

Fiche RMN

Le signal RMN est à l'origine des images IRM, technique d'imagerie médicale très utile grâce aux multiples contrastes qu'elle propose.

En RMN on s'intéresse **au NOYAU** et non pas à l'atome !!! **ATTENTION PIEGE**

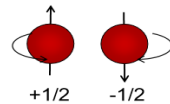
On s'intéresse particulièrement au noyau d'hydrogène (car H₂O= 2/3 atomes de notre organisme). La RMN = modifier l'aimantation des noyaux d'H en 3 phases : **précession**, **résonance**, **relaxation**.

I- Les différents moments

1) Le moment cinétique ou spin

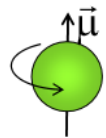
Il correspond au mouvement de **rotation** sur eux-mêmes des nucléons. Dans le noyau, les nucléons ne peuvent prendre QUE 2 valeurs de spin : $\pm \frac{1}{2}$. Le proton, chargé positivement ET le neutron en ont un.

Rmq : le neutron est chargé à cause des quarks qui le composent.



2) Le moment magnétique $\vec{\mu}$

Il s'applique à toute particule **chargée** et en **mouvement** en la rendant sensible à un champ magnétique



Au niveau du noyau :

$$\mu = \gamma \hbar I$$

avec γ = rapport gyromagnétique caractéristique du noyau

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ avec h la constante de Planck

I = nombre quantique de spin du noyau (= ensemble

des spins des nucléons)

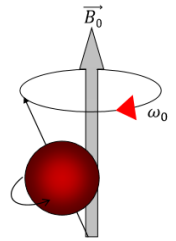
Les nucléons se regroupent par paire et par signe opposé. **En RMN seuls les noyaux avec un nombre quantique de spin I non nul et donc un moment magnétique μ non nul sont utilisables !! ★**

Pour cela, il faut donc qu'au moins **Z ou N soit impair** (les 2 ça marche aussi) **ATTENTION PIEGE**

II- La précession

La machine IRM crée un champ magnétique \vec{B}_0 de 0,5 à 3T (T=tesla) soit 10 000 à 60 000 fois le champ magnétique terrestre qui est de 50 μ T. C'est ce champ \vec{B}_0 qui entraîne le

- ★ mouvement de précession du moment magnétique : le proton pris isolément a un moment magnétique microscopique $\vec{\mu}$ qui décrit un cône dont l'axe est parallèle à \vec{B}_0 quand il est soumis à ce champ magnétique. ★



Vitesse angulaire de rotation : $\omega_0 = \gamma B_0$ en rad/s

Fréquence de Larmor :
$$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\gamma B_0}{2\pi} \text{ en Hz}$$
 ★ ★

On préfère utiliser la fréquence de Larmor plutôt que la vitesse angulaire de rotation. La précession du proton est double, elle peut se faire dans deux sens :

- parallèle= « up »= sens de \vec{B}_0
- Antiparallèle= « Down »= sens opposé à \vec{B}_0

Rmq : il y a une différence d'énergie entre ces 2 niveaux, le niveau d'énergie le plus faible étant assigné au sens « up ».

Pour l'ensemble des protons, on parle de **moment macroscopique** \vec{M} :

- En l'absence de champ magnétique : les protons s'orientent de manière aléatoire, pas de précession
- Avec \vec{B}_0 , les protons **précessent** selon 2 cônes : **parallèle ou anti-parallèle** ★ ★ ★

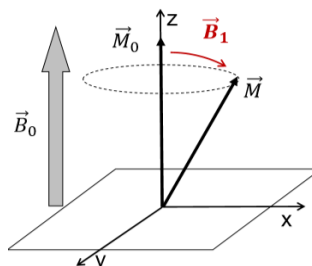
Un excès de protons précessent dans le sens parallèle (20/1million) produisant une aimantation \vec{M}_0 de façon à ce que $\sum \vec{\mu} = \vec{M}_0 \neq 0$ ★ ★

Rmq : Oui pcq si les protons se répartissent équitablement $\vec{M}_0 = 0$

Dans cette phase, l'échantillon de tissu utilisé pour l'IRM acquiert une aimantation $\vec{M}_0 =$ **magnétisation globale** ★ ★

III- La résonance

Le but de la RMN est de mesurer l'aimantation que l'on a produit lors de la première phase. Dans la phase de résonance, on va modifier cette aimantation, **basculer le moment macroscopique** \vec{M}_0 ★ pour pouvoir ensuite la mesurer. Cette bascule a lieu pour une fréquence égale à la fréquence de Larmor, on parle de **résonance/ bascule sélective**.

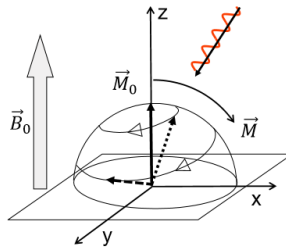


Il existe 2 explications différentes pour décrire la bascule de l'aimantation :

Mécanique classique : on applique un autre champ magnétique \vec{B}_1 qui est **tournant** et **perpendiculaire** à \vec{B}_0 . ★ Lorsque la vitesse angulaire de rotation du champ tournant atteint la fréquence de Larmor, \vec{B}_1 entraîne la **bascule/ l'inclinaison** de \vec{M}_0 qui s'écarte de sa position d'équilibre. Elle s'incline en décrivant une **demi-sphère**.

