TUTORAT UE 3A 2015-2016 – Biophysique
CORRECTION Séance n°7 – Semaine du 26/10/2015

RMN 1
Pr. ZANCA

<u>*QCM n°1 :*</u> **D**

A. Faux. χ_m représente la susceptibilité magnétique et pas la susceptibilité électrique. De plus, $\mu = \mu_0.(1+\chi_m)$.
B. Faux. C'est l'inverse : $\vec{\mu} = \gamma.\vec{L}$.
C. Faux. Le neutron ne possède pas de charge apparente. Cependant, comme il possède un spin non nul, on considère que tout se passe comme si il avait une charge électrique (on prendra la même que le proton : e). La charge électrique du neutron s'explique par le fait que le neutron est composé de quarks, eux-mêmes non neutres. Le neutron participe donc au magnétisme nucléaire ➔ Pour déterminer le spin d'un atome, il faut à la fois connaitre le nombre de protons et de neutrons. Un proton ou un neutron « célibataire » confèrera un spin de ½ au spin global du noyau,
D. **Vrai**.
E. Faux. Attention c'est l'inverse. Bien faire attention à la nuance entre m et s. Pour un noyau donné : le nombre quantique de spin s a toujours une seule valeur possible alors que le nombre quantique magnétique m peut en prendre plusieurs. Plus précisément, m prend 2s+1 valeurs comprises entre –s et +s par pas de 1.

<u>*QCM n°2 :*</u> **A, D, E**

A. **Vrai.** Le nombre d'états énergétiques possibles est égal au nombre de valeurs que peut prendre m, soit 2S+1 valeurs. Ainsi, plus S est grand, plus il y a un nombre important d'états d'énergie.
B. Faux. $\vec{s} = \hbar\sqrt{(s(s+1)}$
C. Faux. $\vec{\mu} = \gamma\hbar\sqrt{(s(s+1)}$
D. **Vrai.** $\boldsymbol{\cos\theta} = \frac{\boldsymbol{m}}{\sqrt{(\boldsymbol{s}(\boldsymbol{s}+\mathbf{1}))}}$
E. **Vrai**

<u>*QCM n°3 :*</u> **E.**

A. Faux. $\gamma_s = g_s.\frac{-e}{2m_e}$ ➔ $g_s = \frac{\gamma_{s}.2m_e}{-e} = \frac{-1{,}758.10^{11}.2.9{,}11.10^{-31}}{-1.6.10^{-19}}$ = +2,002
B. Faux. Cf. item A
C. Faux. $|\vec{\mu}| = \gamma\hbar\sqrt{s(s+1)} = |-1{,}758.10^{11}|.\left(\frac{6{,}62.10^{-34}}{2\pi}\right).\sqrt{0{,}5.(0{,}5+1)} = 1{,}6.10^{-23}\ USI$
D. Faux. $|\vec{s}| = \hbar\sqrt{s(s+1)} = \left(\frac{6{,}62.10^{-34}}{2\pi}\right).\sqrt{0{,}5.(0{,}5+1)} = 9{,}12.10^{-35}\ USI$
E. **Vrai.** $\gamma_{oe} = \frac{-e}{2m_e} = \frac{-1{,}6.10^{-19}}{2.9{,}11.10^{-31}} = -8{,}78.10^{10}\ C.kg^{-1}$

<u>*QCM n°4 :*</u> **D.**

A. Faux. C'est la composante transversale macroscopique qui est nulle. D'autre part, la composante longitudinale est non nulle et orientée dans le même sens que $\overrightarrow{B_0}$ du fait de la différence de population entre les deux parties du bi-cône. En effet, on retrouve plus de spins up (α) que de spins down (β).

B. Faux. Fluor : Z=9 et N=10. Donc 1 proton célibataire et aucun Neutron célibataire. Le spin est donc de ½.

C. Faux. S = ½ donc m peut prendre les valeurs ±½ et $cos\theta = \frac{m}{\sqrt{s(s+1)}}$ ainsi $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{0,5}{\sqrt{(0,5.(0,5+1))}}\right) = 54,74°$ ou $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{-0,5}{\sqrt{(0,5.(0,5+1))}}\right) = 125,26°$ qui correspond aussi à -54,74 ° (cf cours)

D. **Vrai.** Cf. Item C.

E. Faux. C'est l'inverse, pour obtenir une aimantation macroscopique significative, il faudrait que le champ magnétique naturel de la terre surpasse les mouvements d'agitation thermiques (mouvements browniens), ainsi il faudrait diminuer la température du dentifrice au plus proche du 0 absolu (-273,15°C)

