

ANALOGIES ET DIFFERENCES /67

PHYSIQUE I : Interprétation d'un mouvement dans deux référentiels

A - Etude dans le référentiel R du laboratoire :

A-1 Les forces sont : le poids, la réaction et la force élastique.
Le poids et la réaction du support se compensent.

$$\frac{d\vec{L}_o}{dt} = \vec{OM} \wedge \vec{f} = \vec{0} : \text{Il y a conservation du moment cinétique.}$$

$$\text{A-2-1 } \vec{L}_o = cte = \vec{L}_o(t=0) = \vec{0} :$$

Le mouvement est rectiligne suivant l'axe Ox.

$$\text{A-2-2 D'après la relation fondamentale, } m \frac{d^2 l}{dt^2} + k(l - l_o) = 0 : \frac{d^2 l}{dt^2} + \frac{k}{m}(l - l_o) = 0$$

$$l = l_o + A \cos(\omega_o t) + B \sin(\omega_o t) \text{ avec } \omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

$$\text{A } t=0, l = 1.2l_o \text{ et } \frac{dl}{dt} = 0 \text{ alors } A = 0.2l_o \text{ et } B = 0 : l = l_o + 0.2l_o \cos(\omega_o t)$$

$$\text{et } l \in [0.8l_o, 1.2l_o]$$

$$\text{A-3-1 } \vec{L}_o = mr^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right) \vec{k}$$

$$\vec{L}_o = cte = \vec{L}_o(t=0) = ml_1^2 \omega \vec{k}$$

$$\text{A-3-2 La tension dérive d'une énergie potentielle, } E_p = \frac{1}{2} k (r - l_o)^2$$

Il n'y a pas à tenir compte de l'énergie potentielle de pesanteur car le mouvement est dans un plan perpendiculaire à $\vec{g}$. E_p est constante.

Le poids et la réaction ne travaillent pas ici. Il y a conservation de l'énergie mécanique car la tension dérive d'une énergie potentielle.

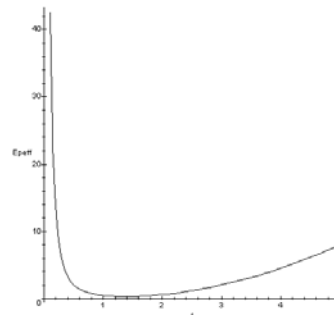
$$E_m = \frac{1}{2} ml_1^2 \omega^2 + \frac{1}{2} k (l_1 - l_o)^2$$

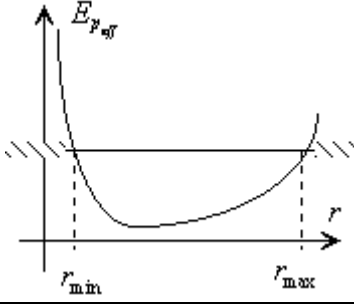
$$E_m = \frac{1}{2} m \left(\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + r^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right) + \frac{1}{2} k (r - l_o)^2.$$

$$\text{A-3-3 } E_m = \frac{1}{2} m \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} m \frac{l_1^4 \omega^2}{r^2} + \frac{1}{2} k (r - l_o)^2 \right)$$

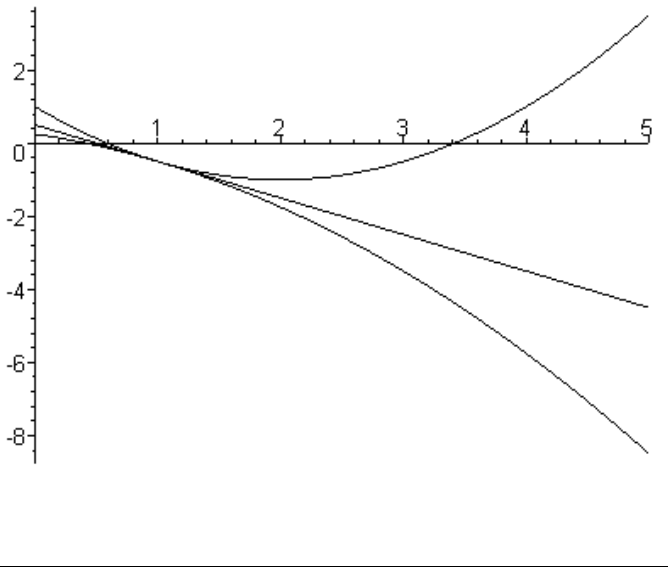
$$E_{p_{eff}} = \frac{1}{2} m \frac{l_1^4 \omega^2}{r^2} + \frac{1}{2} k (r - l_o)^2$$

NB : (G) = graphe.



