

La physique de l'IRM
Par Dimitri PIANETA

- Chapitre 1: Historiques
- Chapitre 2: Fonctionnement interne de l'IRM
- Chapitre 3: Les antennes
- Chapitre 4: La physique de l'IRM
- Chapitre 5: L'anatomie du cerveau dans l'IRM
- Chapitre 6: La MRE

Partie 1: Bases du magnétisme et de l'électricité

Quelques chiffres

- Champs magnétisme terrestre (à l'équateur): 0,5 G ou 0,00005 T.
- Champ électrique est approximatif à 0,2G et un écran d'ordinateur 0,1G (de distance de 30cm).
- En clinique: entre 5 000 et 15 000 G ou 0,1 et 1,5 T actuellement cela varie de 0,3T à 3T.

Les unités utilisés

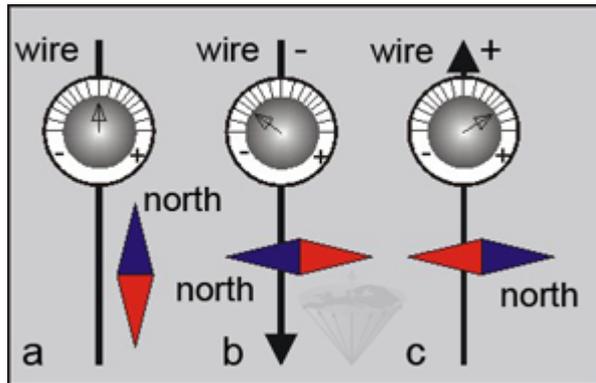
- On a vu G comme Gauss et T pour le Tesla.
- La relation entre 1T est équivalent à 10kG ou 10 000G.
- Soit $1 \text{ G} = 1 \text{ Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{ T}$

Quantité	Densité de Flux Magnétique	Champ magnétique	Magnétisation
Symbole	B	H	M ou H_1
Nom SI	Tesla	Ampère/mètre	Ampère/mètre
Symbole SI	T	A/m	A/m
Nom utilisé	Gauss		
Symbole Utilisé	G		

On note SI pour Système international.

Interactions entre Magnétisme et l'électricité

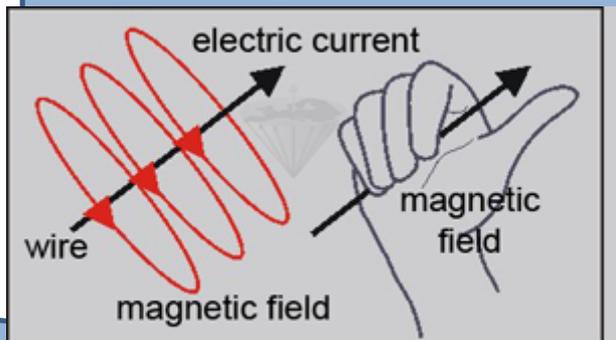
- Les phénomènes magnétiques sont fondamentalement électrique dans la nature. Puisque la moitié du 19^{ème} siècle, on avait pensé que le courant électrique crée le champ magnétique. Cependant, seulement 100 ans après Werner Heisenberg avait montré que les ferromagnétiques possèdent leur propriété pour l'actions électrique sur les atomes;
- Le champs magnétique d'un aimant permanent est facilement préservé, le champ créait par le courant électrique est légèrement plus difficile.
- Une découverte en 1820 par le physicien Danois Hans Christian Oersted qui a démontrée qu'une boussole montre l'orientation nord-sud.



- (a) Non courant
- (b) courant vers le bas
- (c) courant vers le haut

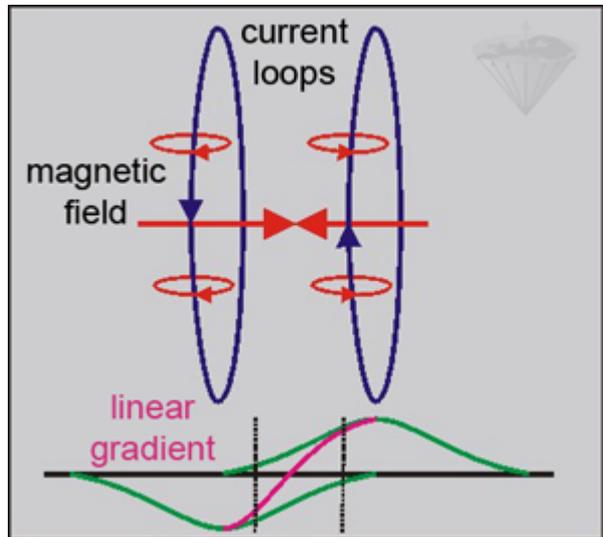
Interactions entre Magnétisme et l'électricité

