

1) Lecture fig 3 : $f_1 = 1500 \text{ Hz}$

Le pic 2 est à -50 dB du pic 1
donc : $-50 = 20 \log \frac{a_2}{a_1}$

soit $a_2 = a_1 10^{-5/2} = a_1 10^{-(3+1/2)}$

$a_2 = a_1 10^{-3} 10^{-1/2} = a_1 3,16 \cdot 10^{-3}$

$a_2 = 100 \times 3,16 \cdot 10^{-3} \text{ mV}$

$a_2 = 0,316 \text{ mV}$

2) f_2 est la fréquence maximale du spectre de la fig 3.

D'après la condition de Shannon il faut que $f_e \geq 2f_2$

Lecture fig 3 : $f_2 = 3000 \text{ Hz}$

Donc $f_{e \min} = 6000 \text{ Hz}$

Période d'échantillonnage $T_e = 1/f_e = \frac{1}{6000} \text{ s}$

Enoncé : "la résolution spectrale, notée δf , est l'inverse de la durée d'acquisition du signal".

ce qu'on traduit par $\delta f = \frac{1}{T_a}$

d'où $T_a = \frac{1}{\delta f} = \frac{1}{100} = 10 \text{ ms}$

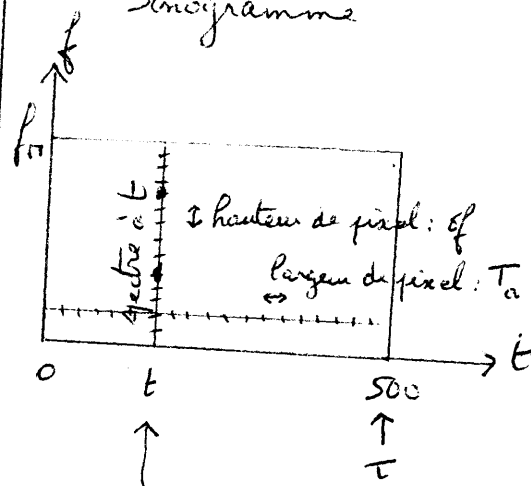
La résolution spectrale est δf signifie que le spectre va être calculé et donc tracé par pas de δf .

3) Ainsi la résolution spectrale ne dépend nullement de τ durée d'enregistrement puisque le spectre est calculé pendant une durée d'acquisition T_a totalement indépendante de τ .
(Une fois la durée d'acquisition fixée, on peut enregistrer sur une durée plus ou moins longue selon convenance)

On vient de voir que $\delta f = \frac{1}{T_a}$

ne δf ne dépend pas de τ
dépend de T_a

Sonogramme



Le spectre à t donné est représenté sur cette ligne (parallèle à l'axe des ordonnées f)
Il a été calculé tous les δf donc la hauteur du pixel (parallèle à l'axe ordonnée) est δf .

Il faut une durée T_a pour construire un spectre - les spectres sont représentés tous les T_a donc la largeur de pixel (parallèle à l'axe des abscisses t) est T_a .

On en déduit le :
nombre de pixels parallèles à l'axe ordonné : $\frac{f_1}{\delta f}$
nombre de pixels parallèles à l'axe abscisse : $\frac{\tau}{T_a}$

D'où le nombre de pixels sur la surface totale du sonogramme : $\frac{f_1}{\delta f} \cdot \frac{\tau}{T_a}$

AN $\frac{3500}{100} \cdot \frac{500}{10} = 35 \cdot 50 = 1750 \text{ pixels}$

4) Enoncé : $f'_1(t) = f_1 \left(1 - \frac{t}{\tau_d}\right)$ $\tau_d > 0$

Pendant l'enregistrement f'_1 décroît donc.
 f'_1 doit rester positif soit $f'_{1 \min} = 0$
ou $f'_1(t) \geq 0 \quad \forall t$

donc $1 - \frac{t}{\tau_d} \geq 0 \quad \forall t$ soit $t \leq \tau_d$

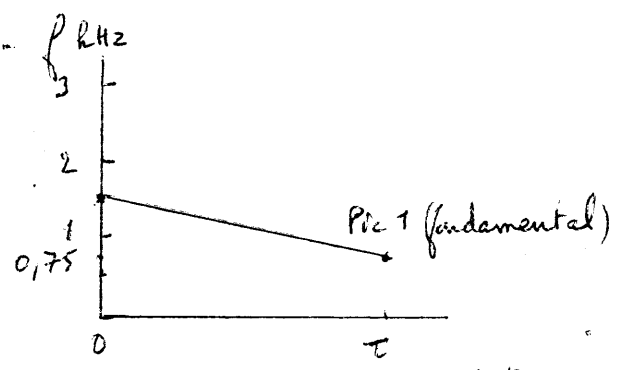
La durée d'enregistrement τ ne doit pas excéder τ_d : $\tau \leq \tau_d$

