

Bases sur les Ondes - Radiofréquences - Magnétisme - Principe de la RMN

1 à 2 qcm / an

Plan :

- I- Généralités
- II- Vitesse de propagation d'une onde
- III- Notion d'impédance
- IV- Cas particuliers
- V- RMN (+++)
- VI- Description de la RMN



Difficulté du cours : + (et ++ pour la RMN)

Rentabilité : +++

Parties à ne pas passer : I- Généralités / III- les 4 cas de l'impédance / V- RMN (!!)
Les formules en rouge

I- Généralités

ONDE = phénomène vibratoire qui se propage en transportant de l'énergie
SANS TRANSPORTER DE MATIERE

Une onde mécanique a besoin d'un milieu élastique pour se propager
elle ne se propage pas dans le vide

=> PRINCIPALE DIFFERENCE ENTRE LES ONDES MECANIKES ET ELECTROMAGNETIQUES

	Ondes mécaniques	Ondes électromagnétiques (EM)
Milieus de propagation possibles	<ul style="list-style-type: none"> - Matériel - Élastique 	<ul style="list-style-type: none"> - Matériel - Élastique - Vide
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Ondes acoustiques - Ondes sismiques - Ondes dans une corde - Ondes à la surface d'un liquide 	<ul style="list-style-type: none"> - Lumière - Ondes Radio

Rôle du milieu

Le milieu (**gaz, liquide ou solide pour une onde mécanique**), par ses propriétés de réponse au type de déformation imposé, **détermine la vitesse** de propagation du phénomène.

La vitesse de propagation des ondes sonores dans un gaz est comparable aux vitesses d'agitation thermique à la température considérée (les chocs entre molécules propagent une compression locale).

Rôle de la source

La structure **temporelle** de la perturbation ondulatoire **suit celle de la source**

= en régime linéaire, si la source oscille **périodiquement**, l'onde aussi

=> Le phénomène physique mis en jeu par la source détermine le type de déformation que subit le milieu

- o **La source influe sur la propagation dans le milieu (pas l'inverse)**

	Ondes Longitudinales (Ondes L)	Ondes Transversales (Ondes T)
Sens de l'onde	Parallèle à la perturbation	Perpendiculaire à la perturbation
	Imaginez un accordéon : la perturbation correspond au mouvement des mains, l'onde est schématisée par le mouvement de l'accordéon lui-même. Ainsi, les deux sont orientées dans le même sens !	Imaginez un fouet (Félintra tête de tigre !), le mouvement de la corde se fait de haut en bas (un peu comme une vague) pour autant l'onde avance dans l'espace jusqu'à l'autre extrémité de la corde => donc ma perturbation est verticale mais mon onde est « horizontale »
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Ressort - son dans l'air 	<ul style="list-style-type: none"> - Onde dans une corde - Onde EM

Fun facts : Toutes les ondes ne correspondent pas à des ondes vectorielles (= déplacements physiques = un vecteur), comme les ondes électromagnétiques (= champ électrique perpendiculaire au champ magnétique (revu plus tard))

Il existe aussi des ondes scalaires (= quantité physique scalaire (un nombre quoi) qui se déplace (ex. onde acoustique))

II- Vitesse de propagation

(par soucis de simplification et parce qu'il s'agit de détails inutiles je vous passe les équations pour vous donner simplement les formules à retenir, vous pouvez checker la diapo si vous tenez réellement à voir la démonstration)

Je vous mets ici, la conclusion sur l'équation d'Alembert car c'est une fiche. Je la développerai dans une autre fiche spécialement dédiée ;)

Cas d'un ressort tendu

$$v = \sqrt{\frac{K * L}{\mu}}$$

K = raideur du ressort
L = longueur du ressort (m)
 μ = masse linéique = m / l

Cas d'une corde tendue

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{M * g}{\frac{m}{l}}}$$

T = Tension (N) = M*g
M = masse appendue à la corde (kg)
g = 9,81 m.s⁻²
m = masse de la corde (kg)
l = longueur de la corde (m)

Pression (onde sonore)	Gaz	$c_s \propto (P_0/Q_0)^{1/2}$ $P_0 (\propto T_0)$ pression Q_0 masse volumique $c_s \approx 346 \text{ m.s}^{-1}$ (à $T_0 = 298 \text{ K}$)
EM	Vide	$c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2}$ $\approx 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ϵ_0 permittivité du vide μ_0 perméabilité
Onde électrique	Ligne à transmission (câble coaxial)	$(L\Gamma)^{-1/2}$ $\approx 2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ Γ capacité linéique L inductance linéique

