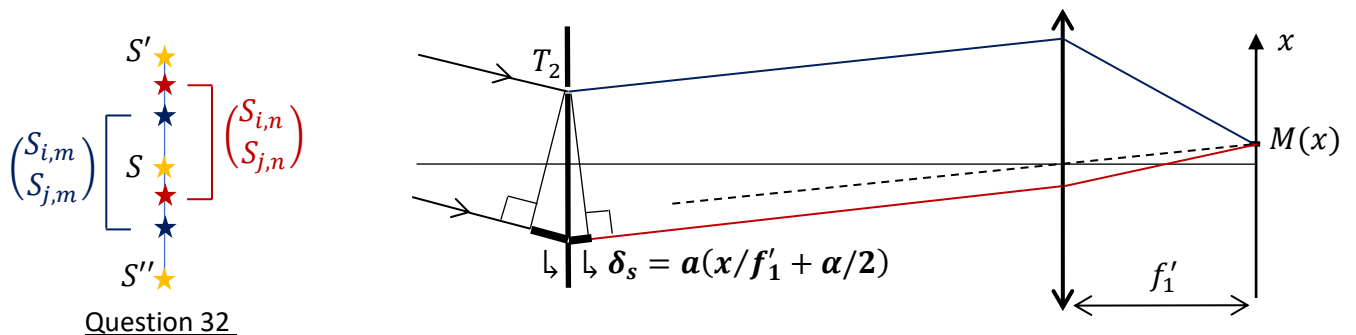
24-27)  $p_S(M) = \frac{ax}{\lambda_{obs} f'_1} \rightarrow I(M) = I_0(1 + \cos(2\pi p_S(M)))$

La figure est constituée de franges **rectilignes** perpendiculaires à l'axe  $x$ .



28-31)  $p_{S'}(M) = \frac{a}{\lambda_{obs}} (x/f'_1 + \alpha/2)$  Il y a brouillage dès que  $p_{S'}(M) - p_S(M) = \frac{1}{2} \quad (I(M) = 2I_0 \quad \forall M)$

$\rightarrow a_{min} = \frac{\lambda_{obs}}{\alpha} = 121 \text{ m}$  C'est très grand mais c'est possible grâce à la combinaison des quatre télescopes principaux du VLT (Fleuret de l'Astronomie Européenne).



32) Si  $p_{S'}(M) - p_S(M) = \frac{1}{2}$ , il est alors possible de décrire la totalité de l'étoile avec des couples de points sources  $(S_i, S_j)$  tels que la différence  $p_{S_i}(M) - p_{S_j}(M) = \frac{1}{2} \rightarrow I(M) = 2I_0 \quad \forall M$  et  $\forall (S_i, S_j)$

L'intensité totale étant **la somme des intensités** données par chaque couple, le brouillage est assuré car **l'intensité totale est uniforme**.

33)  $\vec{\Delta} \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \rightarrow -k^2 + \mu_0 \epsilon_0 \omega^2 = 0 \rightarrow \frac{\omega}{k} = v_\varphi = c$  La propagation est **non dispersive**.

34 & 35)  $\vec{B}_i = \frac{\vec{e}_x \wedge \vec{E}_i}{c} = \frac{E_0}{c} \exp(j(\omega t - kx)) \vec{e}_z \quad \langle \vec{\Pi}_i \rangle = \frac{1}{2} \mathcal{R}e \left( \frac{\vec{E}_i \wedge \vec{B}_i^*}{\mu_0} \right) = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$  Avec  $E_0^2 = \underline{E}_0 \underline{E}_0^*$

36)  $\vec{\Delta} \vec{E}_t - \mu_0 \gamma \frac{\partial \vec{E}_t}{\partial t} = \vec{0}$  Car  $\gamma \gg \epsilon_0 \omega$  dans le domaine visible-infrarouge ( $\omega < 5.10^{15} \text{ rad.s}^{-1}$ )

[Le sujet ne pose aucune question sur la validité de la loi d'Ohm  $\vec{j} = \gamma \vec{E}$ . C'est plutôt gênant à de telles fréquences ... Nous supposons donc que la loi d'Ohm est vérifiée !]

