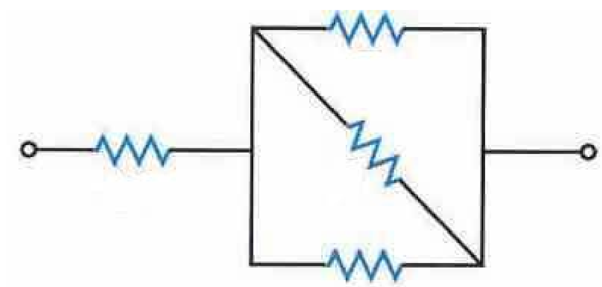
PHYSQ 126, LEC B1: Fluides, champs et radiation hiver 2006
Examen final: jeudi 27 avril 2006, de 9 h à midi
Professeur: Marc de Montigny [adel: *montigny@phys.ualberta.ca*]
Matériel: aide-mémoire (ci-joint) et calculatrice
Remarque: Le maximum est de **40 points** sur les **44 points** disponibles. Cet examen contient 16 questions.

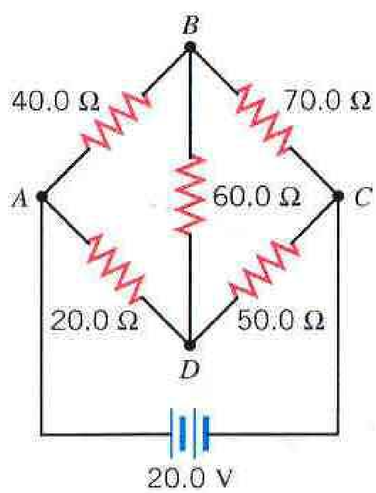
Question 1. (Maximum de 1.5 points) Résistances.

Calculez la résistance équivalente à la combinaison ci-dessous. Chaque résistance a une valeur R.



Question 2. (Maximum de 3.0 points) Lois de Kirchhoff.

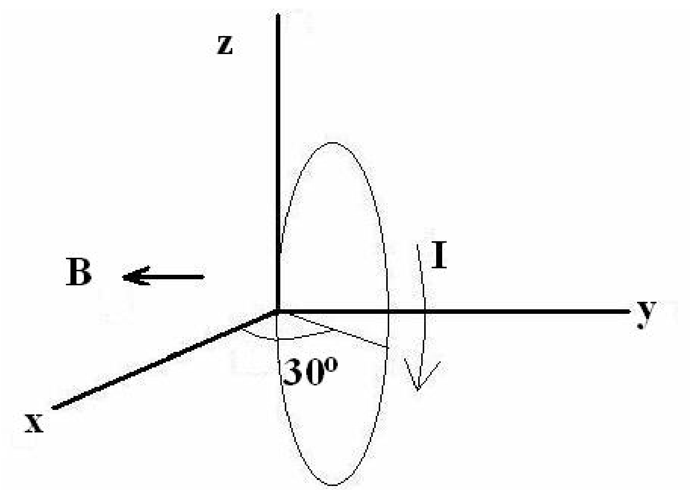
Une pile de 20.0 V est branchée à un pont de Wheatstone. Écrivez au moins *cinq* équations provenant des lois de Kirchhoff, mais ne les résolvez pas.



Question 3. (Maximum de 3.5 points) Moment magnétique dipolaire et moment de force sur une boucle de courant.

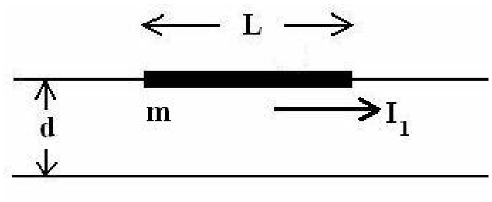
La figure ci-dessous représente une bobine circulaire de rayon égal à 20 cm. Elle contient 40 enroulements, et un courant de 10 A circule dans chaque enroulement, dans le sens indiqué par la flèche. (a) Quel est moment magnétique dipolaire (grandeur et direction) de la bobine?

