FICHE N°6 : RMN

Dans ce cours, on utilisera des rayonnements avec des **longueurs d'onde supérieures au visible** plus particulièrement avec des **ondes radiofréquences et micro-ondes.**

I. Moment magnétique

A. VECTEUR CHAMP MAGNETIQUE

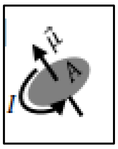
On considère un aimant ou une bobine traversé.e par un courant électrique. Cela crée un champ magnétique noté $\vec{B}$ avec les propriétés suivantes :

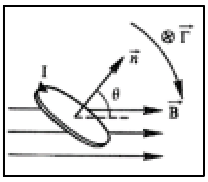
- **Direction** : celle qu'aurait l'aiguille d'une boussole dans ce champ
- **Norme** : valeur de l'amplitude du champ magnétique au point considéré

B. MOMENT MAGNETIQUE ORBITAL

Une **boussole/aimant/circuit électrique** en boucle parcouru.e par un **courant d'intensité I** et placé.e dans un champ magnétique sera **orienté.e par ce champ magnétique**. Le **moment** (dipolaire) **magnétique** est un vecteur noté $\vec{\mu}$ et est **proportionnel** au courant parcourant la boucle et à l'aire sous-tendue par cette boucle. On a :

$$\vec{\mu} = IA$$





Si l'on met notre moment magnétique dans un champ magnétique, un **couple de forces** va s'exercer sur notre vecteur, faisant **basculer** le moment magnétique jusqu'à ce qu'il soit orienté **parallèlement au champ magnétique**. Ce couple de forces est donné par :

$$\vec{\Gamma} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}$$

C. MOMENT MAGNETIQUE D'UNE PARTICULE CHARGEE

Soit un **électron** avec une **charge notée « q »** parcourant une orbite circulaire avec une vitesse « v ». On observe alors un **courant** parcourir cette orbite.

On peut donc associer une **intensité** à cette boucle qui vaudra :

$$I = \frac{q}{2\pi r/v}$$

Instant unités :
- I = *intensité*, en *A*
- v = *vitesse de la particule*, en $m.s^{-1}$
- r = *rayon du mvt*, en *m*

Pour tout mouvement circulaire, on peut calculer le **moment cinétique** (ou angulaire) **orbital**

$$L = mrv$$

Le moment magnétique est égal au produit de **l'intensité** par **l'aire** du cercle (égale à $A = \pi r^2$) :

$$\mu = IA = \frac{qvr}{2} = \frac{q}{2m}L$$

NB : $2\pi r/v$ représente le temps mis par la particule pour parcourir l'orbite.

D. MOMENT CINETIQUE INTRINSEQUE

Toute particule possédant un **spin** possède par extension un **moment cinétique intrinsèque μ_s**

Dans le cas de l'électron, on peut définir un **quantum de moment magnétique** en associant à cet électron le **magnéton de Bohr μ_e**, valant

$$\mu_e = \frac{e\hbar}{2m_e} \approx 10^{-23} A.m^2$$

NB : magnéton de Bohr = le plus petit moment magnétique associé à **l'électron.**

On associe donc un moment de spin

- **A l'électron :** $\vec{\mu_s} = -g_e \dfrac{e}{2m_e}\vec{s}$ ➔ Sens opposé au moment cinétique intrinsèque

- **Au proton :** $\vec{\mu_s} = g_p \dfrac{e}{2m_p}\vec{s}$ ➔ Même sens que le moment cinétique intrinsèque

Instant unités :

- ***ge*** ≈ **2**, *constante de Landé de l'électron*, sans dimension
- ***gp*** ≈ 5,58, *constante de Landé du proton*, sans dimension
- ***μ*** = *moment magnétique*, en $N.m.T^{-1}$
- ***me/mp*** = *masse d'un e−/proton*, en *kg*

E. INTERACTION AVEC CHAMP UNIFORME

Tout noyau atomique porte un **moment magnétique intrinsèque**, proportionnel à son **moment cinétique global $\vec{J}$** : $\vec{\mu} = \gamma\vec{J}$

On suppose qu'on plonge un tel moment magnétique dans un champ uniforme et statique $\vec{B_o}$. Si $\vec{\mu}$ n'est **pas aligné** avec $\vec{B_o}$, il y aura un **couple de forces**, donc le moment magnétique **change de position.**

On a l'équation suivante :

$$\frac{d\vec{J}}{dt} = \vec{\Gamma} = \gamma\vec{J} \wedge \vec{B_0} = -\gamma\vec{B_0} \wedge \vec{J}$$

La **vitesse angulaire** du moment magnétique vaut : $\omega_0 = \gamma B_0$

Associée à cette vitesse, on définit une fréquence appelée **fréquence de Larmor** $\nu_0 = \dfrac{\omega_0}{2\pi}$

Pour un **proton** soumis à un champ magnétique de **1 Tesla**, $\nu_0 = 42,6\ MHz$

II. Principe de la RMN

On suppose que l'ensemble des **protons** dans un **tissu biologique** vont interagir avec un champ magnétique, de sorte que ce champ magnétique va induire un **moment magnétique macroscopique $\vec{M}$** (somme de tous les moments magnétiques de tous les protons).

