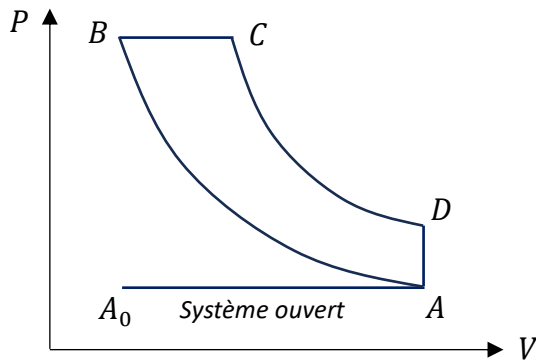


$$1-4) P_B = x^\gamma P_{atm} \quad P_D = \left(\frac{x}{y}\right)^\gamma P_{atm} \quad \eta_D = \frac{|W|}{Q_{BC}} = \frac{Q_{BC} + Q_{DA}}{Q_{BC}} = 1 + \frac{U_A - U_D}{H_C - H_B} = 1 - \frac{T_D - T_A}{\gamma(T_C - T_B)}$$



D'après la loi des gaz parfaits,

$$nRT_D = \left(\frac{x}{y}\right)^\gamma P_{atm} V_{max} \quad nRT_A = P_{atm} V_{max}$$

$$nRT_C = x^\gamma P_{atm} V_C \quad nRT_B = x^\gamma P_{atm} V_{min}$$

$$\rightarrow \eta_D = 1 - \frac{\left(\frac{x}{y}\right)^\gamma - 1}{\gamma x^{\gamma-1} \left(\frac{x}{y} - 1\right)} = 0,61$$

L'efficacité observée est inférieure car les transformations réelles **ne sont pas réversibles** (frottement et diffusion thermique lors des échanges non isothermes). De plus, le cycle est ici schématisé, en réalité les points anguleux n'existent pas, l'aire du cycle ($-W$) est inférieure.

[Le rendement du moteur par rapport à sa modélisation réversible est égal à 74 % ($0,45/0,61$). Celui par rapport au moteur de Carnot équivalent est de 50 % ($\eta_{Carnot} = 1 - T_A/T_C = 1 - y/x^\gamma = 0,89$).]

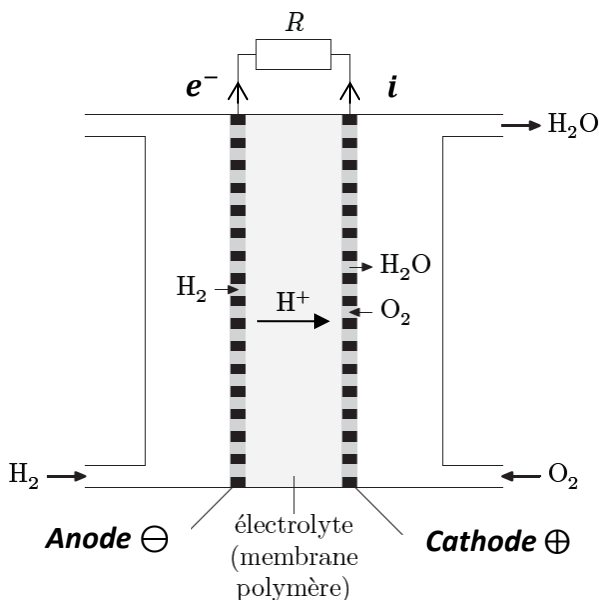
$$5) Q_{BC} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1} (T_C - T_B) = \frac{\gamma x^\gamma}{\gamma-1} P_{atm} V_{max} \left(\frac{1}{y} - \frac{1}{x}\right) = 1,2 \cdot 10^5 J \rightarrow |W_{réel}| = 5,5 \cdot 10^4 J \rightarrow P = 1,8 MW$$

La masse de gasoil consommée par cycle est $Q_{BC}/\Delta_{comb}h = 2,6 g$. Un cycle dure 30 ms.

