
Examen du module : Radio-biologie

Master 2 Physique - Option : Biophysique et Imagerie

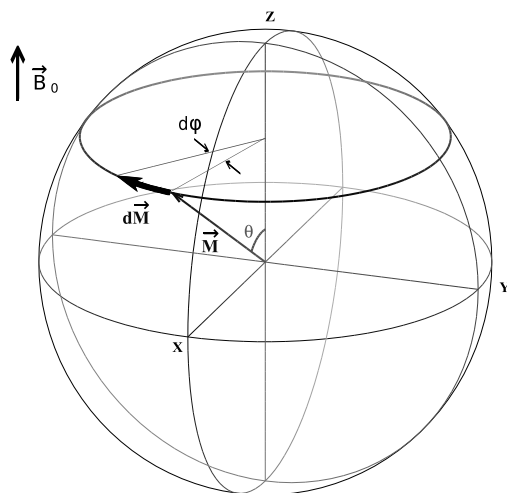
DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2H30MIN.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

SANS MOYEN DE COMMUNICATION, SANS DOCUMENT
LE 14 FÉVRIER 2015.

Exercice 01 (4.75 pts)

En adoptant le concept vectoriel, on représente le spin par un vecteur qui n'est pas aligné sur le champ magnétique d'intensité B_0 , comme le montre la figure ci-dessous.

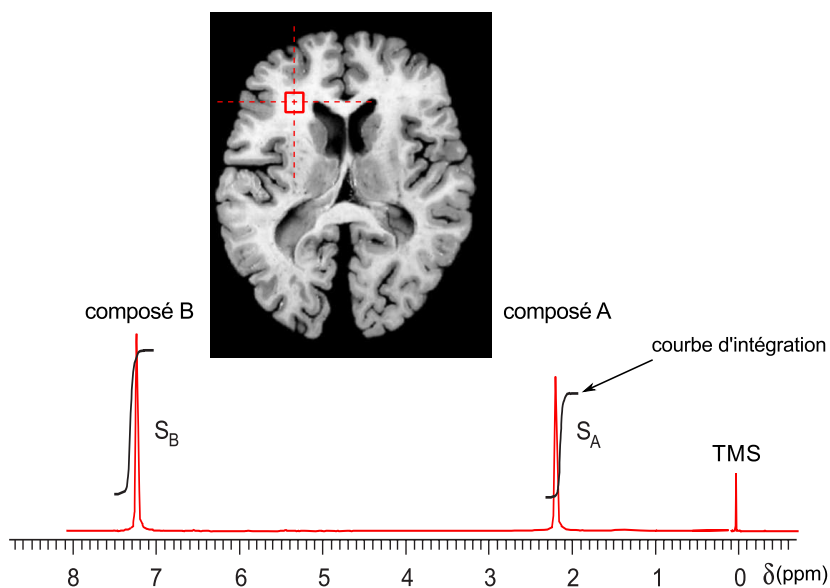


1. Donner sans démonstration, l'expression du moment exercé par le champ magnétique sur l'aimantation (somme des moments magnétiques individuels). Appliquer le théorème du moment cinétique à l'aimantation.
2. En déduire que la norme de l'aimantation est constante au cours du temps, de même que sa projection sur l'axe oz .
3. Montrer que l'aimantation tourne autour de l'axe oz à la pulsation de *Larmor* : $w_0 = \gamma B_0$. Préciser le sens de rotation de l'aimantation. Que vaut la fréquence de *Larmor* pour $B_0 = 9.4 \text{ T}$.
4. Calculer en eV l'écart énergétique entre les deux niveaux du proton, pour un champ $B_0 = 9.4 \text{ T}$. Comparer à $k_B T$ à 300 K . Quelle est la fréquence du photon qui permet une transition entre les deux niveaux.
5. En considérant une collection de protons, la population de chaque niveau est gouvernée par la statistique de Boltzmann ($\frac{N_+}{N_-} = e^{(\hbar\omega_0/k_B T)}$). Calculer le rapport N_+/N_- à 300 K où N_i est la population du niveau i . Effectuer ce même calcul pour un champ de 7 Tesla . Commenter.

Données : $\gamma = 2.67 \times 10^8 \text{ rad T}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $\hbar = 1.03 \times 10^{-34} \text{ Js}$, $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ et $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Exercice 02 (2.25 pts)

La spectroscopie par résonance magnétique nucléaire, appliquée *in vivo*, permet de fournir des informations sur le métabolisme de cellules constituant les tissus. Pour pratiquer une autopsie, le médecin légiste a fait faire une spectroscopie RMN sur un cerveau *Post mortem*.

