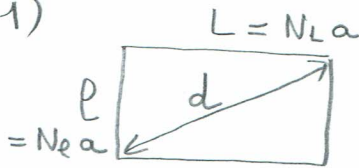


I - Etude du module photographique d'un smart phone

I.A - Etude du capteur de l'appareil photographique

1)



Soit  $a$  le côté d'un pixel carré

$$d^2 = l^2 + L^2$$

$$d^2 = N_L^2 a^2 + N_e^2 a^2$$

$$d^2 = (N_L^2 + N_e^2) a^2$$

On a donc  $a = \frac{d}{\sqrt{N_L^2 + N_e^2}} = \frac{\frac{1}{3} \times 25,5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{4000^2 + 3000^2}} = \underline{1,7 \mu\text{m}}$

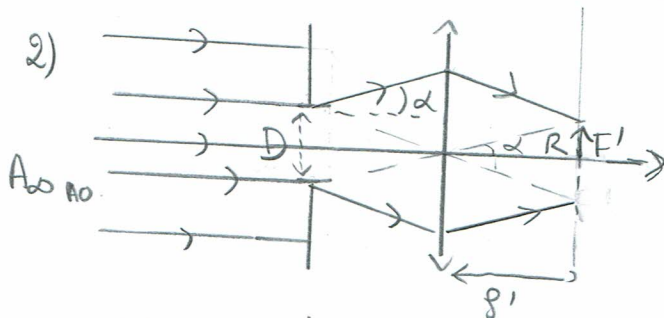
D'où les dimensions du capteur:

$$L = 4000 \times 1,7 \cdot 10^{-6} = 6,8 \text{ mm}$$

$$l = 3000 \times 1,7 \cdot 10^{-6} = 5,1 \text{ mm}$$

(j'en'avais pas vu qu'il fallait déterminer  $a$  dans un second temps).

2)



L'objet  $A$  étant à l'infini sur l'axe optique son image géométrique se forme en  $F'$ .

$\sin \alpha = \frac{\lambda}{D}$  avec  $\alpha =$  rayon angulaire de la tâche <sup>centrale</sup> de diffraction

La tâche principale de diffraction a donc dans le plan focal image un rayon  $R$  tel que:

$$\tan \alpha = \frac{R}{f'}$$

Dans les conditions de Gauss:  $\tan \alpha \approx \alpha$

$$\sin \alpha \approx \alpha$$

On peut donc écrire  $\frac{\lambda}{D} \approx \frac{R}{f'}$  soit  $R = \frac{\lambda f'}{D} = \lambda N$

Pour  $\lambda = 510 \text{ nm}$  (max de sensibilité de l'œil humain)

$R = 510 \cdot 10^{-9} \times 2,2 = \underline{1,1 \mu\text{m}}$  de l'ordre de la dimension d'un pixel

3) Le full HD nécessite moins de capacité mémoire que le 4K et pas sûr que la différence se voit au développement donc à moins de visionner les photos sur un écran avec la résolution adaptée, le 4K ne paraît pas utile en photo-amateur.

# I. B. Etude des aberrations géométriques dues à la lentille (2)

## de l'appareil photographique

4)

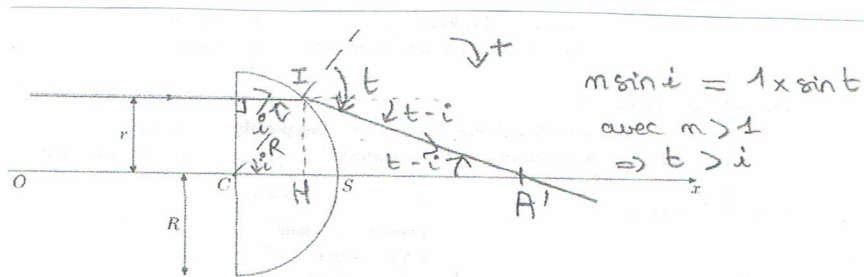


Figure A Modèle de la lentille demi-boule

Pour que le rayon sorte de la lentille il faut que  $0 \leq t < \frac{\pi}{2}$   
soit que  $n \sin i < \frac{1}{m}$

$$\text{On } \sin i = \frac{r}{R}$$

$$\Rightarrow \text{il faut que } \frac{r}{R} < \frac{1}{m} \quad \text{soit } \underline{r < \frac{R}{m} = r_0}$$

$$\underline{\text{AN}} \quad r_0 = \frac{4,010^{-3}}{1,52} = 2,6 \text{ mm.}$$

Le constructeur a choisi un rayon  $\frac{\Phi}{2} = 2,5 \text{ mm}$  inférieur à  $R = 4,0 \text{ mm}$ .