La consommation en gasoil est de $87,6 g \cdot s^{-1} \rightarrow 2,3 \cdot 10^2 kg$ pour 100 km.

6-10) A l'anode se déroule l'oxydation : $H_2 \rightleftharpoons 2 H^+ + 2 e^-$

A la cathode s'effectue la réduction : $\frac{1}{2} O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons H_2O$



$$\Delta_r H^0 = -286 kJ \cdot mol^{-1} \quad \Delta_r S^0 = -164 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$$

$$\Delta_r G^0(298 K) = -237 kJ \cdot mol^{-1}$$

$$e^0(298 K) = -\frac{\Delta_r G^0(298 K)}{2F} = 1,23 V$$

Un rendement est positif. L'énergie électrique fournie étant effectivement positive, le signe "-" est indispensable car l'enthalpie du système électrochimique **diminue**.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = Q - W_e - T\Delta S = -W_e - TS^{cré} \rightarrow \Delta G \leq -W_e$$

Attention ! Dans ce sujet, $W_e > 0$ est l'énergie **fournie**.

$$11-12) \text{ Dans ces conditions, } \Delta G = -W_e \rightarrow \eta_{max} = \frac{\Delta G}{\Delta H} = \frac{\Delta_r G^0}{\Delta_r H^0} = 1 - T \frac{\Delta_r S^0}{\Delta_r H^0} = 81 \%$$

13-14) Cette tension nécessite 429 cellules. La puissance nous indique que $i = 667 A \rightarrow S = 0,148 m^2$

Le débit en dihydrogène pour **chaque cellule** est $\frac{i}{2F} = 3,45 mmol \cdot s^{-1} = 12,4 mol \cdot h^{-1}$ par cellule.

On en déduit la masse de dihydrogène totale pour dix heures d'autonomie : $m_{H_2} = 107 kg$

15-18) $r_{Fe} + r_{Ti} = \frac{a\sqrt{3}}{2} \rightarrow a = 298 \text{ pm}$

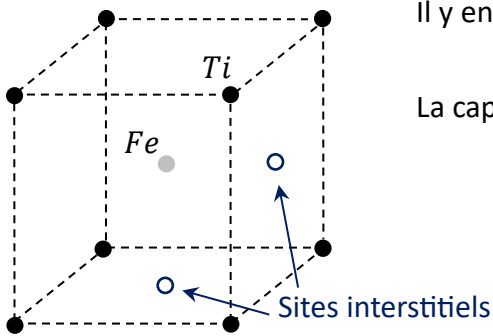
Les sites indiqués sont **au centre des faces** du cubes.

Il y en a 3 par maille $\left(6 * \frac{1}{2}\right)$, au maximum l'hydruure a pour formule **$FeTiH_3$** .

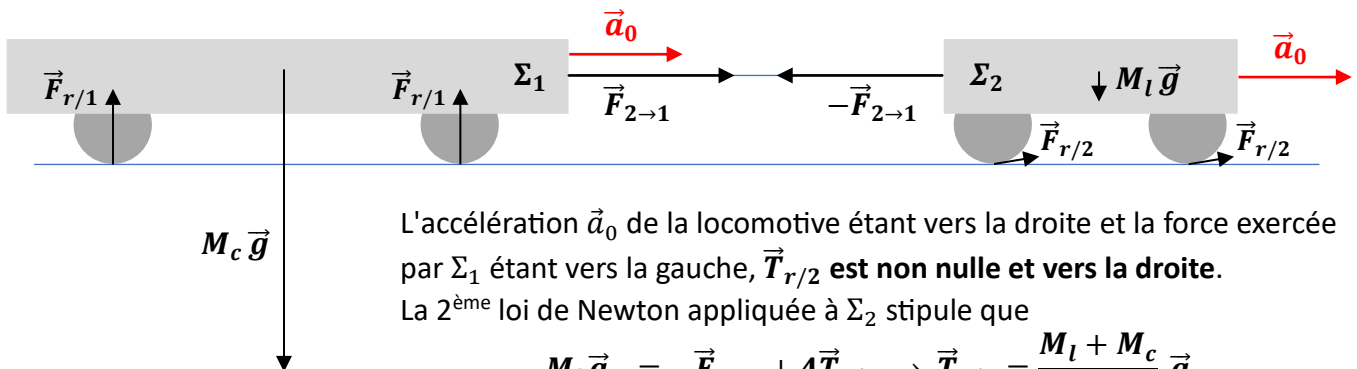
La capacité volumique d'absorption est $\frac{1,9M_H}{N_A a^3} = 119 \text{ kg.m}^{-3}$.