Onde PROGRESSIVE à 1 dimension

- Equation d'Alembert unidimensionnelle :

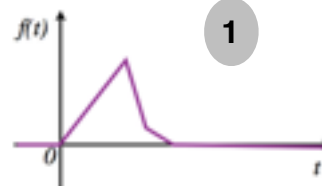
$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = 0$$

=> la solution générale de l'équation est :

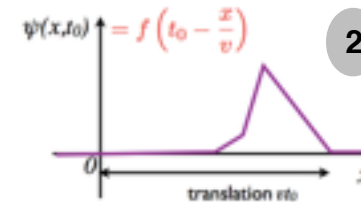
$$\psi(x,t) = f(t-x/v) + g(t+x/v)$$

Onde droite

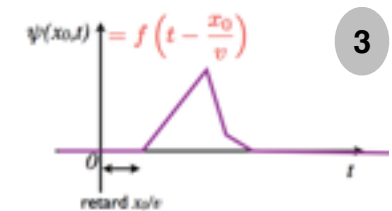
Onde gauche



1 Onde droite initiale



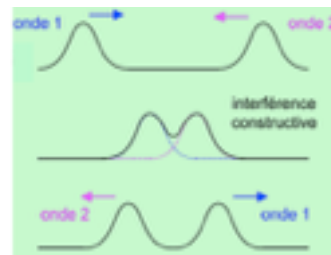
2 Onde droite vue d'un autre point d'abscisse (en gros je reste à l'origine du repère avant de déclencher l'onde et je la regarde s'éloigner)



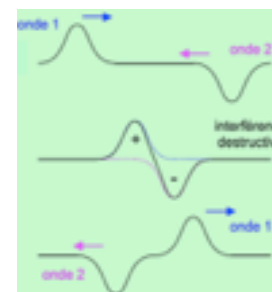
3 Onde droite vue avec un retard temporel

Interférences de 2 ondes progressives :

Les amplitudes s'additionnent algébriquement



Interférences constructives
(= addition de 2 amplitudes de même signe = onde amplifiée)



Interférences destructives (= amplitude positive + amplitude négative = résultante nulle)

Donc à chaque fois qu'un problème physique mène à une équation du type :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \kappa \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \Rightarrow \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

Alors il s'agit d'une équation d'onde
On en déduit donc que :

$$v = \sqrt{\frac{1}{\kappa}}$$

III- Notion d'impédance

L'impédance mécanique est une mesure de la **résistance** opposée au mouvement par un milieu soumis à une force donnée.

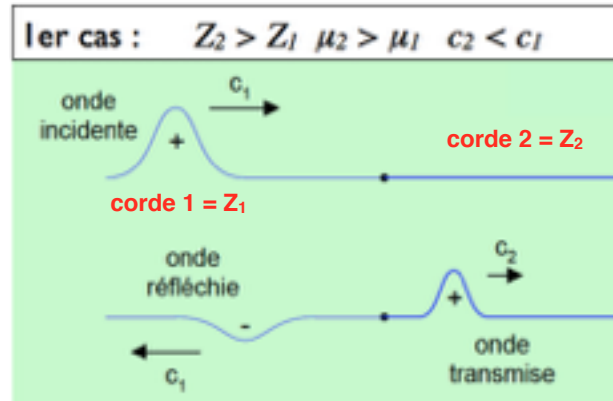
$$Z = \frac{T}{c} = \sqrt{T * \mu} = \mu * c$$

en kg.s^{-1}

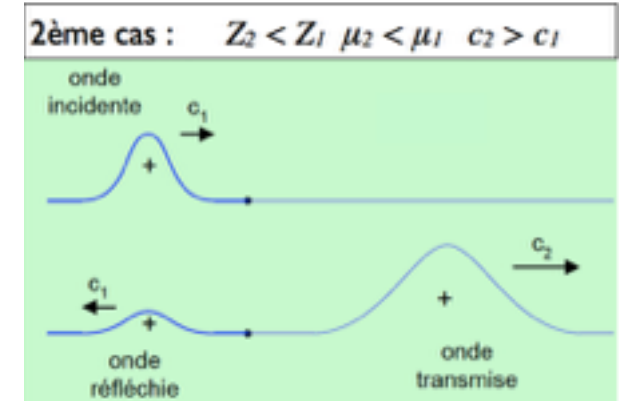
(vite fait pour ceux qui n'auraient pas suivi, remplacez « c » dans la 1ere formule par la formule vue précédemment pour une corde tendue et vous obtiendrez la 2e formule)