A-3-4 Si on superpose au graphe précédent, la droite $E_m = \text{cte}$, la trajectoire est toujours bornée entre 2 cercles de rayons $r_{\min}$ et $r_{\max}$. La masse ne peut donc pas s'éloigner indéfiniment. <u>Autre méthode possible :</u> Comme L est constant, OM est borné donc M ne peut aller à l'infini NB : Chaque correcteur appréciera une réponse à sa juste valeur.		
A-3-5 La vitesse ne peut s'annuler à cause de la conservation du moment cinétique.		
A-3-6 La distance r ne peut s'annuler à cause de la conservation du moment cinétique. On peut le constater aussi sur la barrière de potentielle, $r > r_{\min}$.		
A-4-1 Si $r = l_1$ est constant, à cause de la conservation du moment cinétique, $\frac{d\theta}{dt} = \frac{ml_1^2\omega}{mr^2} = \omega$: le mouvement est circulaire uniforme.		
A-4-2 Le mouvement circulaire correspond au minimum de $E_{p_{\text{eff}}}$ pour $r = l_1$. Or, $\frac{dE_{p_{\text{eff}}}}{dr} = -m \frac{l_1^4 \omega^2}{r^3} + k(r - l_o) = 0$ pour $r = l_1$ alors $m \frac{l_1^4 \omega^2}{l_1^3} = k(l_1 - l_o) : (k - m\omega^2)l_1 = kl_o :$ $l_1 = \frac{kl_o}{k - m\omega^2}$ si $\omega < \sqrt{\frac{k}{m}}$ <u>Autre méthode :</u> On peut utiliser la base de Frenet : $m \frac{v^2}{l_1} = k(l_1 - l_o) = m \frac{l_1^2 \omega^2}{l_1}$ alors $l_1 = \frac{kl_o}{k - m\omega^2}$		

B - Etude dans un référentiel R' en rotation uniforme autour d'un axe fixe :

B-1 $\vec{f}_{ie} = m\omega^2 r \vec{e}_r$; $\vec{f}_{ic} = -2m\omega \vec{k} \wedge \frac{dr}{dt} \vec{e}_r = -2m\omega \frac{dr}{dt} \vec{e}_\theta$	
B-2 $\vec{f}_{ie} = m\omega^2 r \vec{e}_r$ dérive d'une énergie potentielle $E_p = -\frac{1}{2} m\omega^2 OM^2 = -\frac{1}{2} m\omega^2 r^2$ + démonstration(D)	
B-3 La force de Coriolis ne travaille pas car orthogonale à la vitesse.	
B-4 $E_p = \frac{1}{2} k(r - l_o)^2 - \frac{1}{2} m\omega^2 r^2$ $\frac{dE_p}{dr} = k(r - l_o) - m\omega^2 r$ soit $\frac{dE_p}{dr} = (k - m\omega^2)r - kl_o$ On a 3 cas possibles : $\omega < \sqrt{\frac{k}{m}}$ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $\omega > \sqrt{\frac{k}{m}}$	
B-5 L'équilibre correspond à $\frac{dE_p}{dr} = 0$ alors $k(l_2 - l_o) = m\omega^2 l_2 : l_2 = \frac{kl_o}{k - m\omega^2}$ si $\omega < \sqrt{\frac{k}{m}}$. L'équilibre est stable car on a un minimum d'énergie potentielle. Le mouvement est circulaire uniforme.	

B-6 On trouve $l_1=l_2$: les deux référentiels sont donc équivalents pour le mouvement circulaire et uniquement pour ce cas bien sûr !!