→ Le volume d'alliage nécessaire est de **$0,91 \text{ m}^3$** .

C'est intéressant comparé aux volume de stockage sous forme gazeuse ($1,9 \text{ m}^3$) ou sous forme liquide ($1,5 \text{ m}^3$).



19-21) La 2^{ème} loi de Newton appliquée à Σ_1 indique que $\vec{F}_{2 \rightarrow 1} = M_c \vec{a}_0$.



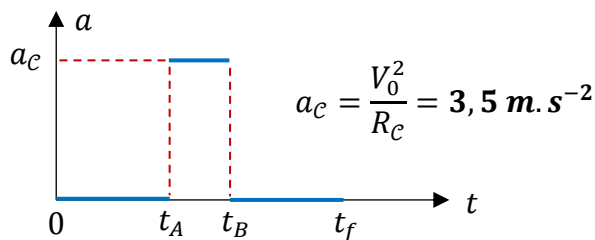
L'accélération \vec{a}_0 de la locomotive étant vers la droite et la force exercée par Σ_1 étant vers la gauche, $\vec{T}_{r/2}$ **est non nulle et vers la droite**.

La 2^{ème} loi de Newton appliquée à Σ_2 stipule que

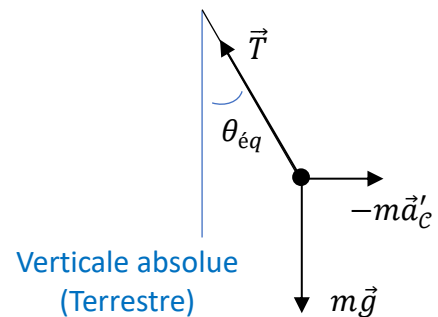
$$M_l \vec{a}_0 = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1} + 4\vec{T}_{r/2} \rightarrow \vec{T}_{r/2} = \frac{M_l + M_c}{4} \vec{a}_0$$

22) Toujours d'après la 2^{ème} loi de Newton, $\|\vec{N}_{r/2}\| = \frac{M_l}{4} g$, ainsi $\|\vec{a}_0\| = 0,011 \text{ m.s}^{-2} \rightarrow \Delta t = 3,5 \text{ min}$

23-25) Soit O le centre de C , $OA \perp A_0A$ et $OB \perp BB_0$. Or deux angles à côtés perpendiculaires deux à deux sont égaux donc OA et OB forment un angle de $60^\circ \rightarrow$ Le triangle OAB est équilatéral $\rightarrow R_C = d_{AB}$.

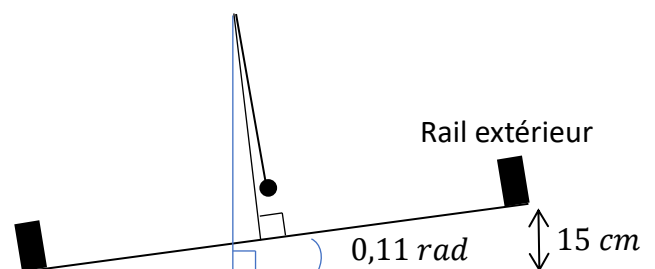
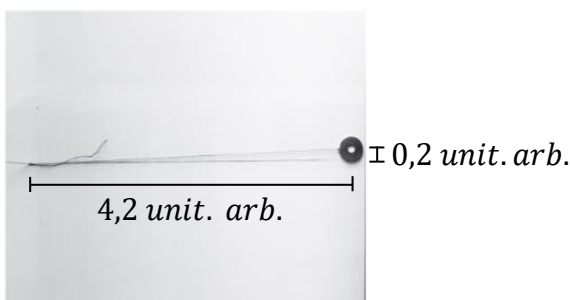