Si la bobine est plongée dans un champ magnétique de 1.2 Tesla dirigé vers les y négatifs: (b) quelle est l'intensité du moment de force qui agit sur la boucle, et (c) dans quelle direction la boucle aura-t-elle tendance à tourner, c.-à-d. l'angle entre le plan du cercle et l'axe x, initialement de 30°, va-t-il augmenter ou diminuer?



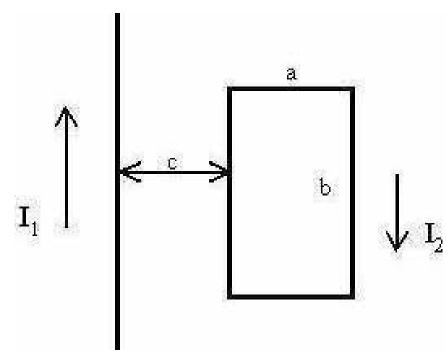
Question 4. (Maximum de 3.0 points) Loi d'ampère et force magnétique sur un courant.

Une tige de longueur $L = 10$ cm et de masse $m = 50$ grammes (partie foncée, ci-dessous) est parcourue par un courant $I_1 = 3$ A vers la droite. À une distance $d = 5$ cm sous cette tige, se trouve un fil parcourue par un courant I_2. Trouvez la grandeur et la direction de I_2 telles que la force magnétique sur la tige annule son poids.



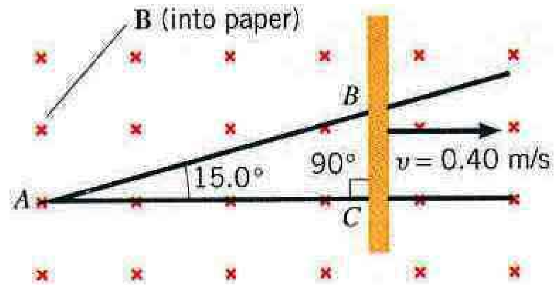
Question 5. (Maximum de 3.5 points) Loi d'ampère et force magnétique sur un courant.

La figure ci-dessous représente un fil conducteur vertical infini parcouru par un courant I_1. À une distance c à sa droite se trouve un cadre rectangulaire, de largeur a et de hauteur b, parcouru par un courant I_2 dans le sens horaire.
(a) Calculez la force totale (grandeur et direction) par le champ magnétique associé au courant I_1 exercée sur l'ensemble du cadre, en exprimant votre réponse en termes de a, b, c, I_1, I_2 et μ_0.
(b) Que vaut cette force si $I_1 = 15$ A, $I_2 = 5$ A, a= 3 cm, b= 4 cm et c= 2 cm?



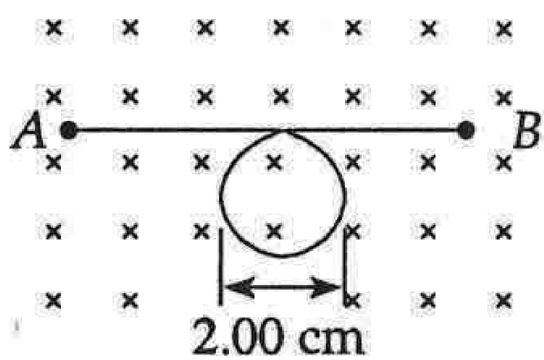
Question 6. (Maximum de 3.5 points) Loi de Faraday-Lenz.

Une tige verticale glisse à 0.40 m/s vers la droite sur deux rails conducteurs qui font entre eux un angle de 15° (voir figure ci-dessous). Un champ magnétique uniforme de 0.42 T entre dans la page perpendiculairement. (a) Déterminez la grandeur de la force électromotrice induite moyenne $\mathcal{E}$ dans le triangle ABC durant les 5 secondes après que la tige ait passé le point A. (b) Le courant induit circule-t-il dans le sens horaire ou anti-horaire?



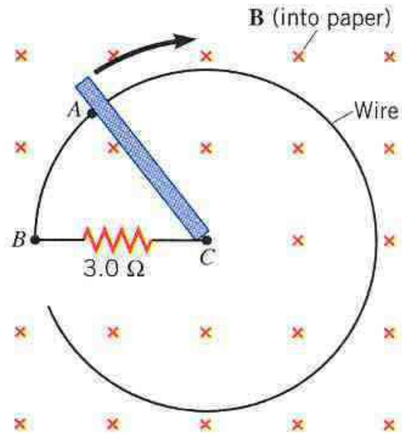
Question 7. (Maximum de 3.0 points) Loi de Faraday-Lenz.