QCM n°5 : **B, C**

A. Faux. L'énergie des spins à un niveau m vaut : $\mathrm{E_m} = -\gamma\hbar \mathrm{m} \mathrm{B_0}$ .Or, 2 niveaux énergétiques successifs sont séparés de 1 en terme de nombre quantique magnétique (Δm= ± 1). Ainsi on peut noter que l'écart d'énergie (en valeur absolue) entre deux niveaux successifs $\Delta E_m = \gamma\hbar\Delta m B_0 = \gamma\hbar B_0$ (prendre cet écart en valeur absolue)

B. **Vrai.**

C. **Vrai.** Loi de Boltzmann : $\frac{n_\alpha}{n\beta} = e^{-\frac{E\alpha - E_\beta}{K.Teq}}$ Ainsi, on voit bien que le rapport $\frac{n_\alpha}{n_\beta}$ entre les spins pseudo parallèles (up) et les spins pseudo anti-parallèles (down) suit une loi exponentielle.

D. Faux. Il y a à peine plus de spins up que down. Dans le cours, il est dit que l'écart entre les spins pseudo parallèles(up) et pseudo anti-parallèles (down) rapporté sur le nombre total de spins est de l'ordre de 10^{-5} dans le cas du proton (300K, B_0 =1T). Ainsi, pour environ 1 million de spins, il y en a environ 500 010 en up et 500 000 en down. La RMN est donc une technique très peu sensible.

E. Faux. 2S+1 valeurs

QCM n°6 : **B, C**

A. Faux. Le champ magnétique dépend des caractéristiques du milieu, en revanche le champ magnétisant en est indépendant. $\vec{B} = \vec{H} \times \mu$, avec μ la perméabilité magnétique du milieu.

B. **Vrai**. Par définition. Notons que la susceptibilité du milieu ne présente pas de dimension, Or, $\vec{\mathrm{J}} = \chi_{\mathrm{m.}} \vec{\mathrm{H}}$,
➔ le champ magnétisant $\vec{\mathrm{H}}$ et l'intensité d'aimantation $\vec{\mathrm{J}}$ ont la même unité.

C. **Vrai.** L'intensité d'aimantation $\vec{\mathrm{J}} = \vec{\mathrm{H}} \times \chi_{\mathrm{m}}$ avec χ_m la susceptibilité magnétique. De plus $\vec{\mathrm{B}} = \vec{\mathrm{H}} \times \mu$ ainsi $\vec{\mathrm{J}} = \frac{\vec{\mathrm{B}}}{\mu} \times \chi_{\mathrm{m}}$.

D. Faux. Le champ magnétique terrestre peut induire une aimantation macroscopique si la température diminue suffisamment, (diminution des mouvements browniens). $\overrightarrow{B_{Ter}}$ suffit si l'énergie magnétique associée ($\overrightarrow{B_{Ter}} \times \overrightarrow{\mu}$) suffit à contrer les effets de la température (énergie thermique kT, loi de Boltzman).

E. Faux. Une charge statique ne génère aucun champ magnétique.

QCM n°7 : **B,D,E**

L'expérience de RMN est possible uniquement avec des noyaux de spin résultant non nul

A. Faux. A=14, Z=8, N=14-8=6, aucun proton ou neutron célibataires, le spin résultant est de 0 O
B. **Vrai.** A=13, Z=6, N=13-6=7, 1 neutron est célibataire, le spin résultant est de ½
C. Faux. A=2, Z=1, N=A-Z=1, 1 neutron et 1 proton célibataires, le spin résultant est de 1
D. **Vrai.** A=31, Z=15, N=31-15=16, 1 proton est célibataire, le spin résultant est de ½
E. **Vrai.** A=29, Z=14, N=29-14=15, 1 neutron est célibataire, le spin résultant est de ½

QCM n°8 : **A, D**

A. **Vrai.** Le paramagnétisme est caractérisé par une asymétrie moléculaire car il concerne les spins célibataires.
B. Faux. C'est la définition du paramagnétisme. Le diamagnétisme correspond à une polarisation par distorsion des couples de spins et des mouvements des spins orbitaux.
C. Faux. La distorsion et l'orientation des spins nucléaires sont bien négligeables par rapport à celles des électrons. En revanche les spins nucléaires sont bien ceux qui seront sollicités au cours de l'expérience de RMN.
D. **Vrai.** $\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{p}$ Or, $\vec{p}$ = m x $\vec{v}$. Ainsi si m augmente, le module de $\vec{L}$ augmente.
E. Faux. Le neutron ne possède pas de charge « apparente ». Cependant, comme il possède un spin non nul, on considère que tout se passe comme si il avait une charge électrique (on prendra la même que le proton : e). La charge électrique du neutron s'explique par le fait que le neutron est composé de quarks, eux-mêmes non neutres. Le neutron participe donc au magnétisme nucléaire.