Question 25



Question 26

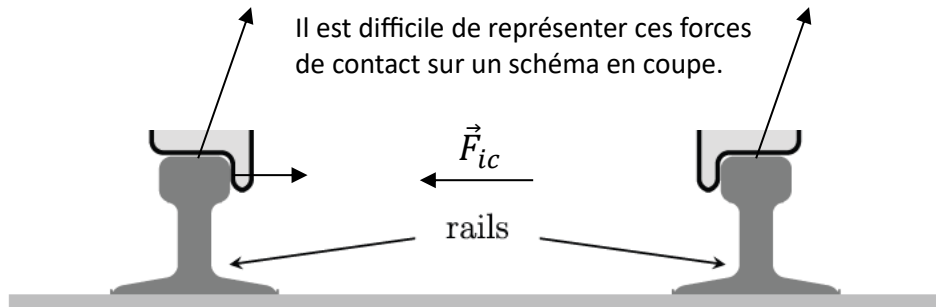
26) Dans le référentiel du train non galiléen, le pendule est à l'équilibre sous l'effet de la tension du fil \vec{T} , son poids $m\vec{g}$ et la force d'inertie d'entraînement $-m\vec{a}'_c$. La 2^{ème} loi de Newton projetée orthogonalement au fil indique que $g \sin \theta_{eq} = a'_c \cos \theta_{eq} \rightarrow \theta_{eq} = \arctan(a'_c/g) = 0,16 \text{ rad}$.



Sur la photo, l'angle entre le fil et la verticale locale (relative au train) vaut environ $0,05 \text{ rad}$ ($\sim 0,2/4,2$). L'angle de dévers est de l'ordre de **$0,11 \text{ rad}$** , le dévers est de **15 cm** . Le rail **extérieur** est surélevé.

27) Le référentiel \mathcal{R}_t est en **rotation uniforme** autour de l'axe des pôles par rapport à \mathcal{R}_g .

28) Il est question ici de la force d'inertie de Coriolis, $\vec{F}_{ic} = 2m \vec{v}_{/\mathcal{R}_t} \wedge \vec{\Omega}_{\mathcal{R}_t/\mathcal{R}_g}$. La vitesse étant dirigé vers le Sud et $\vec{\Omega}_{\mathcal{R}_t/\mathcal{R}_g}$ étant selon l'axe des pôles, la force \vec{F}_{ic} est dirigée vers l'Ouest. Ainsi, le train est plaqué sur le rail de **gauche** qui par réaction, exerce à son tour une force sur la roue et l'use !



29) Le volume de matière usée augmente avec la force d'appui F_n et avec la distance sur laquelle a eu lieu le glissement d mais diminue si le matériau est plus résistant à l'usure (H grand).

On remarque aussi que ce volume est proportionnel au travail de la force de frottement ($\sim f_a F_n d$).

30) $[k] = L^3 \cdot (M \cdot L^{-2}) \cdot (M \cdot L \cdot T^{-2})^{-1} \cdot L^{-1} = T^2 \cdot L^{-1}$

31) Comparons la pesanteur g à $\|2\vec{v}_{/\mathcal{R}_t} \wedge \vec{\Omega}_{\mathcal{R}_t/\mathcal{R}_g}\| \sim \sqrt{2} v_{/\mathcal{R}_t} \Omega_{\mathcal{R}_t/\mathcal{R}_g} = 9 \cdot 10^{-3} m \cdot s^{-2}$
 Avec $(\vec{v}_{/\mathcal{R}_t}, \vec{\Omega}_{\mathcal{R}_t/\mathcal{R}_g}) \sim 45^\circ$ et $\Omega_{\mathcal{R}_t/\mathcal{R}_g} = \frac{2\pi}{T_{sid}} = \frac{2\pi}{86164} rad \cdot s^{-1}$.