On ne doit pas avoir que des rayons émergents issus de rayons incidents proches de l'axe optique pour limiter les aberrations géométriques.

$$5) \quad \overline{CA'} = \overline{CH} + \overline{HA'} = R \cos i + \frac{HI}{\tan(t-i)} \quad \text{avec } HI = R \sin i$$

$$\underline{\overline{CA'} = R \cos i + \frac{R \sin i}{\tan(t-i)}}$$

6) Si  $r \rightarrow 0$  alors  $i \rightarrow 0$  et  $t \rightarrow 0$  :  $n \sin i = \sin t$  devient  $ni = t$

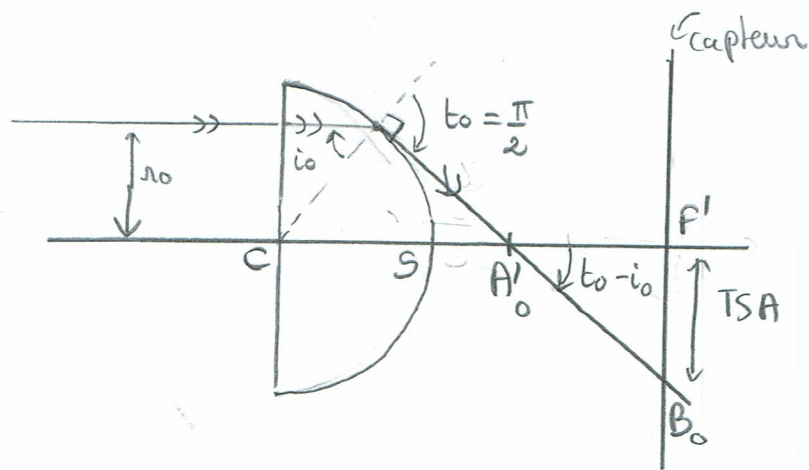
$$\overline{CF'} \simeq R + \frac{Ri}{t-i} = R + \frac{Ri}{ni-i} = R + \frac{R}{n-1}$$

$$\underline{\overline{CF'} = \frac{nR}{n-1}}$$

$$\underline{\text{AN}} \quad \overline{CF'} = \frac{1,52 \times 4 \cdot 10^{-3}}{1,52 - 1} = 1,2 \text{ cm.}$$

7) Si tous les rayons incidents parallèles à l'axe optique émergent de la lentille en passant par un même point  $F'$  alors le point objet  $A$  à l'infini sur l'axe optique et  $F'$  sont stigmatiquement conjugués.

$F'$  est alors le foyer image de la lentille



$$\tan(t_0 - i_0) = \tan\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right) = \frac{F'B_0}{A'_0F'} = \frac{1}{\tan i_0}$$

$$\text{avec } A'_0F' = CF' - CA'_0 = \frac{nR}{n-1} - R \cos i_0 - \frac{R \sin i_0}{\tan\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right)}$$

$$\text{d'où } F'B_0 = \frac{1}{\tan i_0} \left( \frac{nR}{n-1} - R \cos i_0 - R \frac{\sin^2 i_0}{\cos i_0} \right)$$

$$\boxed{F'B_0 = \frac{1}{\tan i_0} \left( \frac{nR}{n-1} - \frac{R}{\cos i_0} \right)}$$

AN avec  $i_0 = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) = 41,1^\circ$

$$\boxed{F'B_0 = 7,3 \text{ mm}}$$

La distance TSA est donc très grande devant les dimensions d'un pixel et de la tâche de diffraction.

⇒ La lentille demi-boule n'est pas du tout adaptée.

Il faut utiliser une lentille mince.