- Si un courant électrique dans une seule direction passe dans deux fils parallèles (chacun), ils seront attirés entre eux.
- Si le courant est passé dans la direction opposée, le fils devra faire un mouvement de repoussement.
- On peut dire alors que le courant électrique dans un fil a créé un champ magnétique selon la direction du courant.
- Si la direction de le courant est indiqué par le pouce de la main droite, la direction du champs magnétique correspond à la direction des doigts.
- Mais à l'inverse est aussi vrai, un champs magnétique crée un mouvement d'électrons. Si nous avons un champs magnétique qui oscille dans le fils.
- Dans imagerie MR le courant est induit et donne pour cela le signal. Comme un générateur, plus le champs magnétique est grand, plus la tension est grande.



Interactions entre Magnétisme et l'électricité

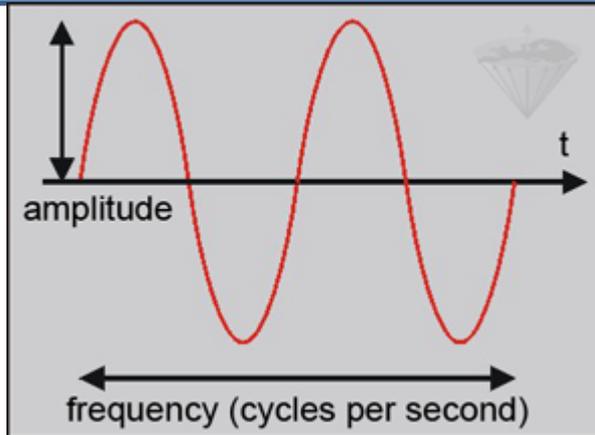
- Cependant, quand on place deux boucles de fils avec un courant opposé selon une distance de leurs diamètres parallèles. On crée un champs magnétique linéaire.
- Ce champs se trouve entre les deux boucles. Elle est appelée la constante du gradient.



Le signal

- Voici quelques termes utiles à la compréhension des signaux.

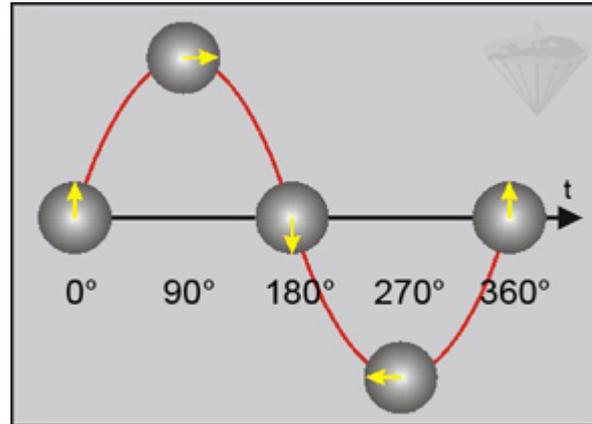
- **Amplitude** : C'est le reflet de la luminance de l'image d'IRM. Amplitude est la différence entre le pic de la courbe et le zéro. Sont unité est le volt (V). Pour l'IRM très souvent en mV.



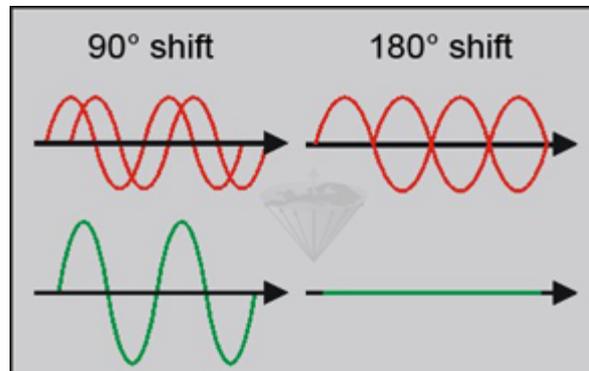
- **Fréquence** : est le nombre complet de cycle par seconde. Cette mesure est en Hertz (1Hz = 1 cycle par seconde). Dans IRM, nous utilisons très souvent le kilohertz (1kHz) ou mégahertz (MHz).

Le signal

- **Phase:** spécifie l'amplitude initiale de l'onde. La phase est exprimé en degré. Un cycle complet de phase est égale à 360° .



- Pour deux ondes, on peut appeler le déphasage positif ou le déphasage négatif.