PHYSIQUE II : Transitoire thermique et électrique

C - Transitoire électrique :

C-1 $u_c(0^+) = 0$ car il y a conservation de l'énergie donc de la tension ; $i(0^+) = \frac{E}{R + R_g}$	
C-2 $E = (R + R_g)C \frac{du_c}{dt} + u_c$	
C-3 $\tau = (R + R_g)C$: temps caractéristique du transitoire : Après quelques τ , on atteint le régime permanent.	
C-4 $u_c(t) = E \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right)$	
C-5 $0.9E = E \left(1 - \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \right)$ alors $t_1 = \ln(10)\tau = 2.3\tau$	
C-6 (2) $e(t)$ et (1) $u_c(t)$ car il y a continuité de u_c	
C-7 Couplage DC (AC "alternative current" étant réservé pour un signal sinusoïdal)	
C-8 Au point P, on a un diviseur de tension : $u_c = \frac{RE}{R + R_o} = \frac{2}{3}E$: $R = 2R_g$: $R_g = 50\Omega$	
C-9 $E=6V$ On mesure le temps de montée : $t_m = 4.5 \cdot 0.1 = 0.45$ ms soit $\tau = 0.2$ ms Alors $C = \frac{\tau}{(R + R_g)} = 1.3 \mu F$ (tolérance entre 1 et 1.5 μF)	
C-10 Il faut que $T > 8 \cdot 2 \cdot 0.1 = 1.6$ ms soit $f < 625$ Hz.	
C-11 On permute R et C ou on utilise la touche (-CH1) et (ADD) de l'oscilloscope ou on dispose d'oscilloscopes à entrée différentielle,.....	

D - Transitoire thermique :

D-1 A pression constante, $\delta Q = dH$. On peut aussi accepter $\delta Q = dU$ car les liquides sont quasiment incompressibles.	
D-2 $dH = (\Gamma + mc) dT = \delta Q = -k(T - T_{ext}) dt + \frac{U^2}{R} dt$ PS : On peut aussi admettre $dH = \delta Q + \delta W_e = -k(T - T_{ext}) dt + \frac{U^2}{R} dt$ Alors $\frac{dT}{dt} + \frac{k}{\Gamma + mc} T = \frac{k}{\Gamma + mc} \left(\frac{U^2}{Rk} + T_{ext} \right)$ alors	

$\tau = \frac{mc + \Gamma}{k}$ et $T_M = \frac{U^2}{Rk} + T_{ext}$	
T_M est la température en régime permanent : l'effet joule compense alors les fuites thermiques.	
D-3 $dH = (\Gamma + mc) dT = \delta Q = -k(T - T_{ext}) dt$: $\frac{dT}{dt} + \frac{k}{\Gamma + mc} T = \frac{k}{\Gamma + mc} T_{ext}$ $T(t) = T_{ext} + (T_o - T_{ext}) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$	
D-4 On trace la tangente à l'origine : $\tau = 120s$ (tolérance entre 100 et 150 s) et $T_{ext} = 20^\circ C$ Alors $k = \frac{mc + \Gamma}{\tau} = 7.38 \text{ W/K}$.	
D-5 On lit $T_o = 45^\circ C$. $\Delta S_{calorimètre} = \int_{T_o}^{T_{ext}} \frac{\Gamma dT}{T} = \Gamma \ln\left(\frac{T_{ext}}{T_o}\right) = -4.09 \text{ J.K}^{-1}$ $\Delta S_{eau} = \int_{T_o}^{T_{ext}} \frac{mc dT}{T} = mc \ln\left(\frac{T_{ext}}{T_o}\right) = -68.41 \text{ J.K}^{-1}$ $S_e = (mc + \Gamma) \frac{T_{ext} - T_o}{T_{ext}} = -75.56 \text{ J.K}^{-1}$ $S_c = \Delta S_{eau} + \Delta S_{calorimètre} - S_e = 3.05 \text{ J.K}^{-1} > 0$ Cela traduit l'irréversibilité de la transformation.	

PHYSIQUE III : Les champs électrostatiques et magnétostatiques

E- Champ électrostatique crée par une spire :

E-1 Champ sur l'axe :

E-1-1 Le plan passant par M et contenant le diamètre de l'anneau ne modifie pas globalement la distribution donc le champ $\vec{E}$ est à l'intersection de tous ces plans donc $\vec{E}$ est suivant Oz.