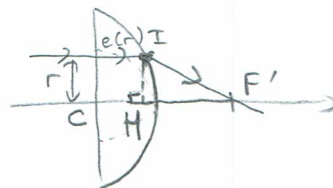
9) Tous les chemins optiques doivent être égaux donc égaux au chemin optique correspondant au rayon traversant la lentille suivant l'axe optique :

$$\delta(r) = n e(r) + IF' = nR + \frac{R}{n-1} \quad (\text{cf } 9^{\circ} 6)$$

$$\text{avec } IF'^2 = r^2 + HF'^2$$

$$\text{et } CF' = e(r) + HF'$$

$$\text{et } CF' = \frac{nR}{n-1} \quad (\text{cf } 9^{\circ} 6)$$

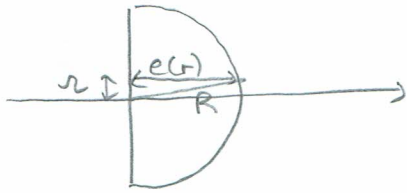


$$\text{On obtient: } IF' = \sqrt{r^2 + (CF' - e(r))^2}$$

$$\boxed{IF' = \sqrt{r^2 + \left(\frac{nR}{n-1} - e(r)\right)^2}}$$

10) \* Pour la lentille demi-boule, lorsque  $r \ll R$ :

(4)



$$R^2 = r^2 + e^2(r)$$

$$e(r) = \sqrt{R^2 - r^2}$$

$$= R \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}$$

$$e(r) \approx R \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$$

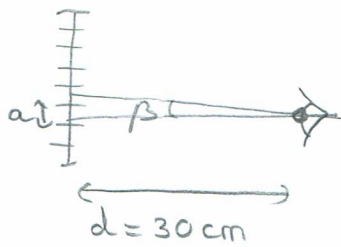
$$\boxed{\frac{e(r)}{R} \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R}\right)^2}$$

\* Pour la lentille asphérique, lorsque  $r \ll R = \dots$

## II - Etude des pixels de l'écran d'un smart phone

(5)

11)



L'œil peut discerner deux pixels si l'angle  $\beta$  est supérieur au pouvoir de résolution de l'œil:  $\alpha = 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ .

$$\text{Or } \tan \beta \approx \beta = \frac{a}{d}$$

$$\text{Il faut donc } \frac{a}{d} > \alpha$$

$$\text{soit } a > \alpha d = 3 \cdot 10^{-4} \times 30 \cdot 10^{-2}$$

$$\boxed{a > 90 \mu\text{m}}$$

Sur le capteur étudié:  $a = 17 \mu\text{m} \Rightarrow$  on ne peut pas discerner 2 pixels à l'œil nu.

12) \* Je mesure  $13a' = 12 \text{ mm}$  donc  $a = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{13 \times 10} = 92 \mu\text{m}$  semble élevé

\* La mesure est effectuée avec une règle graduée au mm.

$$u(13 \times 10 a) = \frac{1 \text{ mm}}{\sqrt{3}}$$

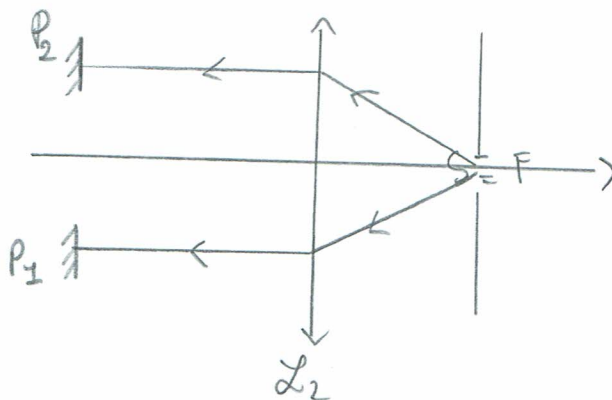
$$u(a) = \frac{10^{-3}}{130\sqrt{3}} = 4 \mu\text{m}$$

\* Rm: \* L'Iphone X possède 458 pixels par pouce (1 pouce = 2,54 cm)

$$\text{donc } a = \frac{2,54 \cdot 10^{-2}}{458} \approx 55 \mu\text{m}$$

\* L'Iphone 6 possède 326 ppp soit  $a \approx 78 \mu\text{m}$ .

13) Il faut que S soit au foyer objet de la lentille  $L_2$ .



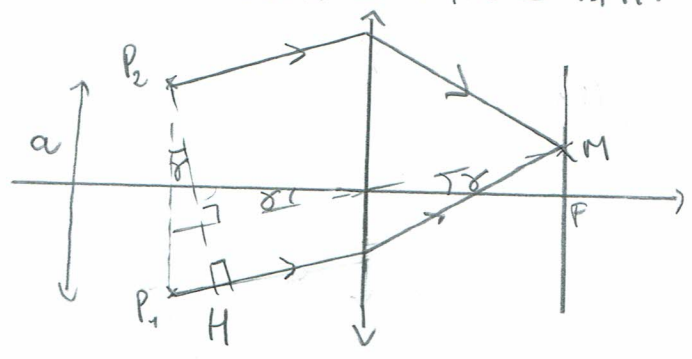
Après réflexion sur les miroirs, on observe les interférences dans le plan focal image de la lentille  $L_2$ .