Onde	Milieu	Impédance
Pression (onde sonore)	Gaz	$Z = \rho_0 c_s \propto (P_0 \rho_0)^{1/2} \approx 414 \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-1}$
EM	Vide	$Z_0 = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2} = \mu_0 c \approx 376,73 \text{ } \Omega$
Onde électrique	Ligne à transmission (câble coaxial)	$Z_c = (L/\Gamma)^{1/2} \approx 50 \text{ } \Omega$

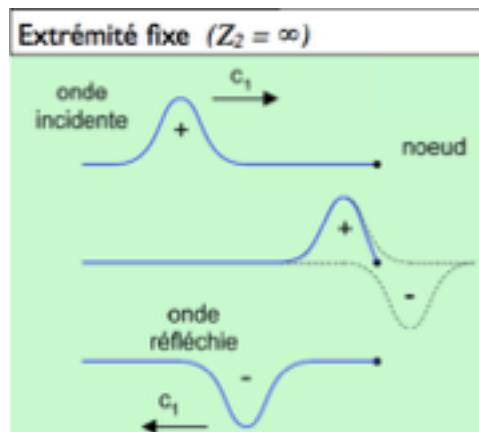
Réflexion et transmission



Réflexion partielle **AVEC** changement de signe



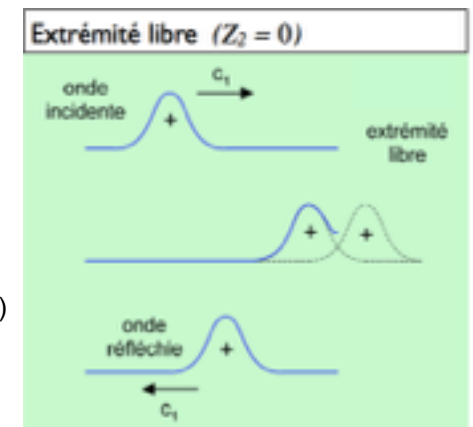
Réflexion partielle **SANS** changement de signe



Réflexion **TOTALE AVEC** changement de signe

Règles pour apprendre plus facilement

- $Z_2 > Z_1$ = AVEC changement de signe
- la réflexion est totale seulement dans les cas extrêmes ($Z = 0$ ou $Z = \infty$)



Réflexion **TOTALE SANS** changement de signe

On note 2 coefficients : le coefficient de réflexion « r » et celui de transmission « t » qui rendent compte de l'importance respective des 2 phénomènes:

$$r = \frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$(-1 < r < 1)$$

$$t = \frac{A_t}{A_i} = \frac{2 * Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$(0 < t < 2)$$

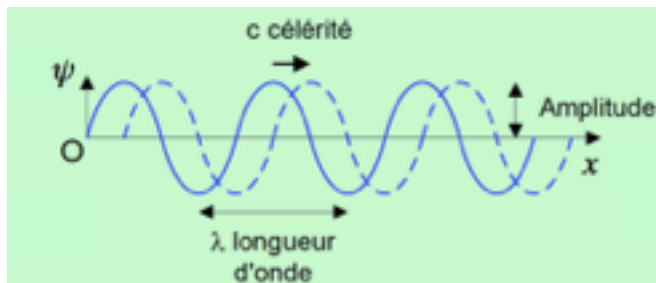
A_r = amplitude de l'onde réfléchie
 A_t = amplitude de l'onde transmise
 A_i = amplitude de l'onde incidente

Cas particuliers :

- si $Z_2 = 0 \rightarrow r = 1$ et $t = 2$
- si $Z_2 = \infty \rightarrow r = -1$ avec changement de signe (Cf. le -)

IV- Cas particuliers

=> 1er cas : Ondes progressives sinusoïdales



$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

= pulsation

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

= nombre d'onde

$$\psi(x,t) = A \sin [\omega t - kx + \varphi]$$

Puissance **moyenne** transportée par une onde progressive sinusoïdale :

$$P = \frac{1}{2} Z A^2 \omega^2 \quad \text{en Watt} = \text{J.s}^{-1}$$

Pour une même onde (= pulsation constante) traversant 2 milieux d'impédance différente :

$$\frac{P_r}{P_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 = r^2$$

avant qu'on me fasse un procès parce que la diapo dit « $Z_2 - Z_1$ » et non $Z_1 - Z_2$, il s'agit d'une fraction au carré donc dans tous les cas le résultat est positif = inutile de s'embêter avec un quelconque ordre dans les parenthèses (j'ai donc mis un ordre dont on peut se souvenir plus facilement)

$$\frac{P_t}{P_i} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = t^2 * \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$P_r + P_t = P_i \Rightarrow \frac{P_r}{P_i} + \frac{P_t}{P_i} = 1$$