QCM n°9 : **B, D**

A. Faux.

$\eta = \gamma$ B1 τ => $\tau = \frac{\eta}{B1.\gamma}$

$\omega 0 = 2\pi\, \nu 0 = \gamma$ B0 => $\gamma = \frac{\omega 0}{B0}$ Larmor= condition de résonnance

$\tau = \frac{\eta}{B1.\frac{\omega 0}{B0}} = \frac{\pi/3}{34\times 10^{-6} \times \frac{6{,}16.10^7}{3}}$ = 1,5 x 10^{-3} s

En effet η= 60° = $\pi/3$ radians

Et $\omega 0$= 5,88 x 10^8 tours. $min^{-1} = \frac{5{,}88.10^8\times 2\pi}{60}$ = 6,16 x 10^7 rad.s^{-1}.

B. **Vrai.**
C. Faux. A l'application du champ B0 le voxel contenant les spins soumis à résonnance passe d'un état oursin (=dégénérescence énergétique) à un état bicone, $\overrightarrow{B_0}$ révèle 2S+1 niveaux d'énergie par levée de dégénérescence Zeeman. De plus, les spins se répartissent sur les niveaux énergétiques selon Boltzmann (à l'équilibre).
D. **Vrai** $\omega_0 = 2\pi.\nu_0$ => $\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\frac{5{,}88.10^8\times 2\pi}{60}}{2\pi}$ = 9,8 x 10^6 Hz = 9,8 x 10^6 s^{-1}. Pour convertir la pulsation donnée en tours.min^{-1}, penser à diviser par 60 et multiplier par 2π. De plus, comme pour obtenir la fréquence on divise par 2π, on peut directement diviser la valeur donnée en tours.min^{-1} pour obtenir la fréquence.
E. Faux. $\omega_1 = \gamma B_1 = 2\pi.\nu_1 \leftrightarrow \nu_1 = \frac{\gamma B1}{2\pi} = \frac{\frac{\omega_0}{B_0}\times B_1}{2\pi} = \frac{\frac{5{,}88.10^8\times 2\pi}{60\times 3}\times 34.10^{-6}}{2\pi} = 111{,}07\ Hz.$

QCM n°10 : **C**

A. Faux. Les spins (=moments magnétiques de spin μ) ne s'alignent JAMAIS sur Bo car l'énergie est quantifiée par m, mais moment magnétique macroscopique M oui.
B. Faux.
On sait que cos θ = = $\frac{m}{\sqrt{s(s+1)}}$ et que m peut prendre 2S+1 valeurs comprises entre [-S ; +S] par pas de 1. Avec un s = $\frac{5}{2}$ on a donc 2S + 1 = 2× $\frac{5}{2}$ + 1 = 6 valeurs de m possibles :
m= {- $\frac{5}{2}$ - $\frac{3}{2}$; - $\frac{1}{2}$; +$\frac{1}{2}$; +$\frac{3}{2}$; +$\frac{5}{2}$}.

θ est toujours différents de zéro. Pour avoir le plus petit angle, il suffit d'appliquer la formule avec m le plus grand. En effet on veut le cosinus le plus proche de 1 pour que l'angle soit le plus proche de 0° donc, qu'il soit le plus petit possible. On peut dire que l'on prend le μ (spin) le plus proche de B_0.

cos θ $= \frac{m}{\sqrt{s(s+1)}}$ => α = $\cos^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{s(s+1)}}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{\frac{5}{2}}{\sqrt{\frac{5}{2}(\frac{5}{2}+1)}}\right)$ = 32°.