Les rayons qui interfèrent en M sont donc issus de rayons semblant venir de l'infini donc ils sont parallèles entre eux avant de (re)traverser la lentille.

14) Les chemins optiques ( $SP_1$ ) et ( $SP_2$ ) sont identiques donc  $S(M) = (P_1M) - (P_2M)$

D'après le principe de retour inverse de la lumière et le théorème de Malus :  $(MH) = (MP_2)$  car les rayons issus d'un point M du plan focal objet convergent à  $e'_{\infty}$  et les surfaces équiphasées sont perpendiculaires aux rayons.

On obtient donc  $S(M) = (P_1H) = P_1H$ .



$$\sin \gamma = \frac{P_1H}{a}$$

$$\tan \gamma = \frac{y}{f'_2}$$

Dans les conditions de Gauss  $\sin \gamma \approx \gamma$  et  $\tan \gamma \approx \gamma$

$$d'où \left| P_1H = \frac{ay}{f'_2} = S(M) \right.$$

15)  $p(M) = \frac{S(M)}{\lambda} = \frac{ay}{\lambda f'_2}$

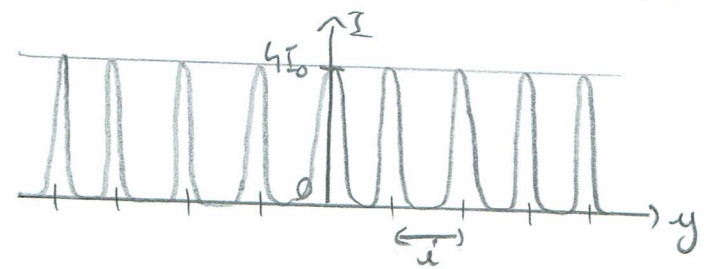
On observe des franges rectilignes  $y = \text{constante}$ .

Entre deux franges brillantes consécutives :  $\Delta p = 1$  et  $\Delta y = i$

donc  $1 = \frac{ai}{\lambda f'_2}$  soit  $i = \frac{\lambda f'_2}{a}$

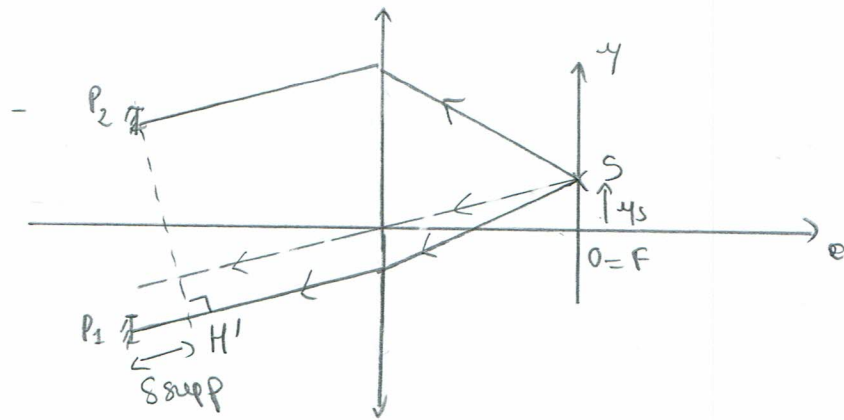
16) D'après la formule de Fresnel :  $I(y) = 2I_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi S(M)}{\lambda} \right)$

soit  $I(y) = 2I_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi ay}{\lambda f'_2} \right)$



17) Le décalage de S sur l'axe  $Oz$  de  $\Delta z = z_s$  rend les chemins optiques ( $SP_1$ ) et ( $SP_2$ ) identiques  $\Rightarrow$  Pas d'impact sur  $S(M)$  donc sur la figure d'interférences

Si on s'intéresse maintenant à un décalage  $\Delta y = y_s$  de la source sur l'axe Oy, une différence de marche supplémentaire est introduite:  $\delta_{supp} (= (SP_1) - (SP_2))$



$(SH') = (SP_2)$  donc  $\delta_{supp} = P_1 H' = \frac{a y_s}{f/2}$  indépendant du point de l'écran où on observe les interférences.