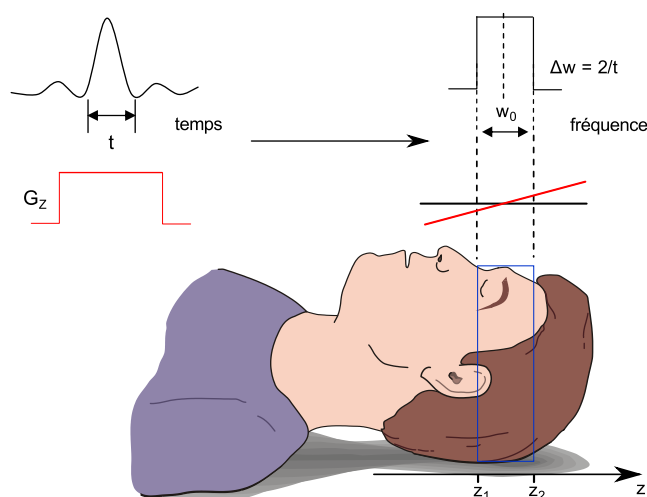


Pour cela, le médecin légiste a prélevé un échantillon de matière blanche cérébrale (le cadre en rouge présente le volume d'intérêt, voir la figure). L'échantillon prélevé a été dilué dans $CDCl_3$ comme solvant. On observe sur le spectre RMN du proton de cette échantillon deux signaux (deux résonances) à $\delta = 2.1 ppm$ et à $\delta = 7.3 ppm$, par rapport au TMS (signal référence).

1. Montrer pourquoi ces deux composés n'ont pas la même valeur du déplacement chimique δ .
2. Calculer les concentrations (C_A et C_B) exprimées en pourcentages massiques de A et de B. Tenant compte du fait que le rapport des aires des deux signaux est représentatif du rapport n_A/n_B des nombres respectifs de molécules de A et de B.
 On donne : $S_A = 111$ et $S_B = 153$ (unités arbitraires), $M_A = 58$ et $M_B = 78$ $g.mol^{-1}$.

Exercice 03 (2.75 pts)

En imagerie RMN, la largeur de la bande passante (de largeur spectrale $\Delta\omega$ autour de la fréquence de résonance ω_0) du pulse d'excitation et l'amplitude du gradient de sélection déterminent l'épaisseur d'une coupe anatomique, comme on peut le voir sur la figure ci-dessous.

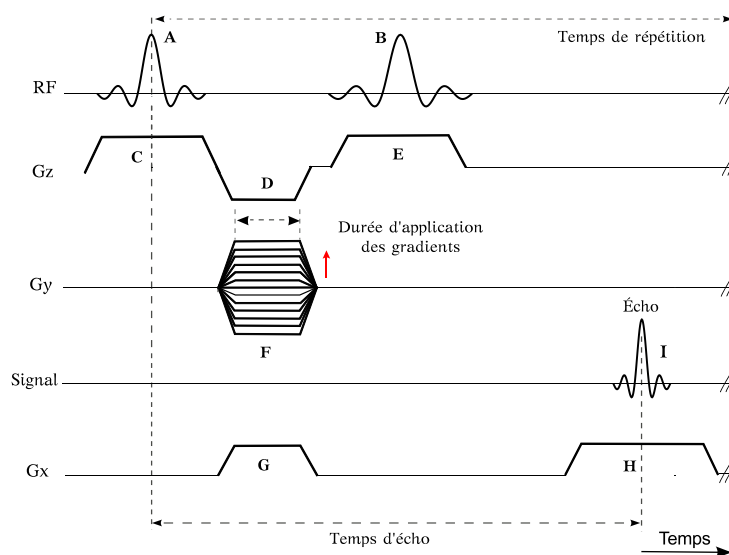


1. Quelle est l'intensité du champ magnétique total "perçue" par les spins (aimantations) en présence du gradient G_z ?
2. Déterminer l'intervalle de fréquences des aimantations sélectivement excitées. Quel est l'état des aimantations qui sont en dehors de cet intervalle.

3. Démontrer la relation donnant l'épaisseur d'une coupe anatomique en fonction du G_z et de $\Delta\omega$. Commenter.
4. Calculer cette épaisseur de coupe (en μm) pour un $G_z = 3 \text{ mT/m}$ et $\Delta\nu_0 = 4 \text{ kHz}$.