Dans l'intervalle $[0 ; 0,5\tau_d]$ on a $\tau = 0,5\tau_d$
(on a bien $\tau \leq \tau_d$)

on a $f'_{1 \min} = f'_1(\tau) = f_1 \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d}\right) = f_1 \left(1 - \frac{1}{2}\right)$

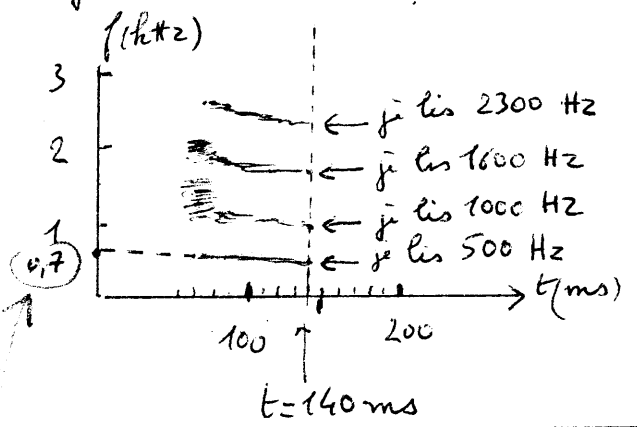
$f'_{1 \min} = \frac{1}{2} f_1 = \frac{1500}{2} = 750 \text{ Hz}$

rq 4) et 5) sont traitables indépendamment de 1 2 et 3



Je ne lis rien sur l'évolution de la fréquence du pic 2. Je ne trace donc que le pic 1.

5) Fig 5 reproduite grossièrement :



A $t = 140$ ms on lit

$f_{g,1}$	= 500 Hz
$f_{g,2}$	= 1000 Hz
$f_{g,3}$	= 1600 Hz
$f_{g,4}$	= 2300 Hz

Pour le pic 1, à $t = 0$, par extrapolation (cf pointillés) je lis $f_i = 700$ Hz

→ La pente = $-\frac{f_i}{\tau_g} = \frac{500 - 600}{140 - 70} = -\frac{100}{70} = -\frac{10}{7}$

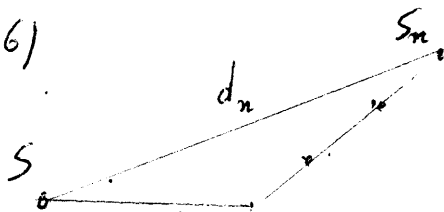
↑ ↑
en ms en ms

d'où $\tau_{g \text{ en ms}} = \frac{7}{10} \times 700$

$\tau_g = 490$ ms ou approximativement
 $\tau_g \approx 500$ ms car les valeurs lues sont peu fiables dans leur lecture.

(Pour le calcul de la pente, j'ai choisi les points 70 ms → 600 Hz lu
140 ms → 500 Hz lu
(La courbe dérivée est $f_i = f_i (1 - \frac{t}{\tau_g})$)

6)



Propagation: $\psi(S_n, t) = \psi(S, t) e^{-i \frac{2\pi}{\lambda} d_n}$

$$\psi(S_n, t) = s e^{-i \frac{2\pi}{\lambda} d_n}$$

Enoncé: $\psi'(S_n, t) = k \psi(S_n, t)$

Propagation: $\psi'(S, t) = \psi'(S_n, t) e^{-i \frac{2\pi}{\lambda} d_n}$

$$\psi'(S, t) = k e^{-i \frac{2\pi}{\lambda} d_n} s$$

7) $\phi'_n(t) = 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda} d_n$; avec $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ et

$$c_s = \frac{\omega}{k} \text{ on a } \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_s}$$

$$\phi'_n(t) = 2 \frac{\omega}{c_s} d_n$$

8) Superposition constructive $\Leftrightarrow$

$$\Delta \phi'_n = 2m\pi \text{ où } m \in \mathbb{Z}$$

$$\rightarrow \frac{2\omega_n}{c_s} (d_n - d_{n+1}) = 2m\pi$$

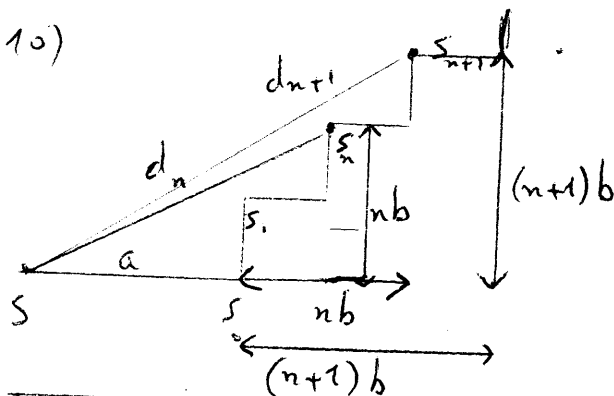
$$\text{Or } \omega = 2\pi\nu$$

$$\text{d'où } \nu_n = \frac{m c_s}{2(d_n - d_{n+1})} \quad m \in \mathbb{Z} \text{ nécessairement } m < 0 \text{ car } d_n < d_{n+1}$$