On a donc finalement  $\delta'(M) = \frac{a y}{f/2} + \frac{a y_s}{f/2}$

On observe encore des franges rectilignes  $y = cste$  avec la même interférence mais elles sont décalées en bloc. La frange  $\delta'(M) = 0$  correspond à  $\delta(M) = 0$  donc à  $y = -y_s$ . Les franges sont donc décalées dans le sens des y décroissants.

18) On considère qu'il y a une bonne cohérence au point M tant que  $|p'(M) - p(M)| \ll \frac{\lambda}{2}$  c'est à dire tant que les franges correspondant à une source en  $y_s = 0$  et à une source en  $y_s = \frac{c}{2}$  ne sont pas trop décalées au point M considéré.

Cela correspond donc à  $\frac{a c}{\lambda f/2} \ll \frac{\lambda}{2}$  soit  $c \ll \frac{\lambda f/2}{a} = c_{max}$

AN  $c_{max} = \frac{45,5 \cdot 10^{-2} \times 589 \cdot 10^{-9}}{400 \cdot 10^{-6}} = \underline{670 \mu m}$

$\Rightarrow$  largeur de fente mécanique, tout à fait en usageable en TP

19) def  $I_{tot}(y, c, K)$

$I_{tot} = 0$

For m in range (K)

$y_s = -c/2 + m \cdot c / (K-1)$

$I_{tot} = I_{tot} + \text{intensité}(y, y_s)$

Return  $I_{tot}$

20) def contraste (I)

$$I_{max} = n p \cdot \max(I)$$

$$I_{min} = n p \cdot \min(I)$$

$$C = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$$

Return C

21) \* Lorsque les sources sont pratiquement confondues, les figures d'interférences relatives à chacune des sources se superposent sur l'écran = les franges brillantes correspondant à chacune des sources coïncident, même chose pour les franges sombres.

les franges sombres sont donc très sombres et les franges brillantes très lumineuses: le contraste est maximal.

\* Lorsque l'on écarte les sources, les figures d'interférences se décalent les unes par rapport aux autres et on n'observe plus de zones noires. Il y a de la lumière un peu partout. Le contraste diminue de plus en plus jusqu'à ce que

\* l'intensité soit identique en tout point de l'écran. On a alors  $C = C_{max}$  et un contraste nul.

\* Si l'on écarte encore les sources alors les sources extrêmes vont produire une figure d'interférences qui se superpose à peu près à la source centrale et on retrouve un peu de contraste sur un fond brouillé dû à toutes les autres sources réparties entre  $-\frac{c_{max}}{2}$  et  $+\frac{c_{max}}{2}$ .

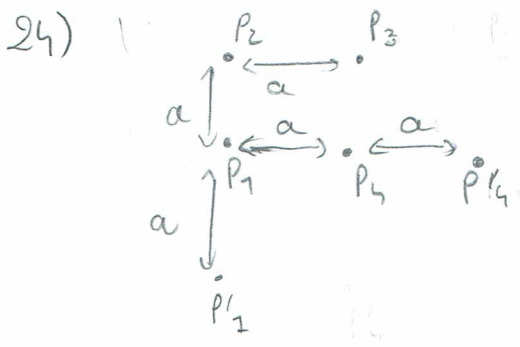
22)  $\frac{D_{laser}}{d_{laser}} = \frac{f'_2}{f'_1}$  donc  $D_{laser} = \frac{f'_2}{f'_1} d_{laser}$

23)  $\delta_{2,1}(M) = \frac{ay}{f'_2}$   
 $\delta_{4,1}(M) = \frac{az}{f'_2}$   
 $\delta_{4,1}(M) = \frac{a}{f'_2} (y+z)$

Toutes les ondes sont en phase si  $\frac{ay}{f'_2} = k\lambda, k \in \mathbb{Z}$   
et  $\frac{az}{f'_2} = m\lambda, m \in \mathbb{Z}$

=> réseau de points carré.





$\delta_{1/2}(M) = \delta_{1/1}(M)$   
 $\delta_{4/1}(M) = \delta_{4/4}(M)$   
 $\Rightarrow$  Les figures d'interférences se superposent exactement.  
 $\Rightarrow$  Les maxima obtenus pour 4 pixels ou pour N pixels sont les mêmes.

$\Delta(M) = N \lambda_0$  puisque toutes les ondes sont en phase.  
 On a donc  $I(M) = N^2 I_0$  car  $I = K |\Delta|^2$

25) L'éclairement moyen est obtenu lorsque il y a brouillage donc lorsque  $I(M) = N I_0$  : les intensités s'additionnent.  
 D'où  $\frac{I_{max}}{I_{moy}} = N$

$\Rightarrow$  Le contraste de la figure d'interférences est meilleur si le nombre de pixel augmente.