Exercice 04 (3.5 pts)

Une séquence d'imagerie RMN est une suite chronologique d'impulsions de radiofréquence d'angles θ et des gradients de champ magnétique qui servent à encoder l'information. À partir du chronogramme suivant :



1. Nommer cette séquence d'imagerie.
2. Donner l'expression analytique de l'intensité du signal qui émane de chaque *voxel*. Commenter chaque paramètre de cette expression mathématique.
3. Décrire chaque évènement (symbolisé par des lettres alphabétiques) figurant sur cette séquence.

QCM : RMN/IRM (6.75 pts)

chaque question vaut 0.25 pts

Q1 : le spin est la rotation du noyau sur lui-même, vrai ou faux ?

Q2 : en présence d'un champ magnétique statique, l'orientation de l'aimantation ne peut prendre qu'un nombre fini de valeur correspondant chacune à un niveau d'énergie, vrai ou faux ? dans le cas où la réponse est "vrai" donner un exemple pour le proton $I = 1/2$.

Q3 : que doit être le nombre de masse A et le numéro atomique Z pour que le noyau soit utile à la RMN ?

Q4 : à l'arrêt de l'impulsion (pulse) RF , l'aimantation basculée revient à sa position d'équilibre. Expliquer brièvement le principe de récupération de l'aimantation M_z et de la disparition de M_{xy} .

Q5 : en RMN, les radiations utilisées sont de faibles énergie et elle appartiennent au domaine des ondes radio, vrai ou faux ?

Q6 : en RMN, le déplacement chimique renseigne sur l'environnement électronique du proton qui résonne, vrai ou faux ?

Q7 : la fréquence de résonance pour laquelle le proton résonne dépend uniquement du champ B_0 pas du type de noyau, vrai ou faux ?

Q8 : décrivez une expérience RMN en trois étapes.

Q9 : la fréquence de résonance d'un proton caractérisé par une constante d'écran σ est proportionnelle au champ magnétique statique appliqué, vrai ou faux ? donner la formule qui lie les deux grandeurs.

Q10 : en RMN, la fréquence de résonance des protons est proportionnelle au champ magnétique appliqué, vrai ou faux ?

Q11 : pour les tissus durs (pauvres en eau) les T_1 et T_2 sont de même ordre de grandeur, vrai ou faux ?

Q12 : pour les tissus mous (riches en eau) les T_1 sont très différents des T_2 , vrai ou faux ?

Q13 : le paramètre RMN M_0 dépend de la structure (taille, forme et distribution des cellule) des tissus biologiques, vrai ou faux ?

Q14 : dans un champ magnétique B_0 , le moment magnétique d'un noyau est colinéaire à son moment cinétique, vrai ou faux ?

Q15 : dans un champ magnétique B_0 , les moments magnétique et cinétique d'un noyau n'ont pas la même direction, vrai ou faux ?

Q16 : la résonance peut avoir lieu si la fréquence de la radiofréquence (pulse) est différente de celle du proton considéré, vrai ou faux ?

Q17 : l'aimantation créée lors de l'excitation (basculement) possède une composante $M_{x,y} = M_0 \sin \theta$ et une aimantation longitudinale $M_z = M_0 \cos \theta$, vrai ou faux ? c'est la réponse est "faux", donner le bon résultat.

Q18 : c'est lors de la relaxation que les spin émettent une énergie qui sera la source du signal RMN mesuré, vrai ou faux ?

Q19 : La relaxation spin-réseau correspond à la repousse de la composante longitudinale M_z jusqu'à la valeur initiale M_0 , vrai ou faux ?

Q20 : la décroissance de l'aimantation transversale se fait suivant une loi exponentielle saturante, vrai ou faux ?

Q21 : la récupération de l'aimantation longitudinale se produit selon une exponentielle décroissante, vrai ou faux ?

Q22 : Les mouvements moléculaires de la graisse sont centrés sur la fréquence de Larmor ; ils permettent la relaxation rapide de ses protons (le T1 est court), vrai ou faux ?

Q23 : Les mouvements moléculaires au sein des os sont complètement décentrés (loin de la résonance) sur la fréquence de Larmor ; ils entraînent une faible efficacité de la relaxation (T1 long), vrai ou faux ?

Q24 : La relaxation spin-spin est une interaction sans échange d'énergie, vrai ou faux ?

Q25 : La relaxation transversale est totalement indépendante de la relaxation longitudinale, vrai ou faux ?

Q26 : La mesure du signal se fait toujours dans le plan transversal, en plaçant une ou plusieurs bobines électriques sensibles aux fréquences de résonance des noyaux étudiés, vrai ou faux ?

Q27 : La séquence inversion-récupération sert à mesurer le T_1 , vrai ou faux ?