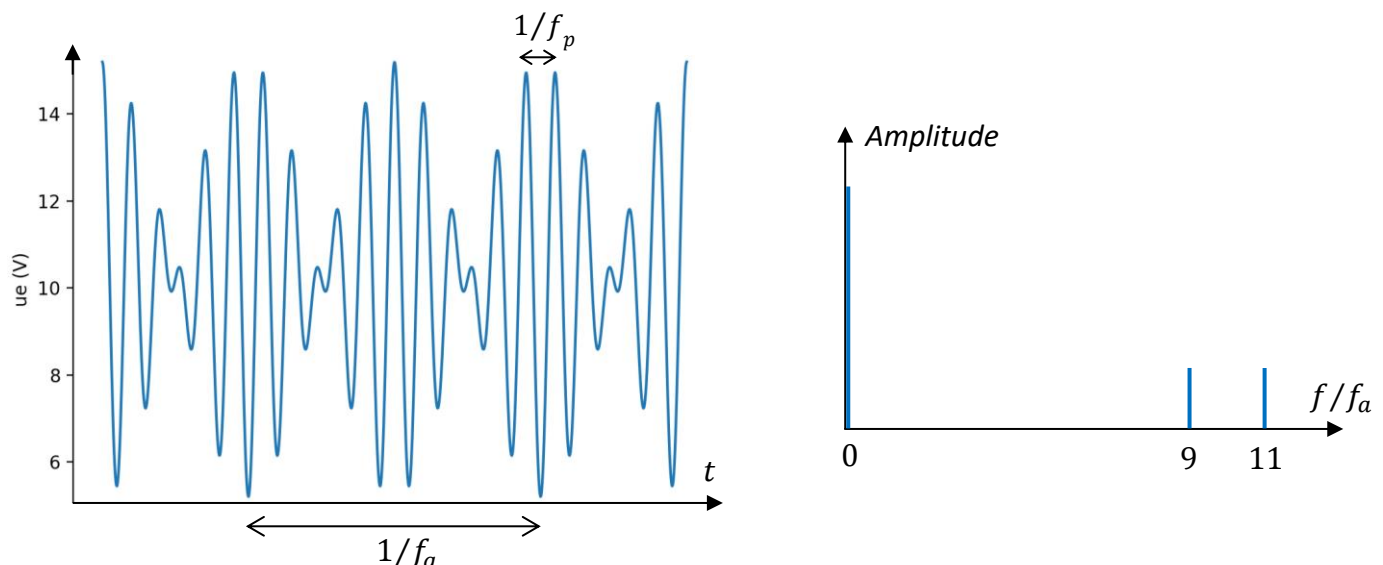
En assimilant F_n tantôt au poids, tantôt à la force d'inertie de Coriolis, on en déduit que l'usure est mille fois plus importante sur la face supérieure que sur la face intérieure.

L'influence de l'effet Coriolis dans l'usure des rails est plutôt à ranger dans le rayon des légendes urbaines.

32-33) $u_1 = V_{sb} = u_e - r_e i_1 \rightarrow u_e \geq V_{sb} \quad U_0 = V_{sb} + r_e i_0 = 10,2 V \quad \Phi_{e0} = \eta_{led} V_{sb} i_0 = 0,71 W$