A. LA PRECESSION

Si on met les **protons** dans un **champ statique et uniforme nommé $\vec{B_0}$**, ils auront tous un **mouvement de précession** autour de la direction de $\vec{B_0}$ avec une **vitesse angulaire** (ou pulsation) égale à

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

NB : comme ce sont des protons, $\gamma > 0$ donc le mouvement est rétrograde

B. LA RESONNANCE

On va ensuite rajouter un **champ magnétique tournant $\vec{B_1}$** → ce champ est variable, perpendiculaire à $\vec{B_0}$ et d'amplitude beaucoup plus petite que $\vec{B_0}$.

Si $\vec{B_1}$ tourne à la **même vitesse angulaire** que $\vec{M}$, il sera comme un autre **référentiel statique** pour l'aimantation, elle pourra descendre « dedans », on observe donc le phénomène de **résonance** entre le champ tournant et l'aimantation.

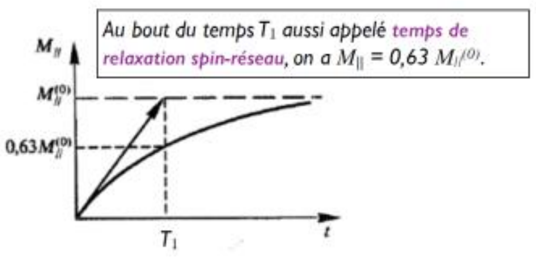
La résonnance c'est donc le basculement du moment magnétique lorsqu'on ajoute un champ tournant $\vec{B_1}$.

C. LA RELAXATION

En imagerie, on **mesure** l'aimantation **quand on arrête le champ $\vec{B_1}$**. En effet, lorsqu'on arrête le champ $\vec{B_1}$, $\vec{M}$ a tendance naturellement à se **réaligner avec le champ statique $\vec{B_0}$** dans un mouvement de précession. La relaxation est **exponentielle.**

Description classique	Description quantique
Aimantation $\vec{M}$ peut être décomposée en : → une composante $\vec{M_\parallel}$, parallèle à $\vec{B_0}$ → une composante $\vec{M_\perp}$, perpendiculaire à $\vec{B_0}$ - Lors de la **résonnance**, l'aimantation s'éloigne de $\vec{B_0}$ → **$\vec{M_\parallel}$ diminue et $\vec{M_\perp}$ augmente** - A l'inverse, lors de la **relaxation** l'aimantation se réaligne avec $\vec{B_0}$→ **$\vec{M_\perp}$ diminue et $\vec{M_\parallel}$ augmente**	**On parle ici d'énergie** : Lors de la **résonnance** → les noyaux **acquièrent de l'énergie** → passent d'un état d'énergie initial à un autre pendant qu'ils basculent **A l'arrêt du champ radiofréquence** → noyaux réémettent le surplus d'énergie sous forme de **rayonnement électromagnétique**. C'est cette **perte d'énergie** que nous mesurons.

1) COMPOSANTE PARALLELE

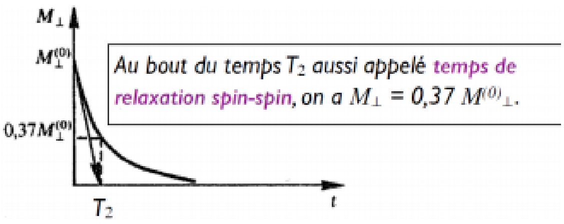


La **composante parallèle** va augmenter pendant la relaxation pour tendre vers sa **valeur initiale**.

A $t = T_1$, la composante parallèle atteint **0,63** fois sa **valeur finale**.

$$M_\parallel = M_\parallel^{(0)}\left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

2) COMPOSANTE PERPENDICULAIRE



La **composante perpendiculaire** va diminuer pendant la relaxation pour tendre vers une **valeur nulle**.

A $t = T_2$, la composante perpendiculaire atteint **0,37** fois sa **valeur initiale**.

$$M_\perp = M_\perp^{(0)} \left(e^{-\frac{t}{T_2}} \right)$$

Ça y est, c'est fini ! Perso j'aime bien ce cours, il est peu compliqué à comprendre au début mais une fois que vous maîtrisez bien la partie RMN de la biophy, ce sera beaucoup plus simple ! Pour ce cours, les 2 matières sont vraiment complémentaires. Bref, bon courage à vous tous, continuez à bien bosser et on se retrouve l'année prochaine (en sage-femme pour certains j'espère, venez on est bien !!!)