si on prend $m \in \mathbb{N}$ alors

$$\nu_n = \frac{m c_s}{2(d_{n+1} - d_n)} \quad m \in \mathbb{N}$$

10)



$$d_n = \sqrt{n^2 b^2 + (a + nb)^2}$$

$$d_n^2 = n^2 b^2 + (a + nb)^2 \quad (3)$$

$$d_{n+1}^2 = (n+1)^2 b^2 + (a + (n+1)b)^2$$

$$d_{n+1}^2 - d_n^2 = (2n+1)b^2 + b(2a + 2nb + b)$$

(en utilisant $a^2 - b^2 = (a+b)(a-b)$)

(J'ai été tentée de faire un d.l; me suis posée la question jusqu'à quel ordre en $\frac{b}{a}$. Ayant tenté ordre 1 en $\frac{b}{a}$ je n'ai pas abouti à $g(n)$ car n disparaît; j'ai alors cherché une autre méthode).

$$\nu_m = \frac{m c_s}{2(d_{n+1} - d_n)} \quad \text{Enoncé}$$

$$\text{or } d_{n+1}^2 - d_n^2 = (d_{n+1} - d_n)(d_{n+1} + d_n) \approx 2d_n(d_{n+1} - d_n)$$

$$\text{d'où } \frac{1}{d_{n+1} - d_n} = \frac{2d_n}{d_{n+1}^2 - d_n^2} = \frac{2d_n}{(2n+1)b^2 + b(2a + 2nb + b)}$$

$$m=1: \nu_1 = \frac{c_s d_n}{(2n+1)b^2 + b(2a + 2nb + b)}$$

$$\text{soit } \nu_1 = \frac{c_s d_n}{2ab \left(1 + \frac{nb}{a} + \frac{b}{2a} + \frac{b}{a} \left(n + \frac{1}{2}\right)\right)}$$

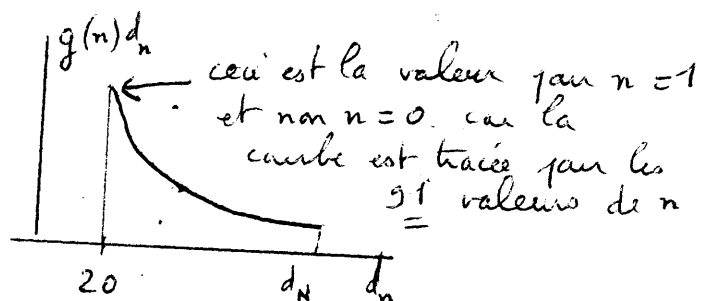
$$\nu_1 = \frac{c_s d_n}{2ab \left(1 + \frac{b}{a} + \frac{2nb}{a}\right)}$$

$$\text{Enoncé } \nu_1 = \frac{c_s d_n}{2ab} g(n)$$

$$\text{d'où } g(n) = \frac{1}{1 + \frac{b}{a} + \frac{2nb}{a}}$$

11) Enoncé à côté fig. 6 $\left| \begin{array}{l} a = 20 \text{ m} \\ b = 26,3 \text{ cm} \\ N = 31 \end{array} \right.$

$$d_0 = a = 20 \text{ m (absolu)}$$



$\Delta g(n)d_n \neq \text{cte}$, la courbe le montre!

Comme $g(n) d_n \approx v_1 \frac{2ab}{c}$ cela veut dire que v_1 évolue, ce que la lecture de la question 12 confirme.

Énoncé : on a représenté $g(n) d_n$ par les 91 valeurs de n ce qui veut dire que d_{g_1} est la dernière valeur du graphique.