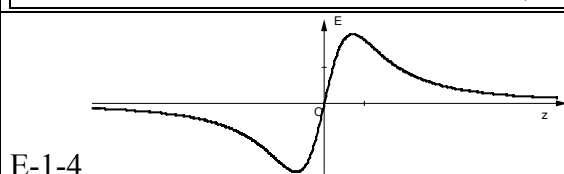
E-1-2 Une symétrie par rapport au plan de l'anneau transforme z en -z et E en -E donc $E(-z) = -E(z)$.

E-1-3 On projette suivant l'axe $\vec{OM}$.

$$\vec{E} \cdot \vec{k} = \int_{spire} \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \lambda \frac{\vec{PM} \cdot \vec{k}}{PM^3} dl \text{ avec } PM = r = \text{cte}; \vec{PM} \cdot \vec{k} = r \cos(\alpha) = \text{cte}, dl = R.d\theta$$

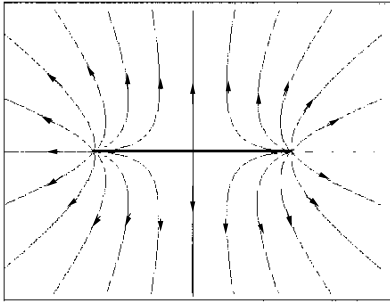
$$\vec{E} \cdot \vec{k} = \int_{spire} \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \lambda \frac{\vec{PM} \cdot \vec{k}}{PM^3} dl = \int_0^{2\pi} \frac{\lambda \cos(\alpha)}{4\pi\epsilon_o r^2} R d\theta \quad E = \vec{E} \cdot \vec{k} = \int_0^{2\pi} \frac{\lambda \cos(\alpha)}{4\pi\epsilon_o r^2} R d\alpha = \frac{2\pi\lambda R \cos(\alpha)}{4\pi\epsilon_o r^2}$$

$$E = \frac{\lambda R \cos(\alpha) \sin^2(\alpha)}{2\epsilon_o R^2} = \frac{\lambda z R}{2\epsilon_o \sqrt{z^2 + R^2} (z^2 + R^2)} \quad E = \frac{\lambda z R}{2\epsilon_o \sqrt{(z^2 + R^2)^3}} = \frac{zQ}{4\pi\epsilon_o \sqrt{(z^2 + R^2)^3}}$$



E-2 Champ au voisinage de l'axe :

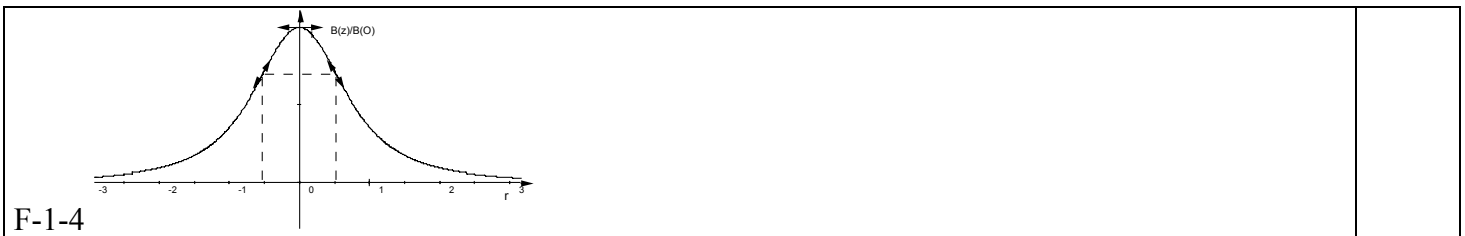
E-2-1 Le plan passant par l'axe Oz laisse la spire invariante donc E est appartient au plan de symétrie donc $E_\theta = 0$.