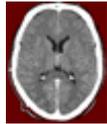
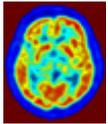


Partie 2: RMN – Résonance Magnétique Nucléaire

La base

- La RMN est comprise entre 10 MHz et 1 MHz

Freq uenc e (Hz)	10^{24}	10^{23}	10^{22}	10^{21}	10^{20}	10^{19}	10^{18}	10^{17}	10^{16}	10^{15}	10^{14}	10^{13}	10^{12}	10^{11}	10^{10}	1 GHz	100 MHz	10 Mhz	1 Mh z	100 kHz	10 kHz	1 KH z	10^2
---------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	------------	-----------	--------------	------------	-----------	--------------	--------

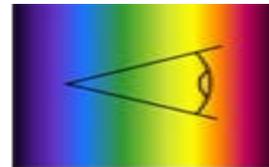
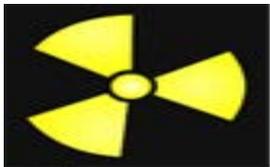


Rayons Gamma

Rayons X

Lumière Ultraviolet

RMN/IRM



0.01 nm

1 nm

100 nm

1 mm

1 cm

1 m

1 km

400 nm

700 nm



Rayons
Gamma

Rayons
X

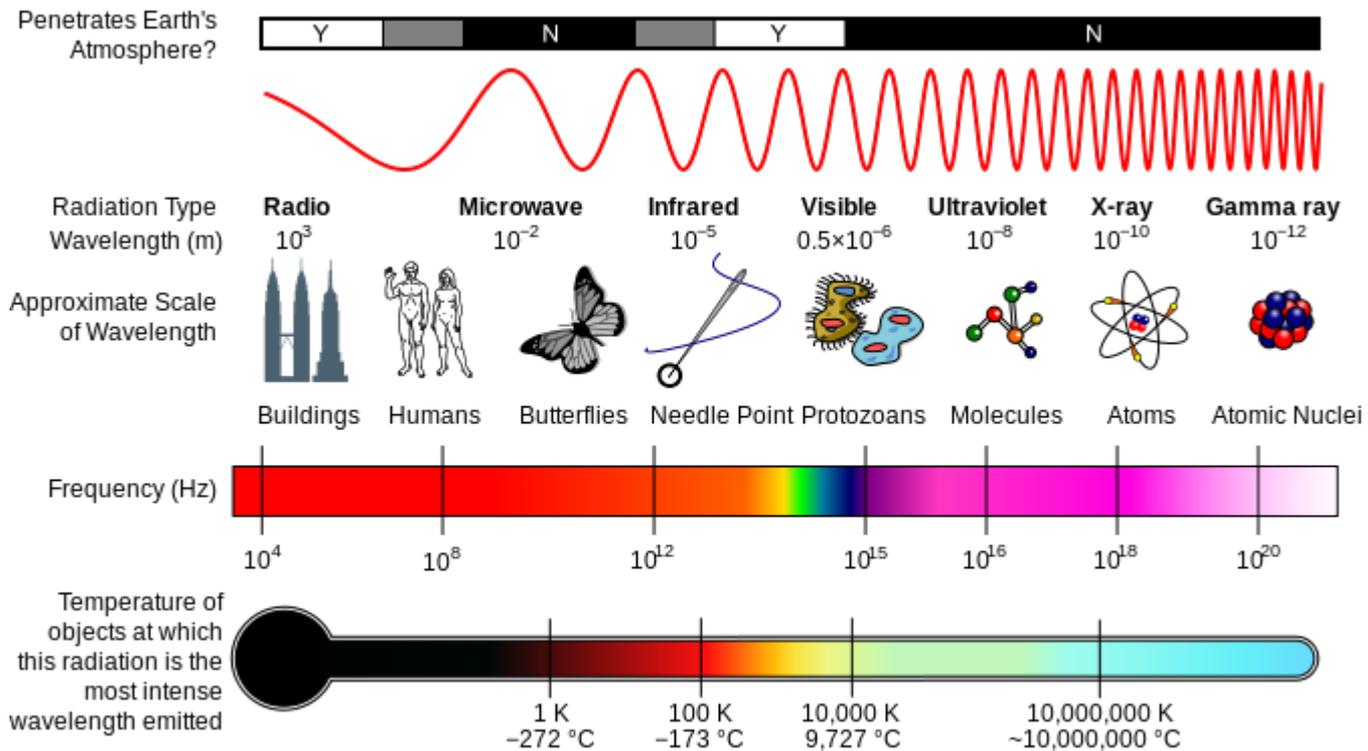
Lumière
Ultraviolet

Lumière
visible 10^{15}

Micro-
ondes

Ondes -
radio

- Résumer des ondes:



La base

- Résumer des ondes:

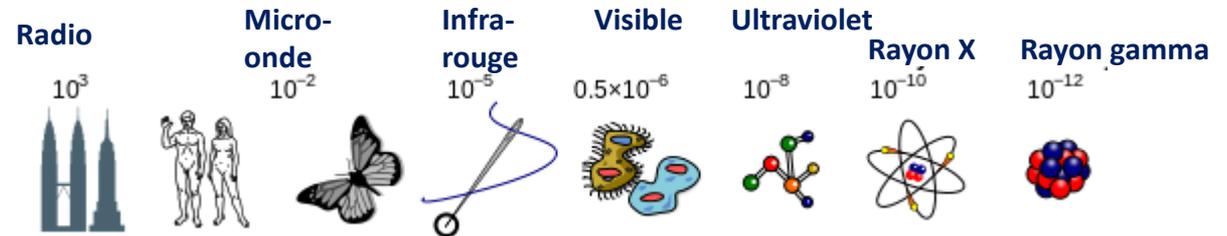
Atmosphère Terrestre



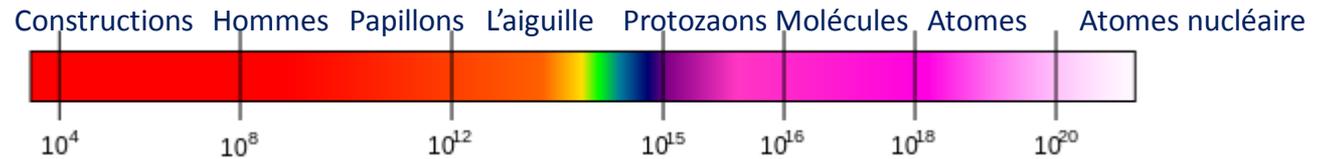
Type d'onde

Longueur d'onde (m)

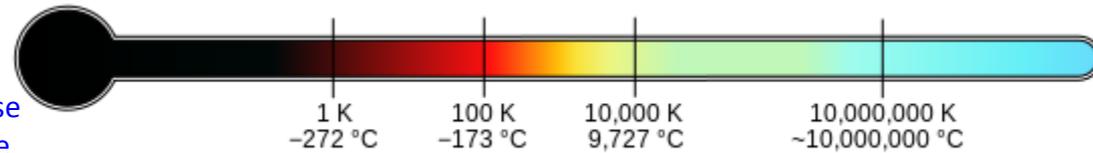
Approximation d'échelle



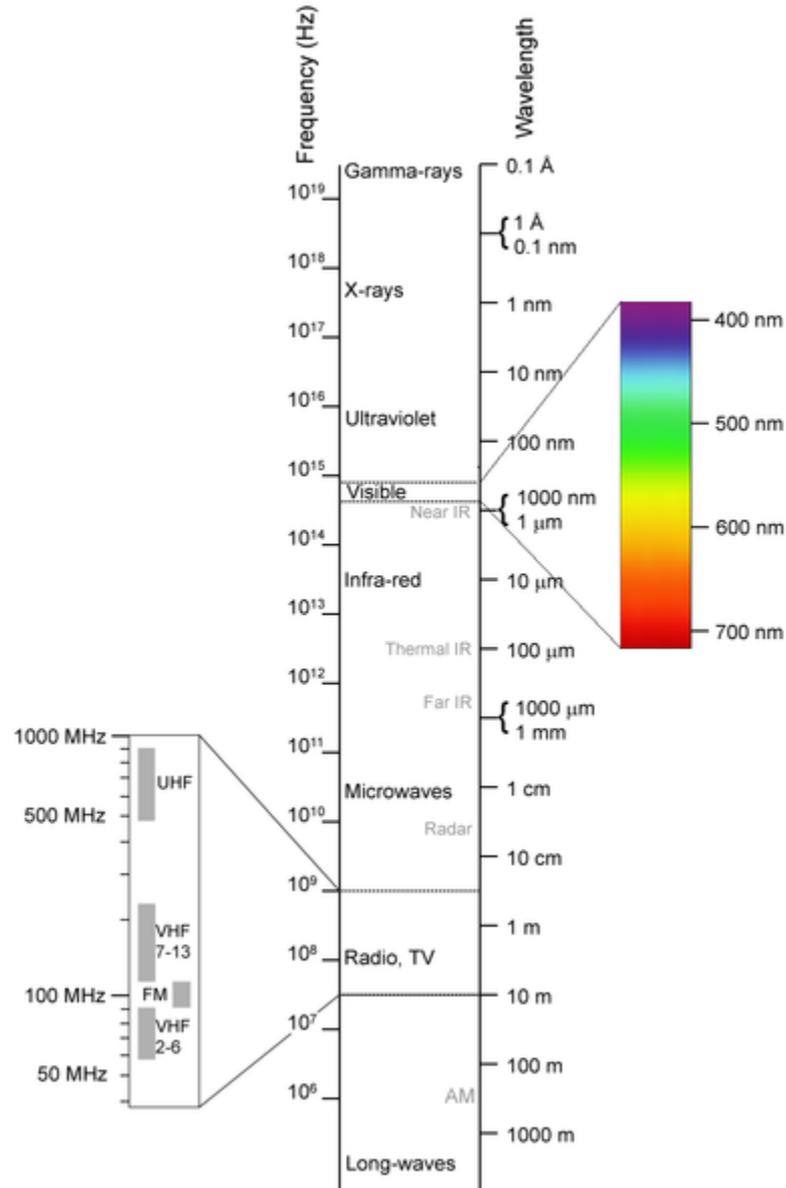
Fréquence (Hz)