37)  $-k_m^2 - j\omega\mu_0\gamma = 0 \rightarrow \underline{k}_m = \frac{1-j}{\delta}$

Avec  $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\gamma}}$ , distance caractéristique de pénétration de l'onde (épaisseur de peau).

38) Il faut que  $a \gg \delta$ ,  $a = 10\delta$  est suffisant ( $e^{-10} \sim 5.10^{-5}$ ) :  $a \sim 6.10^{-8} \text{ m} \rightarrow m \sim 0,1 \text{ kg}$

39) **Erreur d'énoncé** : La figure ne représente pas la norme du vecteur de Poynting moyen car celle-ci serait uniforme pour  $x < 0$  \*. La valeur moyenne de la densité d'énergie électrique aurait cette allure, pas la norme du vecteur de Poynting moyen. En fait, la courbe représente la densité de probabilité de présence lors du franchissement d'une barrière de potentiel par **effet tunnel**. C'est la situation analogue demandée !

On peut quand même faire l'effort d'exprimer quelques idées au-delà de  $x = a$  et entre  $x = 0$  et  $x = a$  :

Pour  $x > a$ , une onde est transmise avec  $\langle \|\vec{\Pi}_t\| \rangle = (1 - R)\langle \|\vec{\Pi}_i\| \rangle = T\langle \|\vec{\Pi}_i\| \rangle$

(Autre erreur moins grave, ce n'est même pas  $\langle \|\vec{\Pi}\| \rangle$  qui semblait être tracé mais  $\langle \|\vec{\Pi}\| \rangle / \langle \|\vec{\Pi}_i\| \rangle$  ...)

Pour  $0 < x < a$ , la norme du vecteur de Poynting moyen décroît en " $\exp\left(-\frac{2x}{\delta}\right)$ "

\*  $\vec{E} = \vec{E}_i + \vec{E}_r = E_0 \vec{e}_y [\cos(\omega t - kx) + r \cos(\omega t + kx + \varphi)] \quad \vec{B} = \frac{E_0}{c} \vec{e}_z [\cos(\omega t - kx) - r \cos(\omega t + kx + \varphi)]$

$\vec{\Pi} = \frac{E_0^2}{\mu_0 c} \vec{e}_x [\cos^2(\omega t - kx) - r^2 \cos^2(\omega t + kx + \varphi)] \rightarrow \langle \|\vec{\Pi}\| \rangle = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c} (1 - r^2)$  Uniforme

40) Lors du choc d'un photon d'énergie  $\mathcal{E}$  sur la voile, en incidence normale, la variation de son impulsion est  $-\frac{2\mathcal{E}}{c} \vec{e}_x$ . Si  $dN$  photons cognent la voile pendant  $dt$ , la force créée sur la voile d'après la troisième loi

de Newton est  $\frac{2\mathcal{E}dN}{cdt} \vec{e}_x$ . Or  $\frac{\mathcal{E}dN}{dt}$  correspond à la fraction de puissance moyenne incidente concernée par

la réflexion :  $\frac{\mathcal{E}dN}{dt} = R\langle \|\vec{\Pi}_i\| \rangle S \rightarrow \vec{F} = \frac{2R\langle \|\vec{\Pi}_i\| \rangle S}{c} \vec{e}_x \rightarrow F \sim 3.10^{-4} \text{ N}$

Cela peut sembler faible, mais il ne faut pas oublier qu'en l'absence de frottement, une masse de  $1 \text{ kg}$  poussée par une force de l'ordre de  $3.10^{-4} \text{ N}$  atteint au bout d'une heure la vitesse de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ .

Au bout d'un mois  $v = 8.10^2 \text{ m.s}^{-1}$  ( $\sim 3000 \text{ km.h}^{-1}$ ) !

Sur des missions très longues, la voile solaire est un mode de propulsion très efficace.