Le champ magnétique ci-dessous est uniforme et de valeur 25.0 mT entrant dans la page. (a) Le diamètre initial de la boucle étant de 2 cm, calculez le voltage moyen induit entre les points A et B si on tire sur ces extrémités de façon à rendre le diamètre égal à zéro en 50 ms. (b) Supposez que le diamètre demeure égal à 2 cm, mais que l'intensité du champ est augmentée jusqu'à atteindre 100 mT en 4 ms. Quel est alors le voltage moyen entre les points A et B?



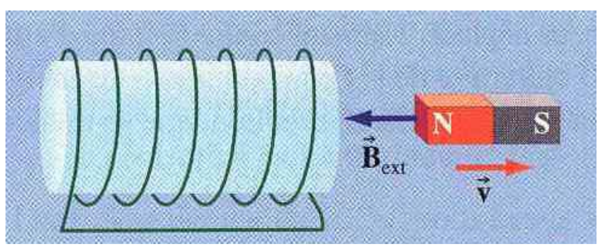
Question 8. (Maximum de 3.5 points) Loi de Faraday-Lenz.

Une tige a une forme circulaire de rayon 60 cm. La section BC est fixe, alors que la barre AC tourne à une vitesse angulaire de 25 rad/s. Le champ magnétique indiqué est uniforme et de 3.0 mT. (a) Quelle est la grandeur du courant induit dans la boucle ABC, de résistance 3 Ω? (b) Circule-t-il vers la gauche ou vers la droite dans la résistance?



Question 9. (Maximum de 2.0 points) Loi de Lenz.

Si l'on éloigne le pôle node de l'aimant de la bobine, tel qu'illustré ci-dessous: (a) le courant circulera-t-il vers la gauche ou vers la droite dans le fil qui passe sous la bobine? (b) Dans quel sens est la force magnétique qui s'exerce sur la bobine?



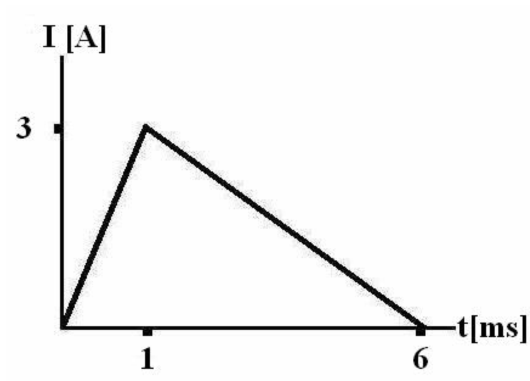
Question 10. (Maximum de 3.5 points) Générateurs et moteurs.

(a) Supposez qu'un générateur soit constitué d'une bobine comptant huit tours d'aire $A = 0.09$ m^2, avec une résistance totale de 12 Ω. Si cette boucle tourne à une fréquence de 60 Hz dans un champ magnétique constant de 0.5 T, calculez la force électromotrice induite maximale $\mathcal{E}_0$, et le courant induit maximal I_0.
(b) Un moteur a un résistance équivalente de 10 Ω et est alimenté par une tension de 120 V. Lorsqu'il roule à vitesse maximale, sa force contre-électromotrice (anglais, *back electromotive force*) est de 70 V. Calculez le

courant circulant dans le moteur au démarrage, à la moitié de la vitesse maximale, et à la vitesse maximale.

Question 11. (Maximum de 4.5 points) Inductance mutuelle.

Un long solénoïde contient n tours par mètre de longueur et a un rayon R. On enroule fermement autour de celui-ci une bobine qui compte N tours, de façon à ce que le solénoïde et la bobine aient pratiquement le même rayon. (a) Quelle est l'inductance mutuelle M de ce système, en termes de N, n et R? (b) Que vaut M si $N = 180$, $n = 12$ tours par centimètre et $R = 5$ mm? (c) Que vaut la force électromotrice $\mathcal{E}$ aux bornes de la bobine si le courant dans le solénoïde est décrit par le schéma ci-dessous?