Température de l'objet à sa Radiation est plus intense émission de longueur d'onde



La base



Résumer du tableau périodique

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

<http://www.periodni.com/fr/>

PÉRIODE

MASSA ATOMIQUE RELATIVE (1)

BORE

SYMBOLE

NOM DE L'ÉLÉMENT

ÉTAT PHYSIQUE (25 °C; 101 kPa)

Ne - gaz Fe - solide

Hg - liquide Tc - synthétique

PÉRIODE	GROUPE IUPAC																		
	1 IA	2 IIA	3-10										11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA
1	H	He																	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo	

Copyright © 2012 Eni Generalic

LANTHANIDES														
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LANTHANE	CÉRIUM	PRASÉODYME	NÉODYME	PROMÉTHIUM	SAMARIUM	EUROPIUM	GADOLIUM	TERBIUM	DYSPROSIUM	HOLMIUM	ERBIUM	THULIUM	YTTERBIUM	LUTÉTIUM

ACTINIDES														
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
ACTINIUM	THORIUM	PROTACTINIUM	URANIUM	NEPTUNIUM	PLUTONIUM	AMÉRICIUM	CURIUM	BERKÉLIUM	CALIFORNIUM	EINSTEINIUM	FERMIUM	MENDELEVIUM	NOBELIUM	LAWRENCIUM

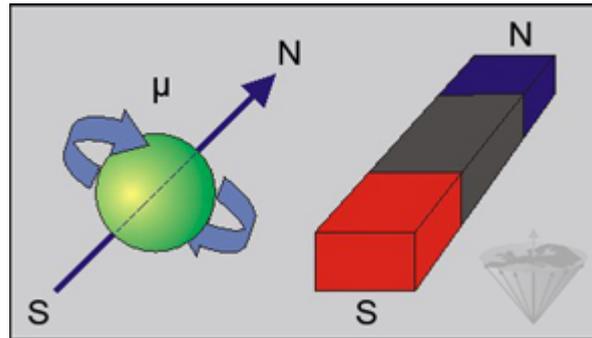
(1) Pure Appl. Chem., 81, No. 11, 2131-2156 (2009)
 La masse atomique relative est donnée avec cinq chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande. Toutefois, pour les trois éléments (Th, Pa et U) qui ont une composition isotopique terrestre connue, une masse atomique est indiquée.

Résumer des facteurs de dix

Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	milli	m
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Propriété magnétique des noyaux

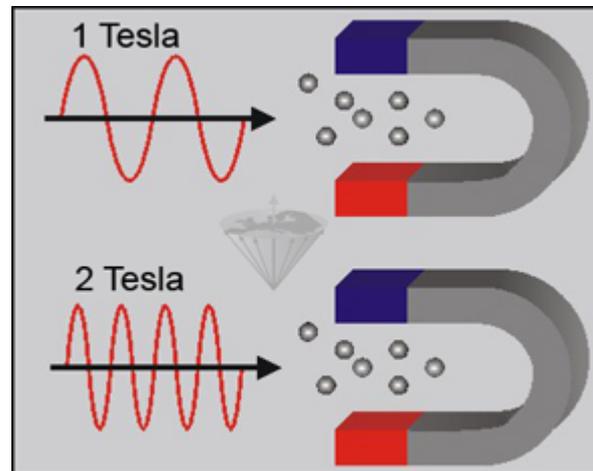
- Les noyaux qui sont le plus utilisés : ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na et ^{31}P .
- Le proton (^1H) est le plus commun parce qu'elle est en majorité dans le corps humain.
- Noyau ^{12}C et ^{16}O ont le même nombre de protons et de neutrons ne sont pas produit par le signal résonance magnétique.
- L'atome hydrogène (^1H) consiste un simple proton charge positive à qui spins tourne autours de son axe.