lecture $d_{g_1} = 50 \text{ m}$

$$t_1 = \frac{2d_1}{c_s} \approx \frac{2d_0}{c_s} \quad (\text{J'approxime } d_1 \approx d_0)$$

$$t_N = \frac{2d_N}{c_s} = \frac{2 \times 50}{c_s} \leftarrow \text{lue sur fig 7}$$

$$\text{AN} : t_1 = \frac{2 \times 20}{340} = \frac{4}{34} = \frac{2}{17} = 0,12 \text{ s}$$

$$t_N = \frac{100}{340} = 0,29 \text{ s}$$

L'écho dure $t_N - t_1 = 0,29 - 0,12 = 0,17 \text{ s}$

$$12) v_1(t_1) = \frac{c_s}{2ab} g(1) d_1 = \frac{340}{2 \times 20 \times 0,263} \times 19,5$$

$$v_1(t_1) = \frac{17 \times 19,5}{2 \times 0,263} = 650 \text{ Hz}$$

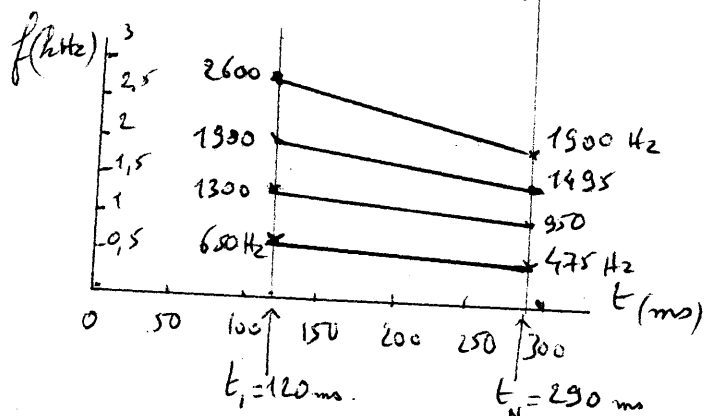
$$v_1(t_N) = \frac{340}{2 \times 20 \times 0,263} \times 14,7 = \frac{17 \times 14,7}{2 \times 0,263}$$

$$v_1(t_N) = 475 \text{ Hz}$$

13) Feuille réponse

$$t_1 = 120 \text{ ms} \quad v_1(t_1) = 650 \text{ Hz}$$

$$t_N = 290 \text{ ms} \quad v_1(t_N) = 475 \text{ Hz}$$



$$\text{if } 9) v_m = m v_1 \\ v_2 = 2 v_1 \Rightarrow v_2(t_1) = 2 \times 650 = 1300 \text{ Hz à } t_1 \\ v_2(t_N) = 2 \times 475 = 950 \text{ Hz à } t_N$$

$$v_3 = 3 v_1 \Rightarrow 3 \times 650 = 1950 \text{ Hz à } t_1 \\ 3 \times 475 = 1425 \text{ Hz à } t_N$$

$$v_4 = 4 v_1 \Rightarrow 4 \times 650 = 2600 \text{ Hz à } t_1 \\ 4 \times 475 = 1900 \text{ Hz à } t_N$$

14) Fig 5 cf question 5)
on lit au début du chant de l'oiseau

$$f_1 = 600 \text{ Hz} \\ f_2 = \text{gros péte entre 1100 et 1700 Hz} \\ f_3 = \text{péte entre 1800 et 2100 Hz} \\ f_4 = 2500 \text{ Hz}$$

À la fin du chant on lit

$$f_1 = 500 \text{ Hz} \\ f_2 = 1000 \text{ Hz} \\ f_3 = 1600 \text{ Hz} \\ f_4 = 2300 \text{ Hz}$$

Les 2 sonogrammes se ressemblent, il y a le même ordre de grandeur. L'écart fréquentiel est notable en fin de chant par les harmoniques 3 et 4 qui sont plus élevées dans la réalité.

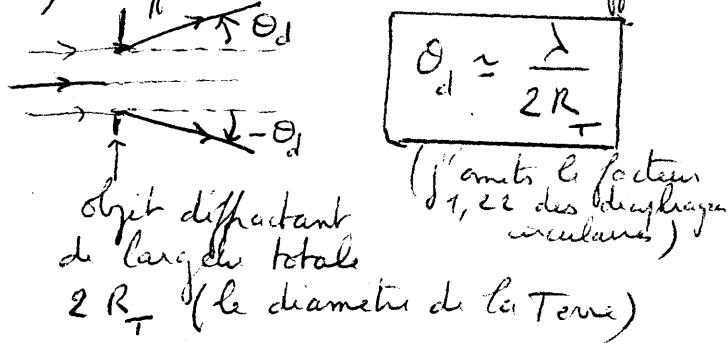
Pour un oiseau adulte, il faudrait savoir quelle différence il y a entre le chant d'un jeune et d'un adulte. En partant que l'adulte a un chant plus grave, cela pourrait rejoindre le sonogramme prédit par la diffraction.

15) Enoncé : entre ② et ③ de fig 8b
càd lorsque la lune est entièrement
plongée dans l'ombre de la Terre,
elle est nettement visible dans le ciel!
La photo fig 9 correspond à une
éclipse totale.