Question 12. (Maximum de 1.0 point) Transformateurs.

Supposez que la puissance requise pour faire fonctionner le tube cathodique d'une télévision soit de 100 Watts et provienne de la bobine secondaire d'un transformateur. Un courant de 5.6 mA circule dans la bobine secondaire et la bobine primaire est branchée à une tension de 120 V. Quel est le rapport du nombre d'enroulements de la bobine secondaire à la bobine primaire $\frac{N_S}{N_P}$?

Question 13. (Maximum de 1.5 points) Énergie de liaison.

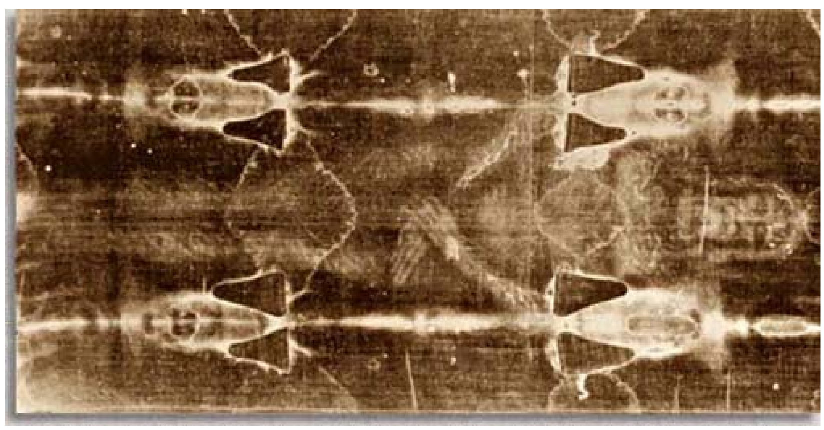
Calculez l'énergie de liaison par nucléon, en MeV, pour les noyaux de niobium ${}^{93}_{41}\mathrm{Nb}$ (masse atomique 92.9063768 u) et d'or ${}^{197}_{79}\mathrm{Au}$ (masse atomique 196.966543 u), sachant que $m_{\mathrm{proton}} = 1.007825$ u et $m_{\mathrm{neutron}} = 1.008665$ u.

Question 14. (Maximum de 3.5 points) Radioactivité.

Les noyaux d'or ${}^{197}_{79}\mathrm{Au}$ ($T_{1/2} = 2.69$ jours) et d'iode ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ ($T_{1/2} = 8.04$ jours) sont tous deux utilisés pour certains diagnostiques médicaux du foie. Lors d'un inventaire, on observe que l'activité de l'or est cinq fois plus élevée que l'activité de l'iode. Après combien de temps les activités des deux éléments seront-elles égales?

Question 15. (Maximum de 1.5 points) Datation au carbone 14.

Le Suaire (anglais, *Shroud*) de Turin est un artéfact connu depuis le Moyen Âge. En 1988, son âge a été calculée par datation au carbone 14 à Oxford, Tucson et Zurich. Les chercheurs ont trouvé que le suaire ne peut avoir été fabriqué avant l'année 1200. Parmi les noyaux de ${}^{14}_{6}C$ présents dans la matière vivante de laquelle le suaire fut fabriqué, quel percentage de noyaux étaient toujours actifs en 1988, sachant que $T_{1/2} = 5730$ années pour le ${}^{14}_{6}C$.



Question 16. (Maximum de 2.0 points) Dosimétrie.

On utilise un faisceau (anglais, *beam*) de noyaux pour traiter le cancer. Chaque noyau a une énergie de 125 MeV, et le facteur biologique relatif (anglais *Relative Biological Effectiveness* RBE) est 14. Ce faisceau est dirigé sur une tumeur de 120 grammes, qui reçoit ainsi une dose équivalente biologique de 200 rem. Combien de noyaux se trouvent dans le faisceau?

Détente: Savez-vous qu'il existe 10 sortes de personnes: celles qui connaissent les nombres binaires, et celles qui ne les connaissent pas :-)

BONNES VACANCES!