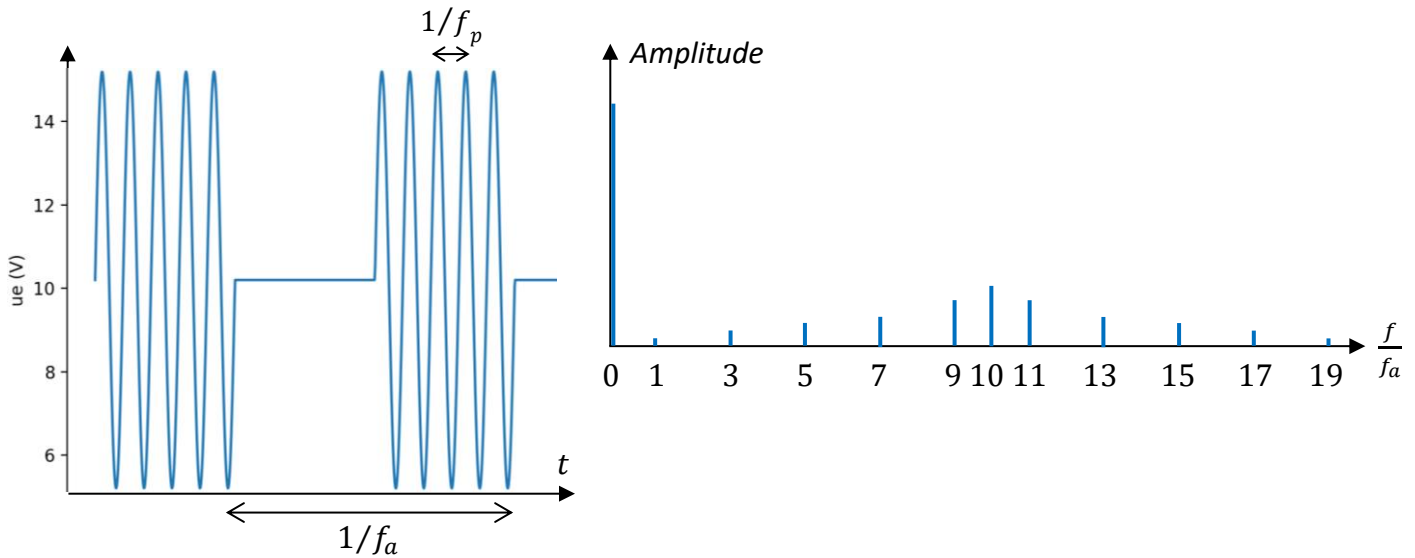
34-35) $u_e(t) = U_0 + kp_m a_m \cos(\omega_a t) \cos(\omega_p t + \alpha_p)$
 $= U_0 + \frac{kp_m a_m}{2} (\cos((\omega_p + \omega_a)t + \alpha_p) + \cos((\omega_p - \omega_a)t + \alpha_p))$

Pour que la diode émette de la lumière, il faut que $U_0 - kp_m a_m \geq V_{sb} \rightarrow kp_m a_m \leq r_e i_0 = 7,3 V$



36) Le signal $a(t)$ se décompose en série de Fourier (valeur moyenne, fondamental et harmoniques).
Le produit $m_1(t)$ contient un terme de pulsation ω_p et des termes de pulsations $\omega_p \pm (2p + 1)\omega_a$ ($p \in \mathbb{N}$)
Plus précisément, $u_e(t) = U_0 + kp_m a_m \cos(\omega_p t + \alpha_p) \left(\frac{1}{2} + \sum_{p=0}^{+\infty} \frac{2}{(2p+1)\pi} \cos((2p+1)\omega_a t) \right)$

$$= U_0 + \frac{kp_m a_m}{2} \cos(\omega_p t + \alpha_p) + \sum_{p=0}^{+\infty} \frac{kp_m a_m}{(2p+1)\pi} \cos((\omega_p + (2p+1)\omega_a)t + \alpha_p) \\ + \sum_{p=0}^{+\infty} \frac{kp_m a_m}{(2p+1)\pi} \cos((\omega_p - (2p+1)\omega_a)t + \alpha_p)$$



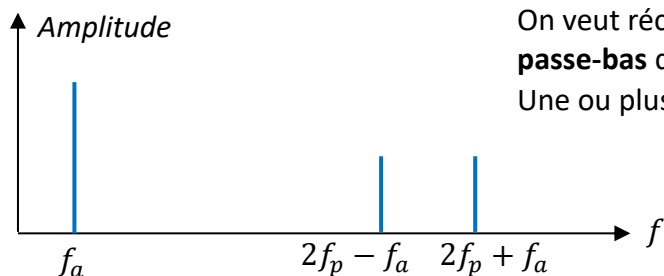
37) $u_r(t) = rK_r \Phi_r = rK_r s_r \frac{\Phi_e}{2\pi d^2} = rK_r s_r \frac{K_e}{2\pi d^2} \frac{u_e(t) - V_{sb}}{r_e}$