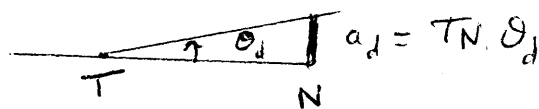
On a donc comme possibilités ① ② ③ ④
En positions ① et ④ la lune est
dans la pénombre totalement. Donc
on la voit totalement.
Or la photo fig 9 montre la lune
seulement visible sur la gauche
mais noire sur la droite.

La position est donc ③ puisque
la partie gauche est plus près de
la zone de pénombre où la lumière
refait son apparition selon l'optique
géométrique.

16) Rappel du cours sur la diffraction

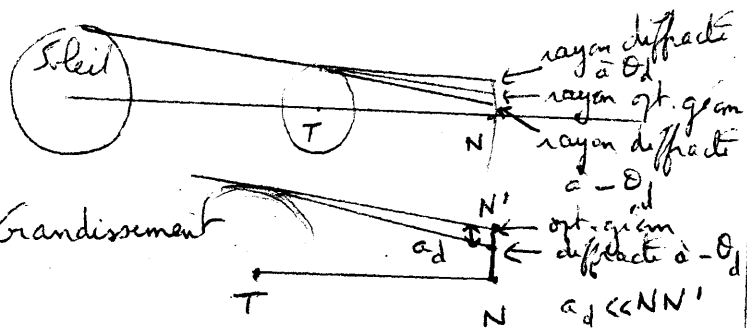


AN : $\theta_d = \frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{2 \times 6,37 \times 10^6} \approx 10^{-13} \text{ rad}$



$a_d \approx 10^{-13} \cdot 3,84 \times 10^8 \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

bien très petit pour un effet visible



A la lecture de ce qui suit, ⑤
les sources d'éclairage du disque
semblent être la présence d'atmosphère
qui va diffuser la lumière.

Note : la diffusion lumineuse n'est pas
au programme. Mais il est bon de
connaître ce que ça signifie. C'est
la déviation dans toutes les directions,
de la lumière, par des particules.

17) Enoncé : air = GP $\rightarrow pV = nRT$
ou $p = \frac{p_a RT}{M}$ soit $p_a = \frac{pM}{RT}$

Enoncé : $T = \text{cte}$

Hydrostat : $dp = -\rho g dz$ (z ascendant)
donc $dp = -\frac{pM}{RT} g dz$

d'où $\frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{RT} dz$

Intégrer à $T = \text{cte}$: $p = p_0 e^{-\frac{Mg}{RT} z}$
 p étant proportionnel à ρ (à T cte)
cela donne aussi $p_a = p_a(0) e^{-\frac{Mg}{RT} z}$

Avec $H_c = \frac{RT}{Mg}$ $p_a = p_a(0) e^{-\frac{z}{H_c}}$

AN $H_c = \frac{8,31 \cdot (273 + 20)}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8} \approx \frac{8,31 \cdot 300}{30 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = \frac{8300}{3} \text{ m}$

18) $p_a(0) = \frac{p(0) M_a}{RT} = \frac{10^5 \cdot 29 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot (273 + 20)} \approx \frac{30 \cdot 10^2}{8,31 \cdot 300} = \frac{10}{8,31}$

$p_a(0) \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$

$p_a(h) = 1,2 e^{-\frac{8848}{8300}} \approx 1,2 \cdot 0,4 = \frac{1,2}{3} = 0,4$

$p_a(h) = 0,4 \text{ kg/m}^3$

Enoncé : on passe de 20°C à -23°C
ce qui fait une variation de presque
 50°C (43°C) ou 50 K sur une
 T initiale de $20 + 273 \approx 300 \text{ K}$

Soit une variation relative de $\frac{50}{300} = \frac{1}{6}$
soit 16% ce qui est en dessous
des 20% autorisés d'après l'énoncé.

La question est venant : retravailler
à 321 hPa par le modèle isoT ?

$$p_0 e^{-\frac{h}{H}} = 1 \cdot e^{-1} = \frac{1}{3} \text{ bar} = 333 \text{ hPa}$$

au lieu de 321 hPa dans la réalité

$$\text{cela fait } \frac{333-321}{321} \approx \frac{10}{300} = \frac{1}{30} = 3\%$$

d'erreur entre le modèle isoT et la réalité. c'est très peu.

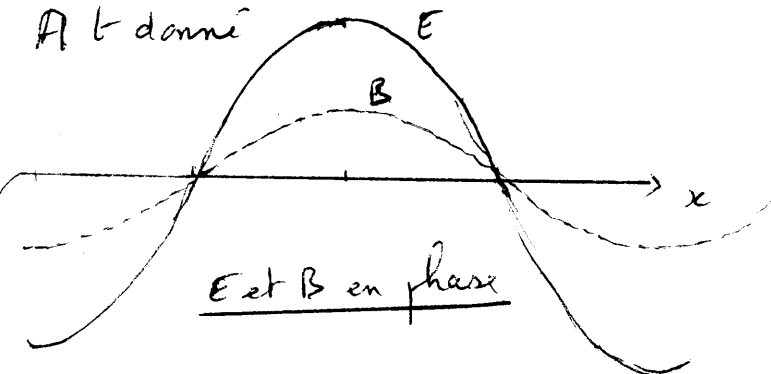
Le modèle isoT est donc un très bon modèle. Il est réaliste.