=> 3e cas : Ondes Electromagnétiques :

propagation de champs électrique et magnétique. Ces deniers sont mesurés en soumettant les constituants de la matière à leur passage (notamment les **électrons** qui participent aux courants)

=> 2e cas : Ondes stationnaires (= suite du 1er cas)

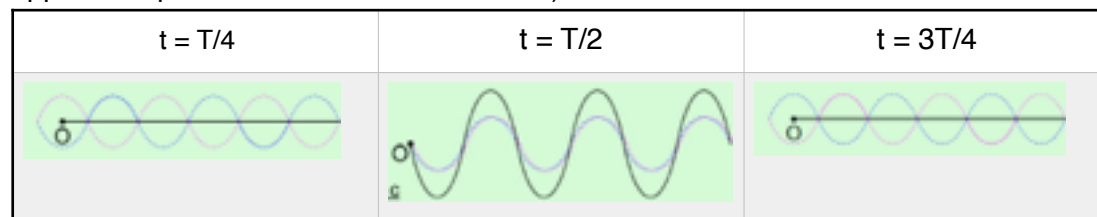
Dans le cas où une onde progressive sinusoïdale (1er cas) rencontre un milieu d'impédance **infinie** en $x = 0$: On observe une onde qui se superpose à l'onde incidente formant une onde totale (= onde **stationnaire**) d'équation :

$$\psi = 2 A \sin(kx) * \cos(\omega t)$$

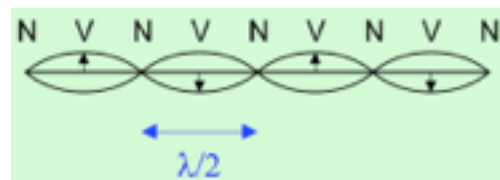
Le schéma est peu lisible... l'onde bleue (1) et la rose (2) sont littéralement superposées donnant une résultante d'amplitude augmentée (courbe noire) (Cf. « $2A$ » dans l'équation d'onde)



(rappel : T = période de l'onde = λ / c)



Onde stationnaire type :



V = ventre = point d'amplitude maximale
N = noeud = point d'amplitude minimale

NB : dans le cas d'une réflexion en un point d'impédance **nulle** l'onde totale est similaire sauf que le maximum est en $x=0$

Onde stationnaire d'une corde tendue entre 2 points : $x = 0$ et $x = L$

Les modes de vibration de l'onde sont ceux pour lesquels $\sin(kL) = 0$

$$\begin{aligned} kL = 0 & \quad \text{ou} \quad kL = \pi \\ \Leftrightarrow L = 0 & \quad \Leftrightarrow L = \lambda/2 \\ \Leftrightarrow f = c / 2L \end{aligned}$$

Donc les seules ondes stationnaires possibles sur une corde de longueur L (= **corde de Melde**) sont celles dont la fréquence, dite fréquence propre, est donnée par :

$$f_n = \frac{n \cdot c}{2L} = n * f_1$$

V- RMN

(1) Un aimant (a) ou, une bobine parcourue par un courant électrique (b) crée dans l'espace environnant un champ magnétique

(2) D'autre part, une boucle de courant dans un champ magnétique uniforme B se comporte comme un aimant



Bobine + Courant => Aimant

MOMENT MAGNETIQUE ORBITAL

Soit une boucle de courant de surface A et d'intensité I, placée dans un champ magnétique matérialisé par le vecteur B (= **vecteur du champ magnétique**).

(B a pour direction celle qu'aurait une aiguille de boussole placée en ce point (Cf. (2)), la norme représente la valeur du champ magnétique)

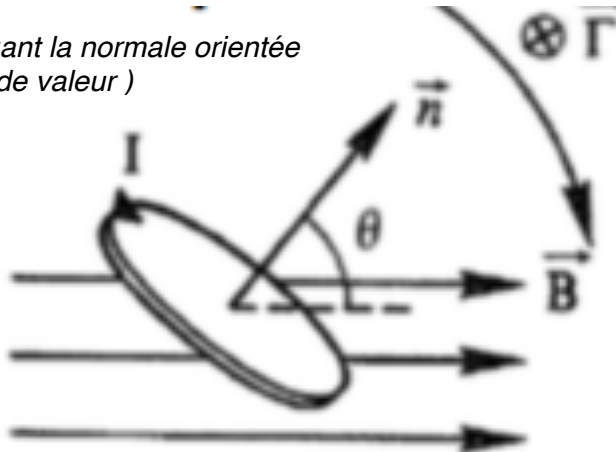
La boucle de courant est alors soumise à un couple :