E-2-2 Toute rotation autour de l'axe Oz à r et z fixés ne modifie pas le champ $\vec{E}$ donc E ne dépend pas de θ .	
E-2-3 Le champ $\vec{E}$ est à flux conservatif en l'absence de charge car d'après le théorème de Gauss : $\phi = \iiint_{(S)} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} = 0$ Le champ $\vec{E}$ est toujours à circulation conservative.	
E-2-4 Si on considère un cylindre de hauteur dz et de section circulaire alors $E(z+dz)\pi r^2 - E(z)\pi r^2 + 2\pi r dz E_r(r,z) = 0. \text{ Alors } E_r(r,z) = -\frac{r}{2} \frac{dE_z(z)}{dz}$ $\frac{dE}{dz} = \frac{\lambda R}{2\epsilon_0} \left(\frac{1}{(z^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{3}{2} \frac{2z^2}{(z^2 + R^2)^{\frac{5}{2}}} \right) \text{ soit } \frac{dE}{dz} = \frac{\lambda R(R^2 - 2z^2)}{2\epsilon_0(z^2 + R^2)^{\frac{5}{2}}} : E_r(r,z) = -\frac{r}{2} \frac{dE}{dz} = -\frac{\lambda r R(R^2 - 2z^2)}{4\epsilon_0(z^2 + R^2)^{\frac{5}{2}}}$	
	
E-2-5-1 Les lignes de champ divergent de l'anneau.	
E-2-5-2 A grande distance, la distribution est équivalente à une charge ponctuelle. On aura des droites issues de O.	
E-2-5-3 Les équipotentiels tendent vers des sphères (ou des cercles en coupe)	
E-2-5-4 Sur une équipotentielle, $V = \text{cte}$ alors $dV = 0$ alors $\vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$: $\vec{E}$ est orthogonal à l'équipotentielle. On a une équipotentielle à 2 nappes donc le champ E doit être nul à l'intersection ce qui est le cas.	
E-2-5-5 E_r est < 0 si $z < \frac{R}{\sqrt{2}}$ et > 0 au delà donc E s'approche de l'axe avant de s'éloigner.	

F- Champ magnétostatique créé par une spire parcourue par un courant I :

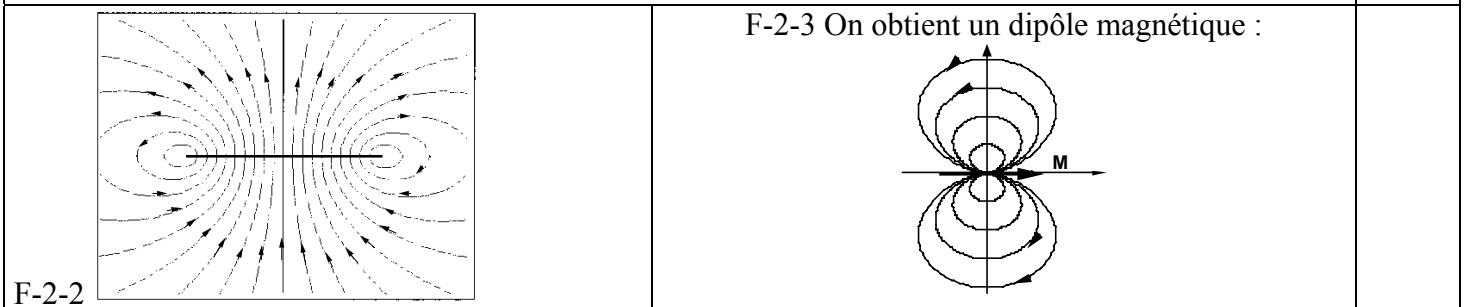
F-1 Champ sur l'axe :

F-1-1 Si on fait une symétrie par rapport au plan P passant par l'axe du disque, celui-ci transforme le courant en son opposé alors $\vec{B}$ est invariant par cette symétrie donc $\vec{B}$ appartient à l'axe: $\vec{B} = B\vec{k}$	
F-1-2 Une symétrie par rapport à la distribution des courants transforme z en -z sans modifier $\vec{B}$ donc $B(z) = B(-z)$.	
F-1-3 $\vec{B} \cdot \vec{k} = B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint_{\text{circuit}} \left(d\vec{l} \wedge \frac{\vec{u}}{r^2} \right) \cdot \vec{k}$. Or, $r^2 = R^2 + z^2$ est une constante dans l'intégration. $(d\vec{l} \wedge \vec{u}) \cdot \vec{k} = dl \sin \alpha$: $\sin \theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + z^2}}$ alors $B(z) = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \sin \alpha \frac{R d\phi}{R^2 + z^2} = \frac{\mu_0 I R^2}{2(\sqrt{R^2 + z^2})^3} = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3 \alpha$ $B(z) = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3 \alpha = B_0 \frac{1}{\left(\sqrt{1 + \frac{z^2}{R^2}} \right)^3}$ avec $\tan(\alpha) = \frac{R}{z}$. Au centre, $\alpha = \frac{\pi}{2}$ donc $\boxed{B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \vec{k}}$	