19) $\vec{E} = E_m \cos(\omega t - kx) \vec{e}_y$

onde plane dans le vide : $\vec{B} = \frac{\vec{e}_z \wedge \vec{E}}{c}$

$$\rightarrow \vec{B} = \frac{E_m \cos(\omega t - kx)}{c} \vec{e}_z \rightarrow B_m = \frac{E_m}{c}$$

A t donné



$$20) \vec{R} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} = \frac{E_m^2 \cos^2(\omega t - kx)}{\mu_0 c} \vec{e}_x \wedge \vec{e}_y$$

donc $\vec{R} = \frac{E_m^2 \cos^2(\omega t - kx)}{\mu_0 c} \vec{e}_x$

I_0 représente $\langle R \rangle$ (en kW/m² soit puissance rayonnée)

on $\langle R \rangle = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c}$ donc $I_0 = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c}$

$$E_m = \sqrt{2\mu_0 c I_0}$$

AN $E_m = \sqrt{2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^8 \times 10^3} = 10^3 \sqrt{60}$

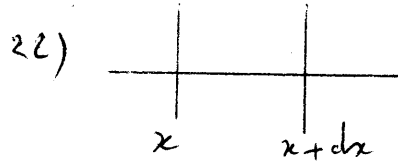
$E_m = 760 \text{ V/m}$

21) Énoncé "chaque photon absorbe $T_p = h_p I$ "

g_a : nb molécules / volume $\Rightarrow \rho_a = g_a m$
 ρ_a : masse volumique $\left\{ \begin{array}{l} \text{masse d'une molécule} \\ \text{masse molaire} \end{array} \right.$

on $m_{\text{molécule}} = \frac{M}{N} \left\{ \begin{array}{l} \text{masse molaire} \\ N \leftarrow \text{nb Avogadro} \end{array} \right.$

donc $g_a(0) = \rho_a(0) \frac{N}{M}$



Énoncé : "le gaz a pour effet de diffuser réduisant ainsi la présence transportée par l'onde".

Sur une section S donnée :

$$S[I(x+dx) - I(x)] = -T_a g_a S dx - T_p g_p S dx$$

S s'élimine :

$$dI = - \left[h_a \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^4 g_a(x) + h_p g_p(x) \right] I dx$$

23) Intégrer ; Δg_a et g_p dépendent de x

$$\frac{dI}{I} = - h_a \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^4 g_a(x) dx - h_p g_p(x) dx$$

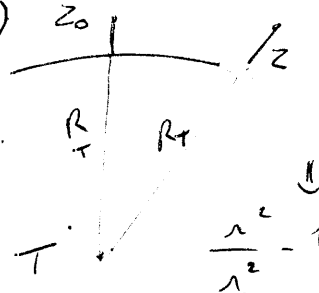
$$\int_{I(0)}^I \frac{dI}{I} = - h_a \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^4 \int_{x=0}^{x=x} g_a(x') dx' - h_p \int_0^x g_p(x') dx'$$

plus rigoureusement on met une variable z' ou S comme suggéré

$$\ln \frac{I}{I(0)} = - h_a \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^4 \int_0^x g_a(S) dS - h_p \int_0^x g_p(S) dS$$

$I(x) = I(0) \exp^{-d(x)}$ avec $d_0(x) = h_a \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^4 \int_0^x g_a(S) dS + h_p \int_0^x g_p(S) dS$

24) L'atmosphère terrestre réfracte du fait de l'indice de l'air qui varie.

25) z_0  $\lambda^2 = (R_T + z)^2$
 $\lambda_0^2 = (R_T + z_0)^2$
 $\frac{\lambda^2}{\lambda_0^2} - 1 = \frac{\lambda^2 - \lambda_0^2}{\lambda_0^2}$
 $\frac{\lambda^2}{\lambda_0^2} - 1 = \frac{(R_T + z)^2 - (R_T + z_0)^2}{\lambda_0^2} = \frac{(2R_T + z + z_0)(z - z_0)}{\lambda_0^2}$
 $= \frac{(2R_T + z + z_0)u}{(R_T + z_0)^2} \approx \frac{2R_T}{R_T^2} u = \frac{2u}{R_T}$

$$\sqrt{\frac{\lambda^2}{\lambda_0^2} - 1} \approx \sqrt{\frac{2u}{R_T}}$$

Enoncé : $n = 1 + \sum \frac{f_a(z)}{f_a(0)}$

(rq: $\sum$ est une constante n λ l'est)

différentier $\rightarrow \boxed{dn = \sum \frac{df_a}{f_a(0)}}$

On $f_a(z) = f_a(0) e^{-\frac{z}{H_c}}$

Différentiation : $df_a = f_a(0) \left(-\frac{1}{H_c}\right) e^{-\frac{z}{H_c}} dz$