26) \* On mesure  $i = \frac{\lambda f/2}{a}$  d'où  $a = \frac{\lambda f/2}{i}$

Diamètre du trou sur la feuille : 0,8 cm.  
 Si mesurés sur la feuille : 3,8 cm. }  $i = \frac{3,8}{6} \times \frac{4}{8}$   
 $i = 3,2 \text{ mm.}$

et  $u(i) = \frac{1 \text{ mm}}{6} = 0,1 \text{ mm.}$

d'où  $a = \frac{532 \cdot 10^{-9} \times 45,5 \cdot 10^{-2}}{3,2 \cdot 10^{-3}} = 75,6 \mu\text{m}$

et  $\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 = \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(f/2)}{f/2}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2$

On obtient  $a = 75,6 \mu\text{m}; u(a) = 2,8 \mu\text{m.}$

\* Ecart normalisé entre les résultats des qo 12) et 26):

$E_N = \frac{|92 - 75,6|}{\sqrt{4^2 + 2,8^2}} = 3,4 > 2$  Les 2 résultats ne sont pas compatibles.

### III - Etude de la batterie ion-lithium.

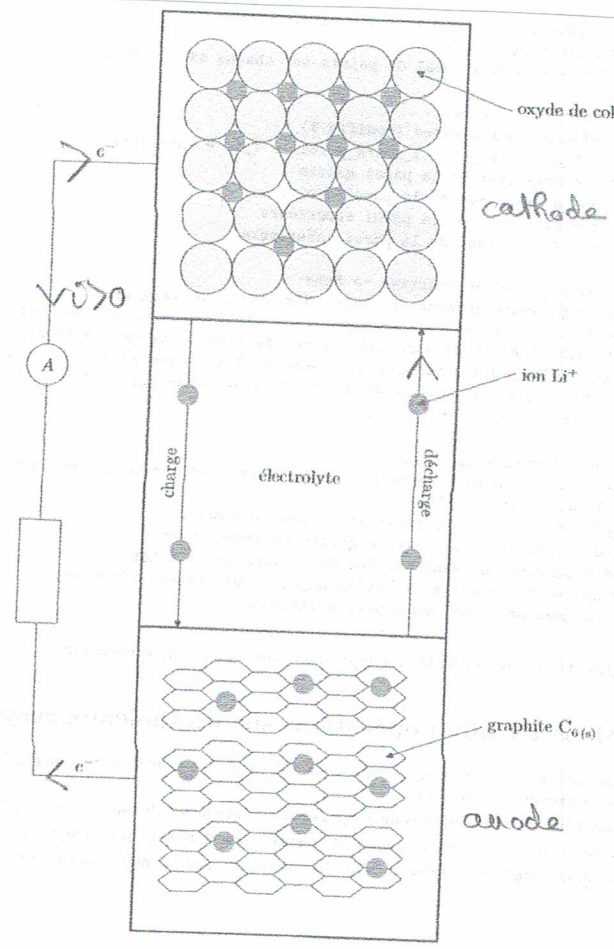
27) A l'anode il ya oxydation:  $Li(s) = Li^+ + e^-$  (1<sup>ere</sup> electrode)

A la cathode il ya reduction:  $Li^+ + e^- + CoO_2(s) = LiCoO_2(s)$

(2<sup>nde</sup> electrode)

28) Bilan en décharge:  $Li(s) + CoO_2(s) = LiCoO_2(s)$

Bilan en charge:  $LiCoO_2(s) = Li(s) + CoO_2(s)$



29) Capacité de la batterie:  $Q = 1440 \text{ mA} \cdot \text{h}$

$$Q = n e^- \text{ échangés} \times F = n LiCo_2 \times F = \frac{m LiCo_2}{M LiCo_2} \times F$$

donc  $m LiCo_2 = \frac{Q M LiCo_2}{F}$

AN  $m LiCo_2 = \frac{1440 \cdot 10^{-3} \times 3600}{96485} \times (69 + 6 \times 12,0) \cdot 10^{-3}$