PHYSQ 126 : Fluides, champs et radiation.

Aide-mémoire pour l'examen final du jeudi 27 avril 2006.

$$R_s = R_1 + R_2, \qquad R_p^{-1} = R_1^{-1} + R_2^{-1}$$

$$V = RI, \quad P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}, \quad \sum_{\text{boucle}} V = 0, \quad \sum_{\text{noeud}} I = 0$$

$$F = mg, \quad \mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}, \quad F = qvB \sin\theta, \quad \mathbf{F} = I\mathbf{l} \times \mathbf{B}$$

$$P = VI = RI^2, \quad \boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}, \quad v = \omega r, \quad \omega = 2\pi f$$

$$\boldsymbol{\mu} = NIA\mathbf{u}_n, \quad \boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}, \quad \tau = NIAB \sin\theta, \quad \tau = I\alpha$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}, \quad B = \mu_0 n I, \quad B = \frac{\mu_0 NI}{2R}, \quad V - \mathcal{E}_{\text{back}} = RI, \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}$$

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot \Delta\mathbf{A} = \sum_{\text{surface}} B(\Delta A) \cos\phi, \quad \mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}, \quad \mathcal{E} = \overbrace{NBA\omega}^{\mathcal{E}_0} \sin \omega t$$

$$N_1 \Phi_{11} = L_1 I_1, \quad N_1 \Phi_{12} = M I_2, \quad \mathcal{E}_{11} = -L_1 \frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}, \quad \mathcal{E}_{12} = -M \frac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t}, \quad \frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

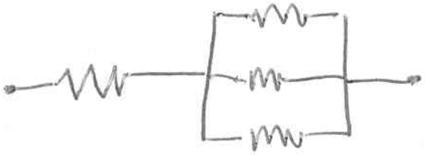
$$B = \left(\sum_j m_j - M \right) c^2, \quad c \approx 3 \times 10^8 \mathrm{m/s}, \quad 1\ \mathrm{u} = 931.5\ \mathrm{MeV/c^2}$$

$$r \approx 1.2 \times 10^{-15}\ A^{1/3}\ \mathrm{m}, \quad N = N_0\, e^{-\lambda t}, \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad R = \left| \frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} \right| = R_0\, e^{-\lambda t}$$

1 Bq = 1 désint./sec, (dose en rem) = (dose en rad) $\times$ (RBE)
1 rad = 0.01 J/kg, 1 MeV= 1.602×10^{-13} J

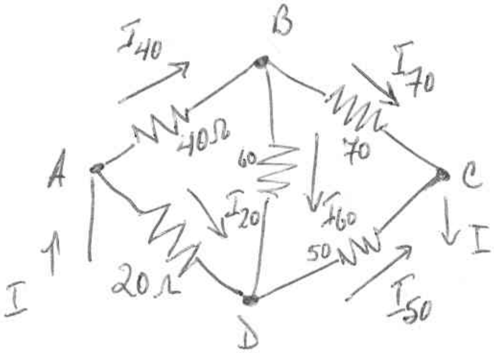
PHYSQ 126 EXAMEN FINAL 27 AVRIL 2006

#1. SCHÉMA ÉQUIVALENT :



$$R_{eq} = R + \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right)^{-1} = R + \frac{R}{3} = \boxed{\frac{4}{3}R}$$

#2.



$\sum_B I$: $I_{40} = I_{60} + I_{70}$

$\sum_{A \text{ ET } C} I$: $I = I_{20} + I_{40} = I_{70} + I_{50}$

$\sum_D I$: $I_{50} = I_{20} + I_{60}$

$\sum_{ABDA} V$: $40 I_{40} + 60 I_{60} - 20 I_{20} = 0$

$\sum_{BCDB} V$: $60 I_{60} + 50 I_{50} - 70 I_{70} = 0$

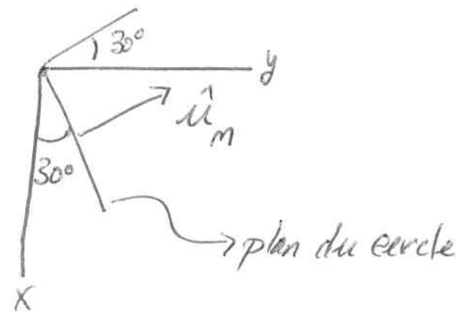
$\sum_{ABCDA} V$: $40 I_{40} + 70 I_{70} - 50 I_{50} - 20 I_{20} = 0$

$\underbrace{40 I_{40} + 70 I_{70}}$

$\sum_{ADCBA} V$: $20 I_{20} + 50 I_{50} - 20 = 0$ D'AUTRES CHEMINS SONT POSSIBLES.