μ : moment magnétique, S : Sud et N : Nord

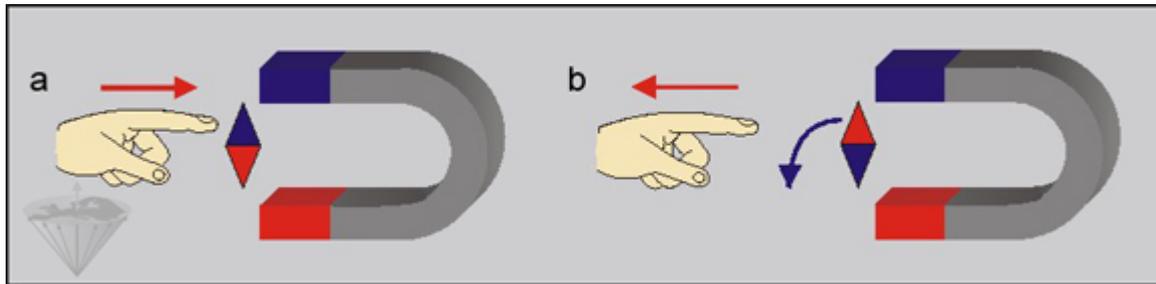
Propriété magnétique des noyaux

- Quand le noyau atomique avec les propriétés magnétiques sont placés dans un champs magnétique. Ils doivent absorber l'onde électromagnétique d'une fréquence caractéristique. L'exacte fréquence dépende du type de noyaux, de la longueur onde, et la physique et de l'environnement du noyau.



Propriété magnétique des noyaux

- L'absorption et la réémission de l'onde radio est le phénomène basique utilisé dans imagerie RM et la spectroscopie RM.
- Le phénomène de résonance magnétique :
 - 1^{er}, soit nous considérons un petit magnétisme placé dans un champ magnétique.



La distribution Boltzmann

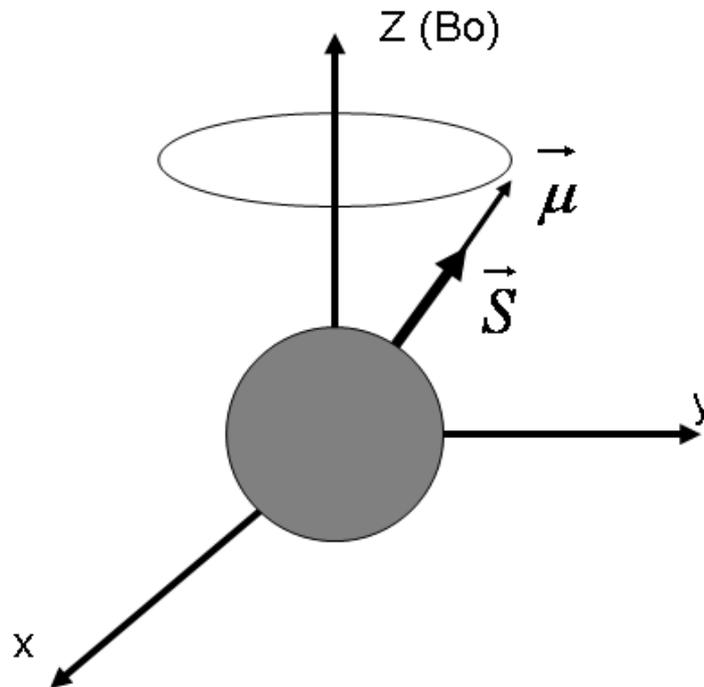
- Si nous appelons le nombre de noyaux N_u et que les noyaux dans un bas niveau N_l .

$$N_l / N_u = \exp(\Delta E / kT)$$

Où ΔE est la différence d'énergie entre deux niveaux ($\Delta E = h\omega$; $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$); k est la constante de Boltzmann ($k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$) et T est la température absolue (Kelvin).

L'équation de Larmor

• Le noyau d'un atome est composé de protons, chargés électriquement, et de neutrons électriquement neutres. Ces protons et neutrons peuvent tourner en rotation sur eux-mêmes, en induisant un moment cinétique (\vec{s}), ou spin, aligné sur leur axe de rotation. Une charge qui tourne, induit autour d'elle un champ magnétique appelé moment magnétique ($\vec{\mu}$). Les protons et les neutrons possèdent un moment magnétique qui est dû à la répartition des quarks qui les composent et à d'autres phénomènes de mécanique quantique.