Or comme $u = z - z_0$ on a $du = dz$

donc $df_a = f_a(0) \left(-\frac{1}{H_c}\right) e^{-\frac{z}{H_c}} du$

ce que je peux aussi écrire

$df_a = f_a(0) e^{-\frac{z-z_0}{H_c}} e^{-\frac{z_0}{H_c}} \left(-\frac{1}{H_c}\right) du$

par fait apparaît $f_a(z_0)$

ainsi $\boxed{df_a = -f_a(z_0) e^{-\frac{u}{H_c}} \frac{du}{H_c}}$

26) Enoncé : $\Theta_d(z_0, \lambda) = 2 \int_1^{n_0} \left\{ \frac{\lambda^2}{\lambda_0^2} - 1 \right\}^{-\frac{1}{2}} dn$

On $\left(\frac{\lambda^2}{\lambda_0^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{2u}{R_T}}$ (cf 25)

donc $\Theta_d = 2 \int_1^{n_0} \sqrt{\frac{R_T}{2u}} du$

cf 25 $\rightarrow \begin{cases} dn = \sum \frac{df_a}{f_a(0)} \\ df_a = -f_a(z_0) e^{-\frac{u}{H_c}} \frac{du}{H_c} \end{cases}$

donc $\Theta_d = 2 \int_{n=1}^{n_0} \sqrt{\frac{R_T}{2u}} \frac{\sum f_a(z)}{f_a(0)} \left(-\frac{f_a(z_0)}{f_a(0)}\right) e^{-\frac{u}{H_c}} \frac{du}{H_c} \quad (7)$

Posons $v = \frac{u}{H_c}$ alors $dv = \frac{du}{H_c}$ et

$\Theta_d = 2 \int_{n=1}^{n_0} -\sqrt{\frac{R_T}{2}} \frac{\sum f_a(z)}{f_a(0)} \frac{f_a(z_0)}{f_a(0)} \frac{e^{-v} dv}{\sqrt{v} \sqrt{H_c}}$

Limites : quand $n=1$, étant donné que $n = 1 + \sum \frac{f_a(z)}{f_a(0)}$, c'est que $f_a(z) = 0$

Or $f_a(z) = f_a(0) e^{-\frac{z}{H_c}}$, donc si $f_a(z) = 0$ c'est que $e^{-\frac{z}{H_c}} = 0$, soit $z \rightarrow +\infty$

Comme $u = z - z_0$ alors $u \rightarrow +\infty$

Comme $v = \frac{u}{H_c}$ alors $v \rightarrow +\infty$

Par l'autre limite : $n = n_0 \stackrel{\text{Enoncé}}{=} n(z_0)$ donc $z = z_0$

donc $u = z - z_0 = 0$ donc $v = \frac{u}{H_c} = 0$

Ainsi $\Theta_d = 2 \int_{v=0}^{v=\infty} -\sqrt{\frac{R_T}{2H_c}} \frac{\sum f_a(z)}{f_a(0)} f_a(z_0) \frac{e^{-v} dv}{\sqrt{v}}$

$\Theta_d = 2 \int_0^\infty \frac{e^{-v} dv}{\sqrt{v}} \cdot \sqrt{\frac{R_T}{2H_c}} \frac{\sum f_a(z)}{f_a(0)} f_a(z_0)$

énoncé $\sqrt{\pi}$

mais $f_a(z) = f_a(0) e^{-\frac{z}{H_c}}$ donc $\frac{f_a(z_0)}{f_a(0)} = e^{-\frac{z_0}{H_c}}$

d'où $\boxed{\Theta_d = 2 \sqrt{\frac{R_T \pi}{2H_c}} e^{-\frac{z_0}{H_c}} \sum f_a(z)}$