$\Gamma = \mu \wedge B$ pour un moment dipolaire magnétique $\mu = I \cdot A \cdot n$

(n est le vecteur unitaire indiquant la normale orientée au plan de la boucle, il n'a pas de valeur)

BILAN :

μ est le moment magnétique, vecteur normal au plan !



Ondes électromagnétiques

Nom	Longueur d'onde	Fréquence
micro-ondes (= Hyperfréquences)	1 mm à 1 m	300 MHz à 300 GHz
Ondes millimétriques	1 mm à 10 mm	30 GHz à 300 GHz

MOMENT MAGNETIQUE D'UNE PARTICULE CHARGÉE

Soit une charge q, de masse m, en mouvement circulaire uniforme de rayon r, à la vitesse v, autour de O.

L'intensité I correspondant au déplacement de q vaut :

$$I = \frac{q}{2\pi \frac{r}{v}} \longleftrightarrow \mu = IA \longleftrightarrow \mu = \frac{qrv}{2} = \frac{q}{2m} L$$

(pour A = $\pi \cdot r^2$)

(pour L = mrv = moment cinétique orbital)



Dans le cas de l'électron, le moment **cinétique** est **quantifié** (Cf. cours sur la physique quantique), son moment **magnétique** est alors appelé **magnéton de Bohr** = quantum = plus petite quantité d'énergie

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

le « h barré » vaut $h / (2\pi)$, il s'agit de la constante de Planck divisée par 2 pi

BILAN

- μ = moment magnétique
- L = moment cinétique orbital
- au final, aucune formule n'explicite le moment **cinétique**

MOMENT MAGNETIQUE INTRINSEQUE

1- Electron

On introduit ici la notion de **spin** : moment **cinétique** intrinsèque de l'électron.

A ce spin, est associé un moment **magnétique** intrinsèque, lui **aussi** quantifié :

$$\vec{\mu}_s = -g_e \frac{e}{2m_e} \vec{S}$$

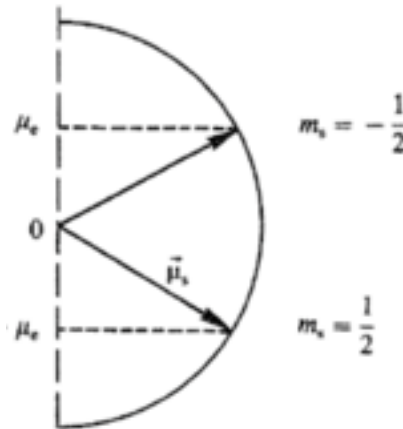
La projection S_z de S le long de la direction du champ magnétique, ne prend que des valeurs discrètes : $\hbar / 2\pi = \hbar / 4\pi = \pm 1/2$.

Le moment magnétique est donc lui aussi quantifié :

$$\mu_{sz} = -g_e \mu_e m_s$$

pour $m_s = \pm \frac{1}{2}$

fun fact : g_e a été mesuré **très précisément** et a une valeur très proche de 2



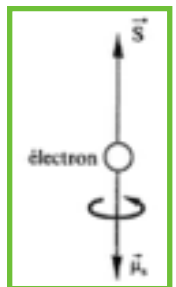
2- Proton

Le moment magnétique de spin du proton vaut :

$$\vec{\mu}_s = g_p \frac{e}{2m_p} \vec{S}$$

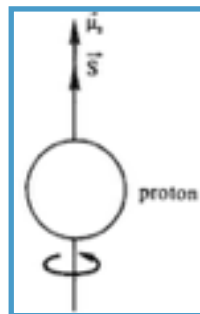
fun fact : g_p a une valeur de 5,58

noter que $m_p = 2000 \cdot m_e$, sous entendu le moment magnétique de l'électron est plus élevé que celui du proton (ce n'est pas dit explicitement mais on a les données pour le déduire)



Le moment magnétique par rapport au moment cinétique (spin) est :

- de **même** sens pour le **proton**
- de sens **contraire** pour l'**électron**



INTERACTION AVEC UN CHAMP UNIFORME

Tout noyau atomique, composé de protons et de neutrons, porte un moment magnétique, **proportionnel** à son moment cinétique global noté J (Cf. cours sur les forces) :

$$\vec{\mu} = \gamma \vec{J} \quad \gamma \text{ est le rapport gyromagnétique (dans le cas du noyau d'hydrogène c'est un proton : } J=S \text{ donc } \gamma = g_p \cdot e / (2m_p) \text{)}$$

Placé dans un champ magnétique uniforme et statique B_0 , J est soumis à un couple $\Gamma = \mu \wedge B$ à la fois perpendiculaire à B et à μ .