L'équation de Larmor

- Le moment magnétique du neutron est environ égal au 2/3 de celui du proton. Au sein des noyaux, les différentes particules vont alors s'agencer de manière à minimiser le moment magnétique résultant pour maintenir un niveau d'énergie nucléaire faible et le plus stable possible. Les moments vont s'annuler deux à deux, et seuls les noyaux ayant un nombre impair de protons auront un moment magnétique résultant, non nul, qualité d'intrinsèque ou élémentaire.
- Le noyau d'hydrogène, qui possède un proton, est présent dans les 2/3 des atomes de l'organisme. Par conséquent, il pourra jouer un rôle prépondérant en IRM.
- La RMN consiste à étudier les propriétés magnétiques de certains noyaux atomiques sous l'action de champs magnétiques: un champ magnétique statique élevé (\vec{B}_0) et un champ électromagnétique radiofréquence tournant (\vec{B}_1). Deux modèles complémentaires ont été proposés afin de mieux comprendre le phénomène : un modèle de mécanique classique, à l'échelle macroscopique et un modèle de mécanique quantique, à l'échelle atomique.

L'équation de Larmor

- En l'absence du champ magnétique statique \vec{B}_0 , les moments magnétiques des protons ($\vec{\mu}$) d'un échantillon tissulaire sont orientés de façon aléatoire en tout sens et le moment magnétique macroscopique résultant est \vec{M} :
$$\vec{M} = \sum \vec{\mu} = 0$$

- Sous l'action de \vec{B}_0 , les protons vont s'orienter dans la direction de celui-ci et tourner autour de \vec{B}_0 avec un certain angle auquel est associé une fréquence, appelée fréquence de Larmor:

$$f_0 = \frac{\gamma}{2\pi} B_0$$

Avec gamma : le rapport gyromagnétique ($267,54 \cdot 10^6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$ pour le noyau d'hydrogène)

L'équation de Larmor

Nucleus	Magneto-gyric ratio	Relative abundance	Sensitivity
¹ H	42.58	99.98	1.00
¹³ C	10.71	1.11	0.01
¹⁹ F	40.05	100	0.83
²³ Na	11.25	100	0.093
³¹ P	17.23	100	0.066

Table 02-02:

Magnetic values for some common elements. Magnetogyric ratio: MHz/T; to obtain the resonance frequency, one multiplies the cited number with the field strength. Relative abundance: percentage. Sensitivity: at constant field, taking into account their relative abundance.

Field Strength (T)	Frequency (MHz)			
	¹ H	¹⁹ F	³¹ P	²³ Na
0.1	4.3	4	1.7	1.1
0.3	12.8	12	5.1	3.4
0.5	21.3	20	8.6	5.6
1.0	42.6	40	17.2	11.3
1.5	63.9	60	25.9	16.9
2.0	85.2	80	34.5	22.5
3.0	127.8	120	51.8	33.8
4.7	200	188	81	52.9
9.4	400	376	162	105.8
11.7	500	470	203	131.6

Table 02-03:

Dependence of field strength and frequency for some commonly used fields (rounded values).

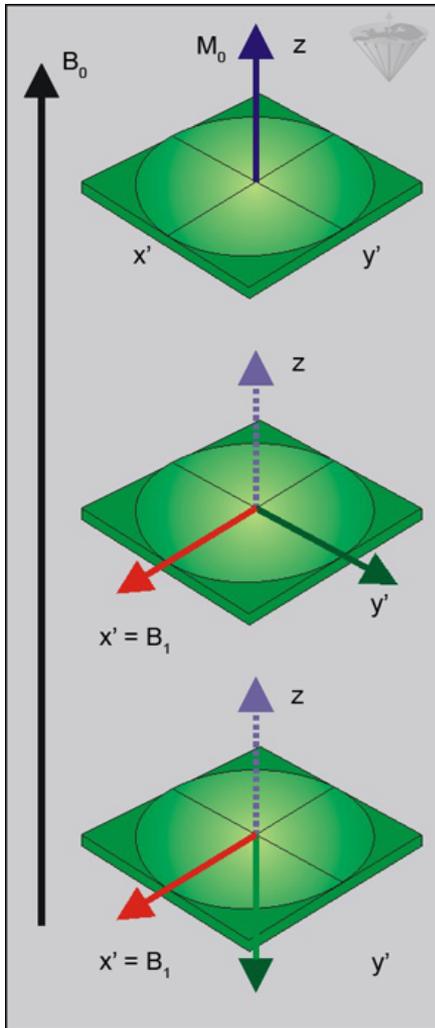
Résonance

- La résonance sur échelle nucléaire est équivalent à la mécanique de résonance.
- Un pont doit osciller et s'effondrer quand un groupe de soldats marchés en rythme ou une ondulation causée par le vent correspondant à sa fréquence de vibration; où similaire à un verre qu'on casse par la voix très aigus.