Le flux reçu Φ_r est le produit de s_r avec la densité surfacique de flux émis à la distance d , c'est-à-dire $\frac{\Phi_e}{2\pi d^2}$.

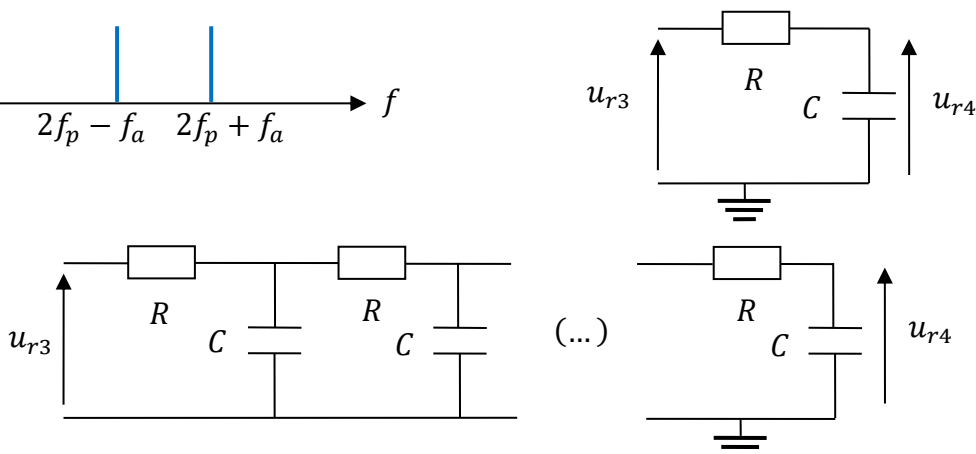
38) Le bloc F est un **passe-haut** du 1^{er} ordre de pulsation de coupure $\frac{1}{r_2 c_2}$ car $H_F = \frac{j r_2 c_2 \omega}{1 + j r_2 c_2 \omega} = \frac{1}{1 - j \omega_c / \omega}$

39-40) Comme $\omega_c \ll \omega_a$, le bloc F permet de supprimer la valeur moyenne de u_{r1} :

$$u_{r2}(t) = \frac{KK_r K_e s_r r}{2\pi d^2 r_e} kp_m a_m \cos(\omega_a t) \cos(\omega_p t + \alpha_p) \\ \rightarrow u_{r3}(t) = \frac{KK_r K_e s_r r}{2\pi d^2 r_e} k^2 p_m^2 a_m \cos(\omega_a t) \cos^2(\omega_p t + \alpha_p)$$



On veut récupérer le signal de fréquence f_a , il faut un filtre **passe-bas** de fréquence de coupure f'_c telle que $f_a < f'_c \ll 2f_p$.
Une ou plusieurs cellules RC en cascade conviendraient :



41) Un débit de 10 Mbit.s^{-1} correspond à $f_{ck} = \mathbf{10 \text{ MHz}}$ qui est bien inférieure à un centième de quelques GHz .

42) La fréquence de la porteuse lumineuse est $\frac{c}{\lambda_b} = \mathbf{6,38.10^{14} \text{ Hz}}$. On peut prendre pour fréquence f_p de la sous-porteuse quelques centaines de \mathbf{GHz} et donc atteindre un débit de $\mathbf{1 \text{ Gbit.s}^{-1}}$.

Une multiplication par **cent** du débit par rapport au Wifi est donc possible.

En 2020, des chercheurs du CEA ont réalisé une expérience atteignant le débit record de $\mathbf{7,7 \text{ Gbit.s}^{-1}}$.