Par analogie avec la 2ème loi de Newton (PFD), le moment cinétique évoluera suivant l'équation :

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

Toute équation de ce type prouve l'existence d'un mouvement de précession (Cf. cours sur les forces). Ici, il s'agit de J (donc μ) qui précesse autour de B avec une vitesse angulaire $\omega = \gamma B$ et de fréquence $\nu_0 = \omega / (2\pi) \Rightarrow$ cette fréquence est appelée **fréquence de Larmor**

La fréquence varie **linéairement** avec l'intensité du champ. En particulier, on a pour l'électron $h\nu_0 = g_e \mu_e B_0$ et pour le proton $h\nu_0 = g_p \mu_p B_0$

Quand le moment magnétique est en précession autour du champ,

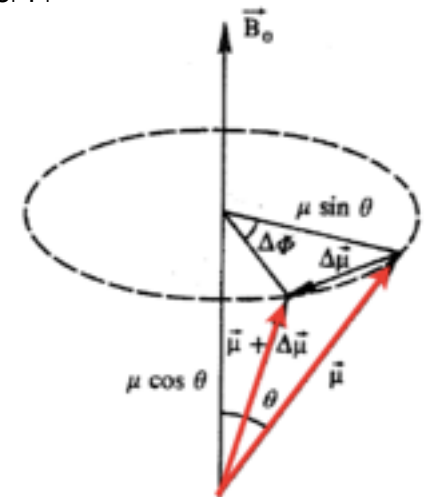
composante parallèle au champ = $\mu \cos \theta$
= constante

tandis que

projection dans le plan \perp au champ = $\mu \sin \theta$
= tourne, pendant l'intervalle de temps Δt , d'un angle $\Delta \Phi = \omega \Delta t$.

fun fact : on tourne dans le **sens rétrograde** si $\gamma > 0$

(++++)



fun fact : ν_0 (proton) = 42,58 MHz pour un champ $B_0 = 1$ tesla.

Vous avez passé le plus dur (qui ne tombe quasiment jamais au CC (on n'impose pas pour autant !!!) et qui est mathématique), on va donc s'attaquer à la partie compréhension (QUI TOMBE UNE ANNEE SUR DEUX !)

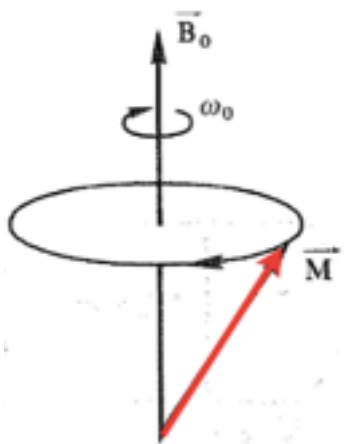
Petite présentation que vous verrez en biophysique et qui aide beaucoup à la compréhension :

La RMN (Résonance magnétique nucléaire) évolue en 3 phases :

- 1) L'application d'un champ tournant à la fréquence de Larmor
- 2) La résonance (= la composante perpendiculaire au champ statique est maximum)
- 3) La relaxation par arrêt du champ tournant (étape où on fait la mesure !)

On va principalement étudier les étapes 2 et 3

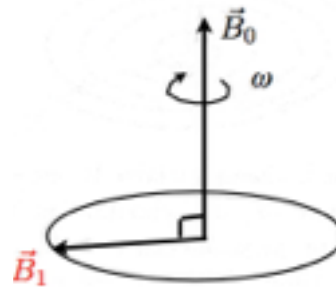
Pré-requis) Application d'un champ statique B_0



Il s'agit là de plonger un ensemble de noyaux dans un champ statique B_0 , la résultante des moments magnétiques individuels de ces noyaux induit un moment magnétique MACROSCOPIQUE (noté M) qui va précesser autour du champ B_0 à la vitesse angulaire $\omega = \gamma B$.

fun fact : Noter que si on se place dans le référentiel tournant autour de B_0 à la vitesse ω , le moment M est immobile
(si je suis sur la même « route » que M est que je vais à la même vitesse, j'ai l'impression que M ne bouge pas par rapport à moi)

1) Application d'un champ tournant B_1



On ajoute alors un champ variable B_1 , d'intensité **plus faible** que le champ statique B_0 , et tournant à une vitesse angulaire ω dans un plan perpendiculaire au champ statique.