F-2 Champ au voisinage de l'axe :

F-2-1 Le plan passant par l'axe Oz laisse la spire invariante mais transforme I en -I, comme B est antisymétrique appartient au plan de symétrie donc $B_\theta = 0$. Toute rotation autour de l'axe Oz à r et z fixés ne modifie pas le champ $\vec{B}$ donc B ne dépend pas de θ.	
---	--

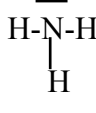
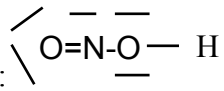
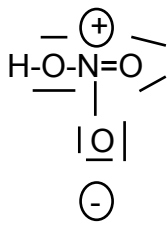


F-2-4 Les lignes de champs électrostatiques divergent des sources alors que les lignes de champs magnétiques circulent autour des sources.	
---	--

F-2-5 Le champ $\vec{B}$ est toujours à flux conservatif et au voisinage de l'axe où il n'y a pas de courant, $\vec{B}$ est à circulation conservative. On a les mêmes propriétés que pour le champ $\vec{E}$ donc les mêmes conclusions. $B_r(r, z) = -\frac{r}{2} \frac{dB_z(z)}{dz}$	
---	--

F-2-6 $B_r(r, z) = -\frac{r}{2} \frac{dB_z(z)}{dz} = +B_o \frac{3zr}{2R^2} \frac{1}{\left(\sqrt{1 + \frac{z^2}{R^2}}\right)^5}$	
---	--

I- Structure

I-1 Z=7 : N(1s) ² (2s) ² (2p) ³				
I-2				
$\text{NH}_3 :$  $\text{HNO}_2 :$  $\text{HNO}_3 :$ 				
I-3 molécule	p+q	Polyèdre de coordination XpEq	formule structurale	forme de la molécule AXm
NH ₃	4	tétraèdre	AX3E1	pyramide à base triangulaire
HNO ₃	3	triangle	AX3E0	triangulaire équilatérale
HNO ₂	3	équilateral	AX2E1	Coudée à environ 120°
I-4 Contrairement au phosphore, l'azote qui appartient à la deuxième période doit vérifier la règle de l'octet. NF ₆ ⁻ ne peut donc exister.				

II - Les propriétés acido-basiques de NH₃

II-1 $\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$:	
La constante d'équilibre est $K = 10^{9.2} \gg 1$: La réaction est quasiment totale.	
II-2 Les deux pentes sont >0 mais la seconde pente est plus élevée car la mobilité de H_3O^+ est plus élevée que NH_4^+ .	
II-3 A l'équivalence, $C_a V_a = C_b V_b$ alors comme $V_a = 9 \text{ mL}$ alors $C_b = 0,09 \text{ mol.L}^{-1}$	

III - Les propriétés complexantes de NH₃: Mesure de log(β₄) pour Cu(NH₃)₄²⁺: (/14.5)

III-1 $\beta_1 = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}]}{[\text{NH}_3][\text{Cu}^{2+}]}$; $\beta_2 = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}]}{[\text{NH}_3]^2[\text{Cu}^{2+}]}$; $\beta_3 = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}]}{[\text{NH}_3]^3[\text{Cu}^{2+}]}$; $\beta_4 = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}{[\text{NH}_3]^4[\text{Cu}^{2+}]}$ $K_{d1} = \frac{[\text{NH}_3][\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}]}$; $K_{d2} = \frac{[\text{NH}_3][\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}]}{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}]}$; $K_{d3} = \frac{[\text{NH}_3][\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}]}{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}]}$; $K_{d4} = \frac{[\text{NH}_3][\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}]}{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}$ alors $K_{d1} = \frac{1}{\beta_1}$; $K_{d2} = \frac{\beta_1}{\beta_2}$; $K_{d3} = \frac{\beta_2}{\beta_3}$; $K_{d4} = \frac{\beta_3}{\beta_4}$ alors $pK_{d1} = \log(\beta_1) = 4.2$; $pK_{d2} = \log(\beta_2) - \log(\beta_1) = 3.4$; $pK_{d3} = \log(\beta_3) - \log(\beta_2) = 3$ $pK_{d4} = \log(\beta_4) - \log(\beta_3) = 2$	
---	--