$m LiCo_2 = 4,2 \text{ g}$

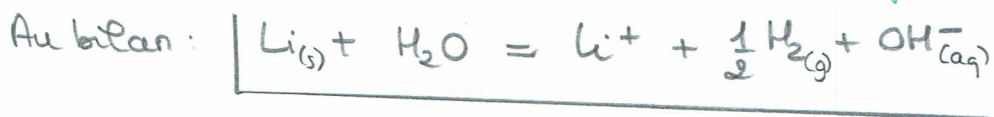
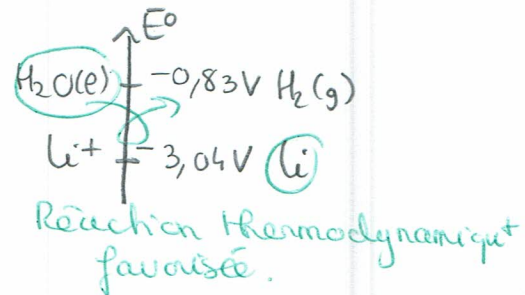
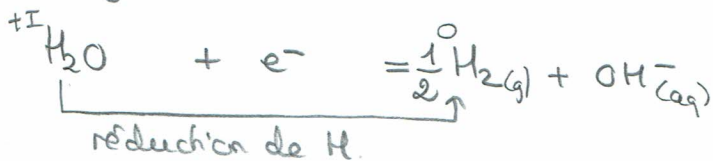
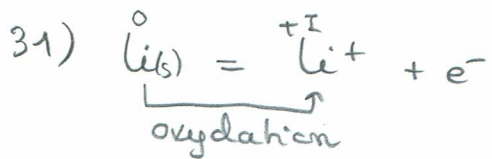
30) Energie délivrée pendant la durée  $\tau$  d'autonomie de la pile:

$W = E_0 \times I \times \tau = E_0 \times Q$  si  $I = \text{cste}$  pendant  $\tau$ .

Énergie massique:  $w = \frac{E_0 Q}{m}$  avec  $m$  = masse de la batterie (11)

AN  $w = \frac{3,8 \times 1440 \cdot 10^{-3} \times 3600}{25 \cdot 10^{-3}} = 7,9 \cdot 10^5 \text{ W kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$

soit  $w = 219 \text{ W kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  en accord avec la donnée de l'énoncé.

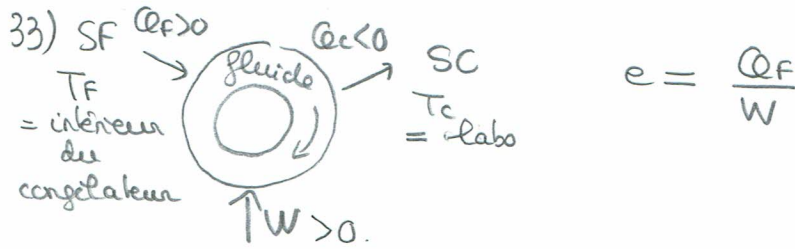


32) A très basse température, la capacité de la batterie chute.  
A  $-40^\circ\text{C}$  environ, l'électrolyte se solidifie: Ces ions  $\text{Li}^+$  ne peuvent plus circuler. Le courant délivré devient très faible.

A haute température, il semble qu'il y ait combustion...

# IV - Etude d'un congélateur.

## A) Congélateur à compresseur



Efficacité de Carnot = efficacité maximale avec 1 cycle constitué de 2 isothermes réversibles et 2 isentropiques

1er principe appliqué au fluide calqateur sur 1 cycle:

$$\underbrace{\Delta U = 0}_{\text{cycle}} = W + Q_c + Q_F$$

2nd principe

$$\underbrace{\Delta S = 0}_{\text{cycle}} = \underbrace{S_{créée}}_{=0 \text{ (réversibilité)}} + \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_F}{T_F}$$

avec  $T_c =$  Température du Labo  
 $T_F =$  — — — du congélateur

On obtient 
$$e = \frac{-Q_F}{Q_c + Q_F} = \frac{+ \frac{T_F}{T_c} Q_c}{Q_c + \frac{T_F}{T_c} Q_c} = \frac{T_F}{T_c - T_F}$$

34) AN 
$$e = \frac{-18 + 273}{19 + 18} = \underline{6,9}$$

35) 1er principe appliqué au télephone pas de son refroidissement =

$$C(T_F - T_c) = -Q_F = -exW = -exP \times \Delta t$$

soit 
$$\Delta t = \frac{C(T_c - T_F)}{exP} = \frac{m \times c_m(\text{eau}) (T_c - T_F)}{exP}$$