#3. (a) $\vec{\mu} = NIA\,\hat{u}_n$ vu du dessus:

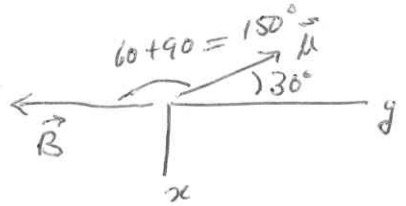
$A = \pi r^2$



$= 40(10)\pi(0,2)^2$

$= \boxed{50,3\ A\cdot m^2}$

(b)



$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

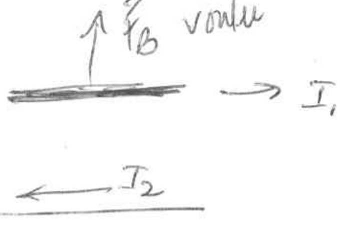
$\tau = \mu B \sin\theta$

$= (50,3)(1,2)\sin 150°$

$= \boxed{30,2\ N\cdot m}$

(c) enroulant les doigts de la main droite de $\vec{\mu}$ vers $\vec{B}$ $\vec{\tau}$ (et donc, $\vec{\omega}$) pointe vers $+Z$. L'ANGLE VA $\boxed{\text{AUGMENTER}}$.

#4. $mg = (0,05)(9,81) = 0,491\ N$ vers le BAS



$\vec{F}_B = I_1\vec{L} \times \vec{B}$ donne $\vec{B}$ ENTRANT $\otimes$

L'ANGLE = 90°

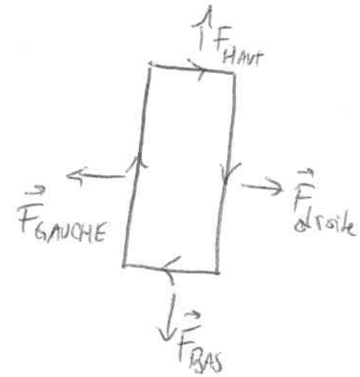
donc I_2 EST vers la GAUCHE.

Loi d'AMPÈRE $B = \dfrac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ T\cdot m/A$ $r = d = 0,05$

$mg = F_B = \dfrac{I_1 L \mu_0 I_2}{2\pi d}$ donne

$I_2 = \dfrac{2\pi\, \overbrace{mg}^{0,491}\, \overbrace{d}^{0,05}}{\mu_0\, \underbrace{L}_{0,1}\, \underbrace{I_1}_{3}} = \boxed{4,09 \times 10^5\ A \quad \text{VERS LA GAUCHE}}$.

#5. (a) PAR LA LOI d'AMPÈRE, $\vec{B}$ ENTRE



$$\vec{F} = I\vec{L}\times\vec{B} = ILB$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

PAR SYMÉTRIE : $\vec{F}_{HAUT} + \vec{F}_{BAS} = \vec{0}$.

$$\vec{F}_{GAUCHE} = I_2\, b\, \frac{\mu_0 I_1}{2\pi c} \quad \text{VERS LA GAUCHE}$$

$$\vec{F}_{DROITE} = I_2\, b\, \frac{\mu_0 I_1}{2\pi (c+a)} < F_{GAUCHE} \quad \text{VERS LA DROITE}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_{GAUCHE} - \vec{F}_{DROITE} = \boxed{\frac{\mu_0 I_1 I_2\, ab}{2\pi (a+c)\, c} \quad \text{VERS LA GAUCHE}}$$

(b) $$F = \frac{4\pi\times10^{-7}\,(15)(5)(0.03)(0.04)}{2\pi\,(0.05)(0.02)} = \boxed{1,80\times10^{-5}\ \checkmark}$$