Mécanique quantique : on applique une **onde radiofréquence** ou impulsion à la fréquence de Larmor ce qui va provoquer l'inversion de précession de certains protons, le système acquiert de l'énergie (oui car les protons du sens parallèle vont devenir antiparallèles, correspondant à un niveau plus énergétique) et donc cela **modifie l'aimantation globale**.

Ces ondes radiofréquences ont une fréquence comprise entre **30 MHz et 300 MHz** et ont donc une longueur d'onde de l'ordre du **mètre**. Leur durée d'application **détermine l'angle de bascule de \vec{M}** . ★ Généralement, on choisit un temps d'application de telle sorte que la bascule corresponde à $\pi/2$ soit **90°** et que \vec{M} se retrouve dans le plan xOy. Ces ondes sont **non ionisantes**, ★ ★ ★ l'énergie absorbée est diffusée sous forme de **chaleur**.

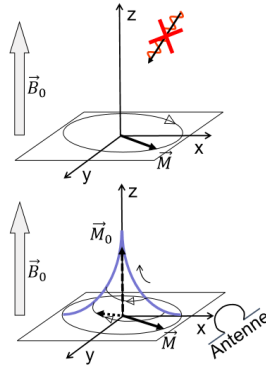


L'IRM ne provoque donc **pas d'effets biologiques** mais peut produire des **effets mécaniques** comme des effets projectiles. C'est pour cela qu'on utilise du matériel non magnétique et qu'il existe des contre-indications à l'IRM comme les pacemakers etc...

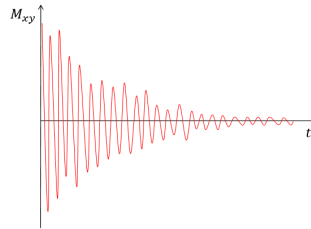
IV- La relaxation

C'est la **phase de mesure** ! ★ ★ ★

On **arrête l'onde radiofréquence** ou \vec{B}_1 , le système revient alors à sa position d'équilibre sous l'influence de \vec{B}_0 (toujours présent) ★ en **libérant/ restituant l'excès d'énergie** emmagasinée pendant la phase de résonance. C'est la **relaxation de l'aimantation** qui retrouve sa position d'équilibre en suivant une **enveloppe en « pavillon de trompette »** (ne me demandez pas pourquoi mdr...)



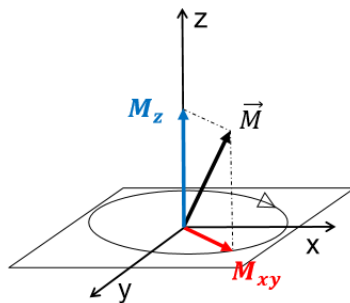
L'énergie restituée est mesurée par une antenne placée dans le plan \vec{xOy} ($\neq Oz!!$) Le signal IRM est lié à l'évolution de l'aimantation \vec{M} dans le plan \vec{xOy} : c'est une **sinusoïde amortie** (car l'aimantation s'éloigne du plan \vec{xOy}). C'est ce que l'on appelle le **signal de précession libre ou Free Induction Decay (FID)**.



\vec{M} a 2 projections :

- M_z = aimantation **longitudinale**, dans le plan Oz = **parallèle** avec \vec{B}_0 . Elle se **relaxe** avec une constante de temps **T1**
- M_{xy} = aimantation **transversale**, dans le plan xOy = **perpendiculaire** à B_0 . Elle **disparaît** avec une constante de temps **T2**

$T2 \ll T1$



V- Paramètre de relaxation T1

= temps de relaxation **longitudinale** = **spin-réseau** = temps de **recroissance en z**
 M_z était nulle à la fin de la phase de résonance, elle réapparaît progressivement au fur et à mesure de la relaxation jusqu'à retrouver sa position maximale d'origine = M_0
 T1 = temps au bout duquel M_z aura **recupéré 63% de sa valeur maximale M_0**
 $M_z(T1) = 0,63M_0$

T1 varie selon les tissus et en IRM on crée les images et les contrastes en jouant sur les différences de T1 entre les tissus.

T1 court= recroissance rapide en z
T1 long= recroissance plus lente en z

Analogie avec un objet viscoélastique : on comprime 2 objets d'élasticité différent (=résonance) et on relâche pour observer leur retour à l'équilibre (=relaxation) qui se fera à des vitesses différentes (le plus vite pour le plus élastique des 2).

VI- Paramètre de relaxation T2

= temps de relaxation **transversale= spin-spin=** temps de **disparition de M_{xy}**
 M_{xy} était maximale à la fin de la résonance et tend à disparaître au fur et à mesure de la relaxation.

T2= temps au bout duquel M_{xy} ne représente plus que 37% de son maximum au début.
$$M_{xy}(T2) = 0,37M_0$$

T2 varie aussi selon les tissus.

T2 court= disparition rapide de M_{xy}

T2 long= disparition lente de M_{xy}

Analogie avec la vibration du verre : on fait vibrer 2 verres différents, le verre en cristal (T2 long) vibrera plus longtemps que le verre ordinaire (T2 court).

Petit moyen mnémotechnique pour retenir que le temps de relaxation spin-spin correspond au temps au bout duquel M_{xy} ne représente plus que 37% de sa valeur initiale → **Spin-Spin** si on prend les initiales ça donne SS et les SS (nazis) étaient « au pouvoir » vers 1937 (le 37 faisant référence au 37%). Merci aux vieux de biophy ;)

Courage et restez motivés !! la biophy vous aiiiiime !!!!
Des bisous <3