C. **Vrai.** Cf item B.
D. Faux. Cf item B.
E. Faux. Cf item B.

QCM n°11 : **F**

A. Faux. Le moment magnétique m peut prendre 2S+1 valeurs donc ici 2 x 3/2 + 1 = 4 valeurs. Figure du double bicône l'un dans l'autre.
B. Faux.
C. Faux. $\cos\theta = \frac{m}{\sqrt{s(s+1)}}$ ici m peut être égal à +3/2, +1/2, -1/2 et -3/2.
Rq : pour trouver l'angle le plus grand il faut prendre le moment magnétique le plus petit.
A.N. : $\cos\theta = \frac{-3/2}{\sqrt{3/2(\frac{3}{2}+1)}}$ → $\theta = 141°$. Attention on raisonne en valeur absolue de m et on donne les angles θ en =+/- x°
On a donc deux angles, un pour m = 1/2 (en valeur absolue) et cosθ = $\frac{1}{\sqrt{15}}$
et un pour m = 3/2 (en valeur absolue) et cosθ = $\frac{3}{\sqrt{15}}$ donc θ = 39,2°. Le plus petit angle vaut 39,2°.
Cf diapo 40 cours RMN Michel Zanca.
D. Faux. C'est le plus grand angle qui vaut 141°.
E. Faux.

QCM n°12 : **D**

A. Faux.$\omega = 2\pi f$ et $\omega = \gamma Bo$
donc $\gamma Bo = 2\pi f$ $\quad f = \frac{\gamma Bo}{2\pi}$
A.N. : $f = \frac{70{,}8.10^6 \times 1{,}5}{2\pi} = 16{,}9.10^6 Hz.$
B. Faux.
C. Faux.
D. **Vrai**.
E. Faux.

QCM n°13 : **A, B**

A. Vrai.
B. **Vrai.** On le retrouve notamment dans l'eau (H_2O) et les lipides qui contiennent de longues chaînes carbonées riches en hydrogène.
C. Faux. L'hydrogène possède le rapport gyromagnétique le plus élevé soit 42,6 MHz/T parmi tous les atomes de notre organisme. Ce sont également les atomes les plus abondants (champignons gras). A noter que même si les électrons ont un rapport gyromagnétique supérieur à celui des protons, il n'est pas possible de réaliser de la RMN avec les électrons.
D. Faux. C'est l'inverse ! Le magnétisme nucléaire est 10^3 fois plus faible que le magnétisme électronique.
E. Faux. $\mu_p = \gamma_p . S_p$ donc le moment magnétique est bien proportionnel au moment cinétique. Cependant la constante de proportionnalité est γ_p et $\gamma_p = g_p .\frac{e}{2mp}$, elle est donc inversement proportionnelle à la masse du proton.

QCM n°14 : **A, E**

A. **Vrai.** En effet, ils possèdent tous les deux un spin de ½ soit 2x ½ +1 = 2 possibilités d'orientation.
B. Faux. $\cos\theta = \frac{m}{\sqrt{s(s+1)}}$ donc les angles θ possibles sont identiques pour les 2 espèces.
C. Faux. cf item B.
D. Faux. Le $\theta_{min} = \cos^{-1}\left(\frac{0{,}5}{\sqrt{(0{,}5\times(0{,}5+1))}}\right) = 54{,}74°$. Il correspond donc à une valeur de m_s= + ½ et m= -1/2.
E. **Vrai.** Ou $\theta_{max} = 180 - \theta_{min}$ pour les angles en degré.

<u>QCM n°15 :</u> **C, E**

A. Faux. L'intensité d'aimantation J correspond à une aimantation par unité de volume autrement dit $J = M_0 / V$ soit $2.10^{-8} / 2.10^{-9} = 10$ $A.m^{-1}$.
La susceptibilité magnétique $|\chi_m| = J/H$ car $J = \chi_m . H$.
$H = B/\mu = 3 / 4\pi 10^{-7} = 2{,}39.10^{6}$ $A.m^{-1}$
ainsi $|\chi_m| = 10 / 2{,}39.10^{6} = 4{,}19.10^{-6}$
Cependant le matériau est repoussé par un aimant, le χ_m est donc négatif soit $- 4{,}19.10^{-6}$ et non pas positif.

B. Faux. cf item A.

C. **Vrai.**

D. Faux. Le matériau est diamagnétique c'est-à-dire qu'il ne s'oriente qu'en présence d'un champ magnétisant extérieur.

E. **Vrai.** Une aimantation rémanente est le fait qu'un objet aimanté conserve ses propriétés magnétiques après la suppression du champ magnétisant. De ce fait, l'objet reste aimanté dans le temps.