	$Cu(NH_3)_4^{2+}$	$Cu(NH_3)_3^{2+}$	$Cu(NH_3)_2^{2+}$	$Cu(NH_3)^{2+}$	Cu^{2+}	
III-2	2	3	3.4	4.2	pNH_3	
III-3-1 L'ammoniaque est en excès et les espèces intermédiaires ne sont jamais majoritaires donc on a la forme la plus stable : $Cu(NH_3)_4^{2+}$ $Cu^{2+} + 4NH_3 \rightleftharpoons Cu(NH_3)_4^{2+}$						
III-3-2 Attention : On a une dilution d'un facteur 2 lors du mélange : La réaction étant fortement avancée : $Cu^{2+} + 4NH_3 \rightleftharpoons Cu(NH_3)_4^{2+}$ CI 0,005 0,5 C _{eq} ε 0,48 0,005 $[NH_3] = 0,48 mol.L^{-1}$; $[Cu(NH_3)_4^{2+}] = 0,005 mol.L^{-1}$; $[Cu^{2+}] = \frac{[Cu(NH_3)_4^{2+}]}{\beta[NH_3]^4} = 2.36.10^{-14} mol/L$						
III-4-1 $E = E^\circ(Cu^{2+}/Cu) + 0,03 \log([Cu^{2+}])$ Alors, $U = E^\circ(Cu^{2+}/Cu) + 0,03 \log([Cu^{2+}]_A) - E^\circ(Cu^{2+}/Cu) + 0,03 \log([Cu^{2+}]_B)$ $U = 0,03 \log\left(\frac{[Cu^{2+}]_A}{[Cu^{2+}]_B}\right) = 349 mV$						
III-4-2 (+) $Cu Cu^{2+} Cu(NH_3)_4^{2+} Cu(-)$						
III-4-3 A la cathode (+) : $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$ A l'anode (-) : $Cu + 4NH_3 \rightleftharpoons Cu(NH_3)_4^{2+} + 2e^-$ Le bilan : $Cu^{2+} + 4NH_3 \longrightarrow Cu(NH_3)_4^{2+}$						
III-4-4 Le pont salin assure la conduction des ions.						

IV - Les propriétés thermodynamiques de NH₃:

La réaction : $N_2 + 3 H_2 \rightleftharpoons 2 NH_3$		
IV-1	$\Delta_r H^\circ(298) = 2\Delta_f H^\circ(NH_3) = -92,42 kJ.mol^{-1}$	
IV-2	$\Delta_r H^\circ(770) = \Delta_r H^\circ(298) + \int_{298}^{770} (2C_{p_{NH_3}} - C_{p_{N_2}} - 3C_{p_{H_2}}) dT$ $\Delta_r H^\circ(770) = \Delta_r H^\circ(298) + (2C_{p_{NH_3}} - C_{p_{N_2}} - 3C_{p_{H_2}})(770 - 298)$ $\Delta_r H^\circ(1000) = -120.85 kJ/mol$ La réaction est exothermique.	
IV-3	$4NH_3 + 5O_2 \longrightarrow 4NO + 6H_2O$	
IV-4-1	La probabilité de collision entre 3 molécules est nulle.	
IV-4-2	Le mécanisme est par stade car l'intermédiaire créé à l'étape i et consommé à l'état i+1	
IV-4-3	$\frac{d[NO_2]}{dt} = 2k_2[N_2O_2][O_2]$. Or, $\frac{[N_2O_2]}{[NO]^2} = \frac{k_1}{k_{-1}}$ alors $v = k_2 \frac{k_1}{k_{-1}} [NO]^2 [O_2]$: ordre 3	