AN 
$$\Delta t = \frac{0,150 \times 2,4 \cdot 10^3 \times (19 + 18)}{3,2 \times 250} = 16,65 \text{ s} \dots \underline{17 \text{ s}}$$

36) 1er principe appliqué à la masse d'eau congelée en  $\Delta t' = 1 \text{ h}$

A P constant:  $\Delta H_{\text{eau}} = -Q_F = -exP \times \Delta t'$

avec  $\Delta H_{\text{eau}} = \Delta H_{\text{refroidissement eau liq}} + \Delta H_{\text{solidification}} + \Delta H_{\text{refroidissement de la glace}}$

car H est une fonction d'état = sa variation est indépendante du chemin suivi pour passer de l'état initial

eau liquide à 19°C à l'état final eau solide à -18°C (13)

$$d'où m_{eau} \times c_m(H_2O(l)) (T_{fusion} - T_c) + m_{eau} \times (-\ell) + m_{eau} \times c_m(H_2O(s)) (T_f - T_{fusion}) = -e \times P \times \Delta t'$$

$$d'où \boxed{m_{eau} = \frac{-e P \Delta t'}{c_m(H_2O(l)) (T_{fusion} - T_c) - \ell + c_m(H_2O(s)) (T_f - T_{fusion})}}$$

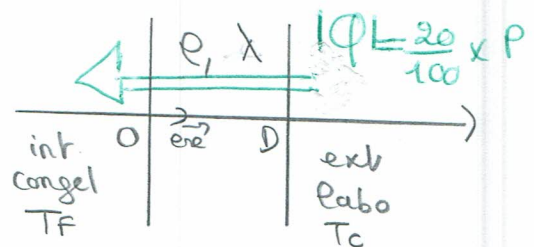
AN  $m_{eau} = 6,4 \text{ kg}$  : masse qui paraît importante mais vu que j'ai trouvé 16s pour congeler le téléphone, les 2 résultats sont "compatibles".

37) Conduction thermique à travers la paroi.

38) Dans la paroi en régime stationnaire  $\Delta T = \frac{d^2 T}{dx^2} = 0$

donc  $T(x) = ax + b$

$$\boxed{T(x) = \frac{T_c - T_f}{D} x + T_f}$$



$$39) \Phi = j_{th} \times S = -\lambda \frac{dT}{dx} \times S = -\lambda \frac{T_c - T_f}{D} \times S$$

Si on considère un congélateur avec 6 faces carrées de côté  $a = 60 \text{ cm}$  alors  $S = 6 \times a^2$

$$\text{et on a alors } \frac{\lambda (T_c - T_f)}{D} \times 6a^2 = \frac{20}{100} P$$

$$\text{soit } \boxed{D = \frac{\lambda (T_c - T_f) \times 6a^2}{0,2 P}}$$

AN  $D \approx 5 \text{ cm}$ .

### B) Résolution approchée de l'équation de la diffusion thermique dans le congélateur

$$40) \Delta x = \frac{D}{N-1} \quad \text{et} \quad x_i = i \times \Delta x$$

$$41) T(x + \Delta x) = T(x) + \Delta x \frac{dT}{dx} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{(\Delta x)^3}{6} \frac{d^3 T}{dx^3} + O(\Delta x^3)$$

$$T(x - \Delta x) = T(x) - \Delta x \frac{dT}{dx} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{(\Delta x)^3}{6} \frac{d^3 T}{dx^3} + O(\Delta x^3)$$

$$42) T(r_e + \Delta r_e) + T(r_e - \Delta r_e) = 2T(r_e) + \Delta r_e^2 \frac{d^2T}{dr_e^2}$$

$$\text{donc } \boxed{\frac{d^2T}{dr_e^2} = \frac{T(r_e + \Delta r_e) + T(r_e - \Delta r_e) - 2T(r_e)}{\Delta r_e^2}}$$

43) En régime stationnaire:  $\frac{d^2T}{dr_e^2} = 0$

On obtient alors:  $0 = \frac{T_{i+1} + T_{i-1} - 2T_i}{\Delta r_e^2}$

soit  $\boxed{T_i = \frac{T_{i+1} + T_{i-1}}{2}}$

44)  $r_{max} = 10^{-3}$  (ligne 25)

le calcul s'arrête au bout de 20 itérations, même si le critère de convergence n'est pas atteint.

45) On peut demander d'afficher la dernière valeur de l'erreur.  
E31: Print(res)

Si on obtient une valeur de res >  $r_{max}$  alors il faut recommencer en augmentant le nombre d'itérations maximal.