

Fiche n°4B (ronéo 3) : RMN

I. Introduction

Dans ce cours, on se base sur des **longueurs d'onde supérieures à celles du visible** :

- $30\text{kHz} < \nu < 300\text{MHz} \rightarrow$ **radiofréquences**
- $300\text{MHz} < \nu < 300\text{GHz} \rightarrow$ **micro-ondes=hyperfréquences**

A. Vecteur champ magnétique

Soit un aimant/une bobine parcourue par un **courant électrique**, ce système va créer un **champ magnétique** dans l'espace environnant. On a alors :

\vec{B} (en un point) : **direction** \rightarrow celle qu'aurait l'aiguille en ce point
norme \rightarrow valeur du champ magnétique

B. Moment magnétique orbital

Une boucle de courant dans un **champ magnétique uniforme** \vec{B} se comporte comme un aimant. Une boucle de **surface A**, parcourue par courant **d'intensité I** sera soumise par le champ à un couple de forces qui tend à replacer la boucle dans le champ : $\vec{\Gamma} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}$

- $\vec{\mu}$ est le **moment dipolaire magnétique**, de formule : $\vec{\mu} = IA$

C. Moment magnétique d'une particule chargée

Soit une charge q , de masse m , en **mouvement circulaire uniforme** de rayon r , à une vitesse v , l'intensité traduisant son déplacement vaudra :

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

$$\frac{2\pi r}{v} = \text{temps que met la particule à faire le tour de son orbite}$$

Moment cinétique orbital : $L = mrv$

Pour $A = \pi r^2$, $\mu = IA = \frac{qvr}{2} = \frac{q}{2m} L$

Dans le cas de l' e^- , le **quantum de moment magnétique** vaut :

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

Cette valeur est le **magnéton de Bohr** i.e. le + petit moment magnétique envisageable

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Point unités

- I = intensité, en A
- v = vitesse de la particule, en m.s^{-1}
- r = rayon du mvt, en m
- \hbar = constante de Planck réduite, en J.s.rad^{-1}
- \vec{B} = champ magnétique, en Tesla (T)

D. Moment cinétique intrinsèque = spin \vec{S}

Chaque particule possédant un **spin** possède un **moment magnétique intrinsèque** $\vec{\mu}_s$

Pour un **électron** : $\vec{\mu}_s = -g_e \frac{e}{2m_e} \vec{S}$ $\rightarrow \vec{\mu}_s$ est de sens **opposé** à \vec{S}

Pour un **proton** : $\vec{\mu}_s = g_p \frac{e}{2m_p} \vec{S}$ $\rightarrow \vec{\mu}_s$ est de sens **identique** à \vec{S}

NB : le moment magnétique prend des **valeur fixées** : $\mu_{sz} = -g_e \mu_e m_s$
 pour $m_s = \pm 1/2$

Point unités

- $g_e \approx 2$, constante de Landé de l'électron, sans dimension
- $g_p \approx 5,58$, constante de Landé du proton, sans dimension
- μ = moment magnétique, en N.m.T^{-1}
- m_e/m_p = masse d'un e^- /proton, en kg

E. Interaction avec champ uniforme

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

$$\vec{\mu} = \gamma \vec{J}$$

Une particule dans un champ agit comme une **toupie en précession** : dans **champ uniforme et statique \vec{B}_0** , il existe alors un moment magnétique, soumis au couple :

$$\vec{\Gamma} = \vec{\mu} \wedge \vec{B} = -\gamma \vec{B}_0 \wedge \vec{J}$$

→ On a un mouvement de précession de \vec{J} autour de \vec{B}_0

NB : Si $\gamma > 0$, le **mouvement est rétrograde +++** (comme le proton)

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

La vitesse angulaire de la **composante perpendiculaire** du moment magnétique vaut :

La **composante parallèle** est **constante**.

La fréquence de précession (= de Larmor) vaut :

$$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

→ On en déduit

$$2\pi \cdot \nu_0 = \gamma \cdot B_0$$

Point unités

- J = moment cinétique global, en $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- γ = rapport gyromagnétique, en $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$
- ν_0 = fréquence de Larmor, en $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
- ω_0 = vitesse angulaire, en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

II. Phénomène de RMN

Un **ensemble de noyaux** dans **champ uniforme et statique \vec{B}_0** aura un **moment magnétique macroscopique \vec{M}** = aimantation caractérisée par la **somme de l'ensemble des moments magnétiques individuels de chaque noyau**

On ajoute un **champ tournant \vec{B}_1** .

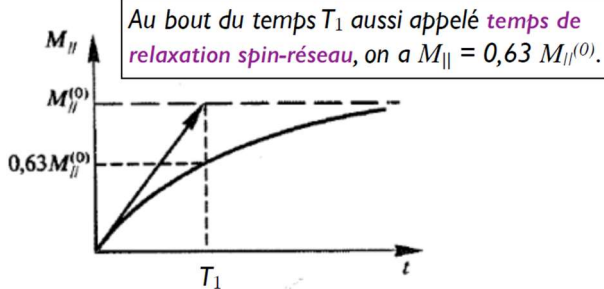
Si \vec{B}_1 tourne à la **même vitesse angulaire** que \vec{B}_0 , il sera comme un autre référentiel **statique** pour l'aimantation, elle pourra descendre « dedans », on observe donc le **phénomène de résonance**.

On distingue 2 modèles descriptifs :

Description classique	Description quantique
Aimantation \vec{M} peut être décomposée en : → une composante M_{\parallel} , parallèle à \vec{B}_0 → une composante M_{\perp} , perpendiculaire à \vec{B}_0	On parle ici d'énergie : Lors de la résonance → les noyaux acquièrent de l'énergie → passent d'un état d'énergie initial à un autre pendant qu'ils basculent
Mouvement de l'aimantation → continu → lorsque \vec{M} s'écarte de \vec{B}_0 , M_{\parallel} diminue quand M_{\perp} augmente	→ à la résonance : la population de noyaux à l'état d'énergie plus élevé ↑ car absorption énergie
A l'arrêt du champ radiofréquence → l'aimantation retrouve ses composantes initiales	A l' arrêt du champ radiofréquence → noyaux réémettent le surplus d'énergie → mesure de ce surplus

Dans une expérience RMN classique, la résonance est suivie de la **relaxation** : le **retour à l'équilibre** des noyaux en réémettant le surplus d'énergie correspond au **réalignement de M le long de \vec{B}_0**

→ **relaxation exponentielle**



Pour $t = T_1$ → composante **longitudinale** atteint **0,63** fois la valeur finale

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

relaxation exponentielle ←

Pour $t = T_2$ → composante **transversale** atteint **0,37** fois la valeur initiale

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