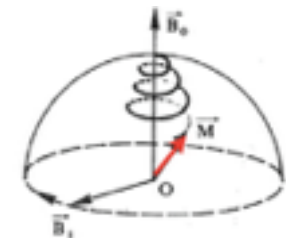
2) Résonance des 2 champs

On parle de résonance quand $\omega = \omega_0$, autrement dit que la fréquence de B_1 est **égale à la fréquence de Larmor**.

M va alors précesser autour de $B_1 \Rightarrow$
Le champ tournant est en résonance avec l'aimantation

3) Relaxation

3e et dernière étape de la RMN, on éteint le champ tournant B_1 pour retourner à la situation citée en pré-requis.



VI- Descriptions de la RMN

	Description quantique	Description classique
principe	variation d'énergie	variation de coordonnées en spirale
A la résonance, il y a absorption d'énergie (transition de niveau d'énergie de valeur $\Delta E = h \nu$)	... la composante // diminue ... la composante \perp augmente
A la relaxation, il y a restitution de l'énergie emmagasinée	... la composante // augmente ... la composante \perp diminue
Explication	Le champ radiofréquence, de fréquence ν_0 , fait basculer les noyaux dans un état d'énergie supérieur quantifié.	On considère le mouvement de M uniforme, telle une suite de déplacements élémentaires quantifiés. On peut alors suivre la progression du vecteur dans les différents plans.

5) A l'arrêt du champ radiofréquence, que pasa ?

Après extinction du champ B_1 , les noyaux retournent à leur état d'équilibre en réémettant l'énergie accumulée (que l'on mesure) pendant le basculement, résultant en un réalignement de M avec le champ statique B_0

Les 2 composantes vont évoluer **exponentiellement** :

La composante parallèle

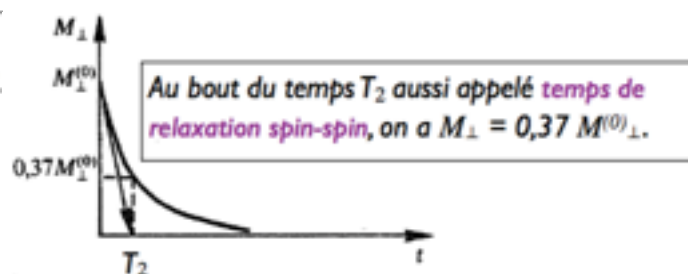
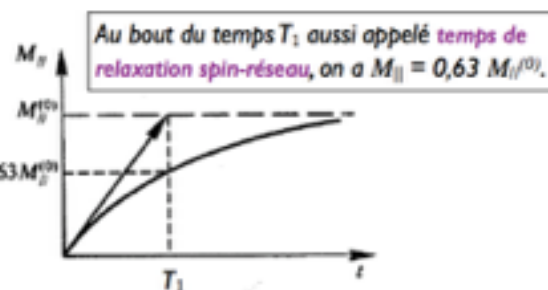
$$M_{\parallel} = M_{\parallel}^{(0)} * [1 - \exp(-t/T_1)]$$

$M(0)$ = composante initiale
 T_1 = temps de relaxation longitudinal

La composante perpendiculaire

$$M_{\perp} = M_{\perp}^{(0)} * [\exp(-t/T_2)]$$

$M(0)$ = composante initiale
 T_2 = temps de relaxation transversal



4) Comment ça se passe à la résonance ?

A la résonance, le point M (aka l'aimantation) s'aligne avec le champ tournant dans un plan perpendiculaire à sa position initiale, le tout en décrivant une spirale dans l'espace. ***schéma 2***

Le champ radiofréquence B_1 fait basculer les noyaux vers un état d'énergie supérieur séparé d'une valeur $\Delta E = h \nu_0$.