$\boxed{\Theta_d = \Theta(z_0) \sum f_a(z) \text{ avec } \Theta(z_0) = 2 \sqrt{\frac{R_T \pi}{2H_c}} e^{-\frac{z_0}{H_c}}}$

z_0 apparaît uniquement dans $e^{-\frac{z_0}{H_c}}$ par $\Theta(z_0)$

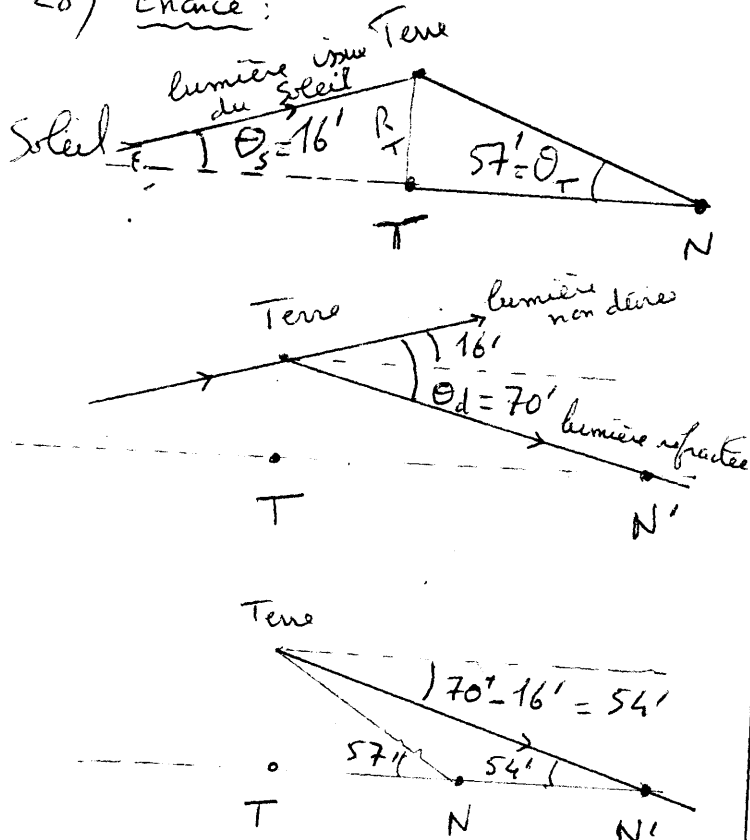
Or $e^{-\frac{z_0}{H_c}}$ est max quand $z_0 = 0$ (z_0 ne peut pas être négative)

donc $\boxed{z_m = 0}$

27) Si on travaille à z_0 constant et que on fait varier λ

$\Theta_d = \Theta(z_0) \sum f_a(z)$ conduit à $d\Theta_d = \Theta(z_0) d\sum f_a(z)$ soit $\boxed{\delta \Theta_d = \Theta(z_0) \delta \sum f_a(z)}$

28) Enoncé :



Comme la Terre est vue depuis N sous $\theta_r = 57' > 54'$ cela implique que N soit "à gauche" de N' (entre T et N')

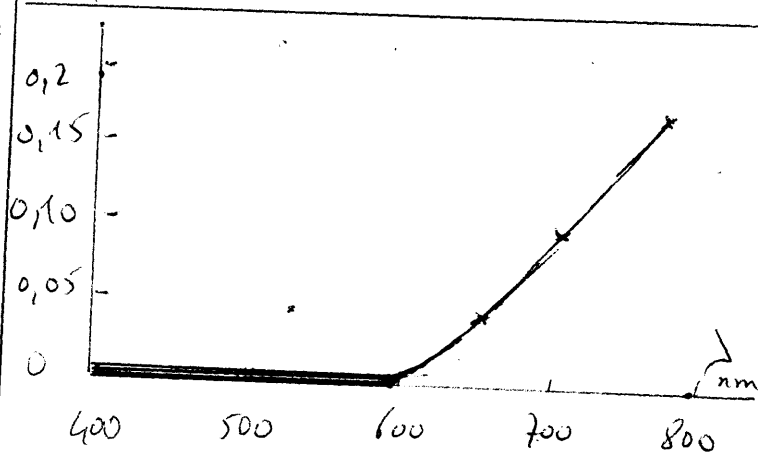
La lumière n'est donc pas assez réfractée pour atteindre le centre N de la Lune, mais l'écart est minime: $3'$; on peut penser que le rayon est suffisamment réfracté pour atteindre un point de la Lune.

(rq: on peut faire un calcul pour montrer qu'en effet le rayon atteindra un point de la Lune sachant que la Lune a un rayon R_L mais je ne pense pas que c'est utile de le faire)

Conclusion: l'atmosphère terrestre réfracte suffisamment la lumière solaire pour que la Lune soit finalement partiellement éclairée dans le cône d'ombre.

29)

λ	400	450	500	600	650	700	800
I_{λ}	1,7	2,0	1,8	1,75	1,6	1,4	1,28
$e^{-\tau}$	0	0	0	0,005	0,005	0,065	0,12
$I_{\lambda} e^{-\tau}$	0	0	0		0,04	0,091	0,16



aucune de ces couleurs n'est transmise

couleurs bien transmises



la Lune apparaît orangée