#6.(a) $\mathcal{E} = \overset{1}{N}\dfrac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ où $\Delta\Phi_B = B(\underbrace{A_f}_{\text{aire du triangle à 5 s}} - \underbrace{A_i}_{0})$

$$A_f = \frac{1}{2}(\overset{vt}{\text{BASE}})(\underbrace{\text{HAUTEUR}}_{\text{BASE}\times\tan 15^\circ})$$

$$= \frac{1}{2}(vt)^2 \tan 15^\circ \qquad \Delta t = t = 5\ \text{s}$$

$$\mathcal{E} = B\frac{1}{2}(vt)^2 \tan 15^\circ \frac{1}{t}$$

$$= \frac{1}{2} B v^2 t (\tan 15^\circ) = \frac{1}{2}(0{,}42)(0.4)^2(5)\tan 15^\circ$$

$\boxed{\mathcal{E} = 45\ \text{mV}}$ (b) $\Phi_B \uparrow$, $B_{ind}\ \odot$; $\boxed{\text{Sens ANTI-HORAIRE}}$

#7. (a) $A_f = 0$ ET $A_i = \pi r^2 = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}\pi d^2$

$$\mathcal{E} = \frac{\overset{1}{N}\,\overset{0.025}{B}(A_f - A_i)}{\underbrace{t}_{0.05}} = -\frac{1}{4}\pi\frac{\overset{0.02}{d}{}^2 B}{t} = \boxed{0.157\ \text{mV}}$$

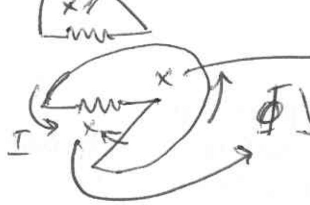
(b) $$\mathcal{E} = \frac{(B_f - B_i)\overset{\frac{1}{4}\pi d^2}{A}}{t} = \frac{(0.1 - 0.025)}{0.004}\frac{1}{4}\pi(0.02)^2$$

$$= \boxed{5.89\ \text{mV}}$$

#8. (a) $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R} = \dfrac{1}{R} \overset{1}{N} \dfrac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ où $\Delta\Phi = B\Delta A$

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\pi R_{rayon}^2}{\text{PÉRIODE}} = \frac{\pi R_{rayon}^2}{(2\pi/\omega)} = \frac{\omega R_{rayon}^2}{2}$$

$$I = \frac{B\omega R_{rayon}^2}{2R} = \frac{(0.003)(25)(0.60)^2}{2\,(3)} = \boxed{4.5 \text{ mA}}$$

(b) 

$\Phi \uparrow$ B_{ind} $\odot$ SENS ANTIHORAIRE

$\Phi \uparrow$ B_{ind} $\odot$

$\Phi \downarrow$ B_{ind} $\otimes$

I

$\boxed{\text{VERS LA DROITE}}$

#9. (a) $\Phi_B \downarrow$, $\vec{B}_{ind} \leftarrow$ I_{ind} $\boxed{\text{VERS LA GAUCHE}}$

(b) $\vec{B}_{ind}$ même sens que $\vec{B}_{ext}$: analogue à

| N S | | N S |

LA BOBINE EST ATTIRÉE $\boxed{\text{VERS LA DROITE}}$

#10. (a) $\mathcal{E}_0 = NAB\overset{2\pi f}{\omega} = (8)(0.09)(0.5)(2\pi \times 60) = \boxed{136 \text{ V}}$

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{R_{\,12}} = \boxed{11.3 \text{ A}}$$

(b) $I = \dfrac{V - \mathcal{E}}{R}$ $\mathcal{E}$ proport. à vitesse : $V = 120$