Classiquement parlant, les 2 composantes (parallèle et perpendiculaire) de l'aimantation vont évoluer inversement. A la résonance, l'aimantation va s'aligner sur le champ perpendiculaire, ainsi la composante perpendiculaire va augmenter (la composante parallèle diminue). ***schéma 1***

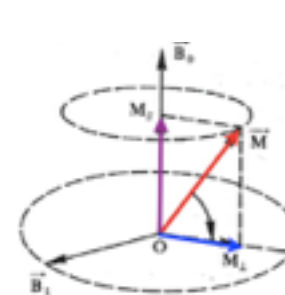


Schéma 1

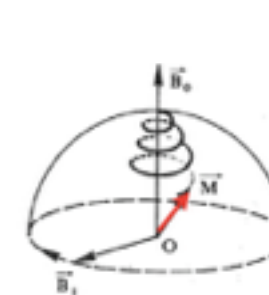


Schéma 2

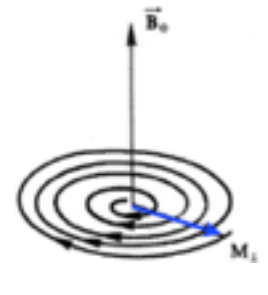


Schéma 3

Fun fact :

Lors d'une expérience RMN, le basculement de M génère aux bornes de la bobine d'axe perpendiculaire à B_0 un courant électrique appelé **FID** (« free induction decay ») qui varie de façon quasi-sinusoïdale et dont l'amplitude dépend de la valeur de M_{\perp} .

On obtient ainsi une mesure de la valeur de T_2 .

Selon la nature des tissus, **T_1** est de l'ordre de **300 à 3000 ms** tandis que le temps **T_2** est de l'ordre de **30 à 150 ms**.

3 petits qcm d'entraînement

QCM 1 : Concernant les ondes :

- A) Une onde est un phénomène vibratoire transportant de la matière
- B) La vitesse de propagation des ondes sonores dans un gaz est comparable aux vitesses d'agitation thermique à la température considérée
- C) En régime linéaire, si la source oscille périodiquement, l'onde aussi
- D) Les ondes parcourant un fouet de cirque sont des ondes transversales
- E) Les réponses A, B, C et D sont fausses

QCM 2 : Soit une corde de masse 100g et de longueur 20 cm.

Quelle est la vitesse de l'onde résultant de l'application d'une tension de 450 N ?

- A) 10 m.s⁻¹
- B) 15 m.s⁻¹
- C) 20 m.s⁻¹
- D) 30 m.s⁻¹
- E) 45 m.s⁻¹

QCM 3 : A propos de la RMN :

- A) Elle évolue en 3 phases
- B) A la résonance, le champ B₀, tourne à la fréquence de Larmor
- C) Après extinction du champ tournant, les noyaux absorbent de l'énergie
- D) Les coordonnées des composantes longitudinale et transversale sont inversement proportionnelles
- E) Les réponses A, B, C et D sont fausses

Correction

QCM 1 : Concernant les ondes :

- A) faux : ne transporte pas de matière
- B) vrai : texto le cours
- C) vrai : texto le cours
- D) vrai
- E) faux

Réponse : BCD

QCM 2 : Soit une corde de masse 100g et de longueur 20 cm.

Quelle est la vitesse de l'onde résultant de l'application d'une tension de 450 N ?

$$\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{450}{\frac{100 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-2}}}} = \sqrt{\frac{450}{0,5}} = \sqrt{900} = 30$$

Réponse : D

QCM 3 : A propos de la RMN :

- A) vrai : cours
- B) faux : le champ B₀ est statique ! c'est B₁ qui tourne
- C) faux : ils restituent cette énergie justement
- D) faux : Elles évoluent inversement mais varient exponentiellement ! elles ne peuvent donc pas être proportionnelles ni inversement proportionnelles
- E) faux

Réponse : A

C'est fini !! Félicitations d'être arrivé(e) à bout de cette fiche (dieu sait que c'était pas évident) !

Elle est archi complète, basée sur le diapo de l'an dernier ! Le prof ne change pas mais on sera là pour la mettre à jour en cas de changement !

Vous avez l'occasion de bien comprendre le cours et développer votre « esprit physique » . La matière n'est pas évidente certes, mais si vous passez un peu de temps (comme pendant la TTR où vous avez du temps pour vous « avancer » pour l'année) afin de COMPRENDRE ça se passera beaucoup mieux pendant le semestre et vous retiendrez tout plus facilement ! Je finis donc en vous disant de bien insister pendant la TTR sur les matières de compréhension afin de ne pas perdre trop de temps pendant le semestre pour comprendre les cours

Bon courage à tous et ON N'ABANDONNE JAMAIS !!!!!

PS : Lache poce blo