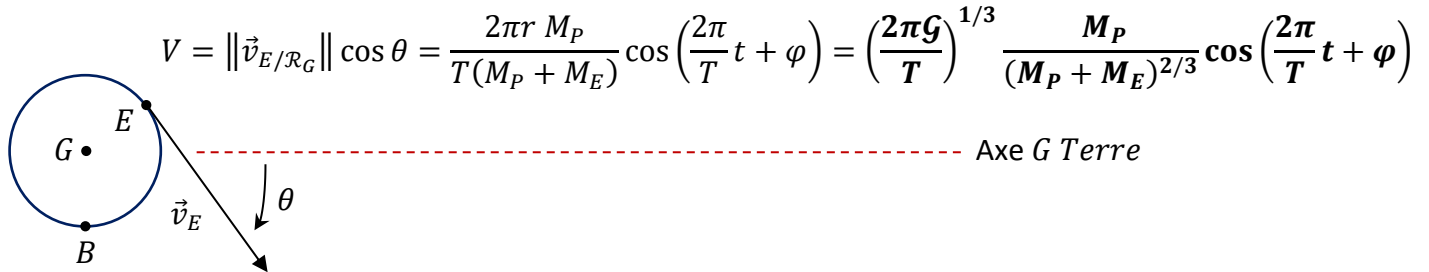
41) Il suffit de remplacer **A** par **P** dans la première relation. Si  $M_E \gg M_P$ , on retrouve bien  $G = E$ .

42 & 43)  $M_P \frac{d^2 \vec{GF}}{dt^2} = -\frac{G M_P M_E}{r^3} \vec{r} \rightarrow \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = -\frac{G(M_P + M_E)}{r^3} \vec{r}$  Si le point  $F$  a un mouvement circulaire

de période  $T$ , alors  $\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = -r\dot{\theta}^2 \vec{e}_r = -\dot{\theta}^2 \vec{r} = -\frac{4\pi^2}{T^2} \vec{r} \rightarrow \frac{r^3}{T^2} = \frac{G(M_P + M_E)}{4\pi^2}$  **3° Loi de Kepler**

44) D'après la deuxième relation,  $\vec{GE} = -\frac{M_P}{M_P+M_E} \vec{GF}$  : Les points  $E$  et  $F$  tournent à la même vitesse angulaire, dans le même sens, le rayon de la trajectoire de  $E$  est égal à  $\frac{M_P r}{M_P+M_E}$ , sa vitesse est  $\frac{2\pi r M_P}{T(M_P+M_E)}$

45) On se place dans le cas le plus favorable ( $i = \frac{\pi}{2}$ ). La vitesse  $V$  intervenant dans la relation Doppler-Fizeau est la projection de la vitesse de  $E$  par rapport à la Terre sur l'axe  $G$  Terre ( $V > 0$  si  $E$  se rapproche de la Terre). Nous allons dans un premier temps négliger la vitesse de  $G$  par rapport à la Terre, ainsi :



Outre le choix  $i = \frac{\pi}{2}$  déjà signalé, l'excentricité nulle dans notre étude est une autre différence d'approche.

Surtout, il semblerait que la formule du Professeur Bouchy ne s'applique **qu'en B** ( $\cos \theta = -1$ ).

Par contre, la proposition du Professeur est conforme à notre hypothèse  $\vec{v}_{E/terre} \sim \vec{v}_{E/\mathcal{R}_G}$ .

46) On retrouve bien la variation "sinusoïdale" attendue, associée à une dérive due au déplacement de  $G$ .

La pseudo période est  $T \sim 11$  jours et l'amplitude vaut environ  $6,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \left(\frac{2\pi\mathcal{G}}{T}\right)^{1/3} \frac{M_P}{(M_P+M_E)^{2/3}} \rightarrow$

$\left(\frac{2\pi\mathcal{G}}{T}\right)^{1/3} \frac{M_P}{M_E^{2/3}} \sim 1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow M_P \sim 8,6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  Soit environ **1,4 masse terrestre**.