$R = 10\,\Omega$

$$I_{démarrage} = \frac{120}{10} = \boxed{12 \text{ A}} \qquad I_{V_{max}} = \frac{120 - 70}{10} = \boxed{5 \text{ A}}$$

$$I_{1/2} = \frac{120 - \frac{1}{2}(70)}{10} = \boxed{8.5 \text{ A}}$$

#11. (a) inductance mutuelle définie par $N_2 \Phi_2 = M I_1$

1 : BOBINE SOURCE

2 : BOBINE où Φ VARIE, i.e. Φ_2 EST dû À I_1

$$\Phi_2 = B_{(\text{PAR } 1)} A_2 = (\mu_0 n I_1) \pi R^2$$

$$M = \frac{N_2 \Phi_2}{I_1} = \frac{N \mu_0 n I_1 \pi R^2}{I_1} = \boxed{\mu_0 n N \pi R^2}$$

(b) $M = (4\pi \times 10^{-7})(1200)(180)\pi(0.005)^2 = \boxed{2.13 \times 10^{-5}\, H}$

(c) $\mathcal{E} = -M \frac{\Delta I}{\Delta t}$ → pente

$\frac{3}{10^{-3}} = 3000\ \frac{A}{s}$ de 0 - 1 ms

$\frac{-3}{5 \times 10^{-3}} = -600\ A/s$ de 1 - 6 ms

$$= -(3000)(2.13 \times 10^{-5} H) = \boxed{-63.9\ mV \quad 0 \text{ à } 1 ms}$$

$$+(600)(2.13 \times 10^{-5}) = \boxed{+12,8\ mV \quad 1 \text{ à } 6 ms}$$

#12. $\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$ $\quad P_S = 100\ W \quad I_S = 5,6 \times 10^{-3} A$

$V_S = P_S / I_S \quad ; \quad V_P = 120\ V$

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{P_S}{I_S V_P} = \frac{100}{(5.6 \times 10^{-3})(120)} = \boxed{149}$$

#13. niobium : $93-41=52$

$$\frac{B}{A}=\left(Zm_p+(A-Z)m_n-M\right)\frac{1}{A}$$

$$=\left(41(1{,}007825)+52(1{,}008665)-92.9063768\right)\times\frac{931.5}{93}=\boxed{8.64\ \text{MeV}}$$

Or : $197-79=118$

$$\frac{B}{A}=\left[79(1.007825)+118(1.008665)-196.966543\right]\times\frac{931.5}{197}=\boxed{7.92\ \text{MeV}}$$

#14. $R(t)=R_0\,e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}}t}$ $\quad T_I=8.04\,j,\ T_{Au}=2.69$

où $R_{0,Au}=5R_{0,I}$. On cherche τ tel que

$$R_{Au}(\tau)=R_I(\tau)$$

$$\underbrace{R_{0,Au}}_{5R_{0,I}}\,e^{-\frac{\ln 2}{T_{Au}}\tau}=R_{0,I}\,e^{-\frac{\ln 2}{T_I}\tau}$$

$$5=e^{-\frac{\ln 2}{T_I}\tau+\frac{\ln 2}{T_{Au}}\tau}=e^{-\left(\frac{1}{T_I}-\frac{1}{T_{Au}}\right)\tau\ln 2}$$

$$-\ln 5=\left(\frac{1}{T_I}-\frac{1}{T_{Au}}\right)\tau\ln 2$$

$$\tau=\frac{-1}{\left(\frac{1}{8{,}04}-\frac{1}{2.69}\right)}\frac{\ln 5}{\ln 2}=\boxed{9.28\ \text{jours}}$$

#15. $R = R_0\, e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$

$t = 1988 - 1200 = 788$ ans , d'où

$\frac{R}{R_0} = e^{-\frac{\ln 2}{5730} 788} = \boxed{90.9\%}$

#16. $\text{DOSE RAD} = \frac{\text{DOSE REM}}{\text{RBE}} = \frac{200}{14} = 14,2857$ rad

$\text{DOSE RAD} \times \frac{0.01\ \text{J/kg}}{1\ \text{RAD}} = 0,142857\ \text{J/kg}$

$\text{ÉNERGIE totale} = \left(0,142857\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)(0.12\ \text{kg})\left(\frac{1\ \text{MeV}}{1.602 \times 10^{-13}\ \text{J}}\right)$

$\#\ \text{de noyaux} = \frac{\text{ÉNERGIE totale}}{\text{ÉNERGIE PAR NOYAU}} = \boxed{8.56 \times 10^{8}\ \text{noyaux}}$

125 MeV/noyau