Vidéo du pont
Convertir en avi

The collapse of the Tacoma Narrows Bridge across the Pudget Sound in Washington state (USA) in November 1940 was caused by high winds making the structure oscillate. Resonance can contribute to such accidents.



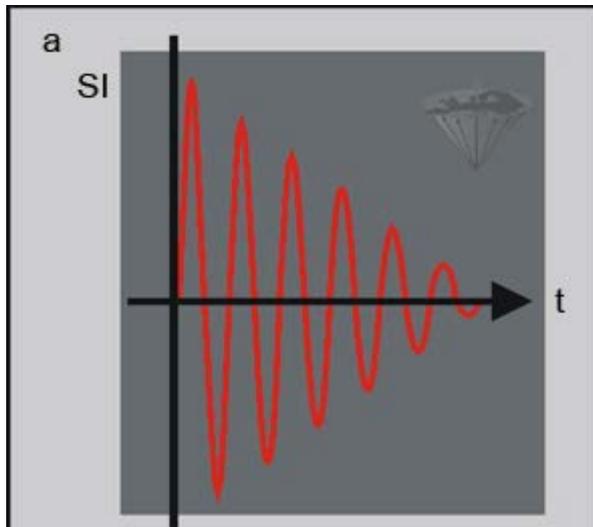
À l'équilibre, il y a un moment stationnaire, M_0 du même sens que B_0 .

Pulsation 90°

Pulsation 180° le champ magnétique est inversé

Free Induction Decay

- C'est le signal induit dans la bobine de détection.
- Elle est caractérisé par trois paramètres:
 - ❑ Le signal est périodique de fréquence f_0 , la fréquence de Larmor du noyau étudié.
 - ❑ L'amplitude initiale du signal est proportionnelle au nombre de protons excités. Dans le cas de l'imagerie, le nombre de protons excités sera lié à la densité locale de protons.
 - ❑ Le signal électrique décroît comme l'aimantation transverse M_{xy} .



On note SI qui est égale au signal intensité et t est le temps.

Partie 3: La relaxation

Définitions

- Lorsque cesse l'impulsion de radiofréquence, les phénomènes inverses concernant l'aimantation longitudinale et l'aimantation transversale vont se produire, les spins retournent à leur état d'équilibre, c'est la relaxation.

- Ils existent deux types de relaxations:
 - La relaxation longitudinale ou T1 ou spin-réseau
 - La relaxation transversale ou T2 ou spin-spin

Définitions

- Les paramètres qui influent pour T1:

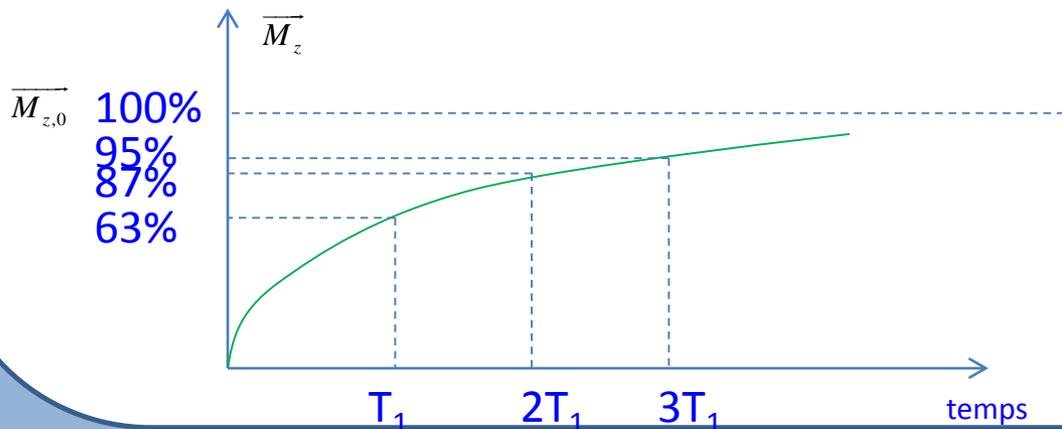
- le type de noyaux
- la fréquence de résonance
- température
- mobilité du spin (dite la micro viscosité)
- présence de large molécule
- présence d'ions paramagnétique ou molécules

- Les paramètres qui influent pour T2:

- la fréquence de résonance (elle est moins importante que T1)
- température
- mobilité du spin (dite la micro viscosité)
- présence de large molécule
- présence d'ions paramagnétique ou molécules

La relaxation longitudinale ou T1 ou spin-réseau

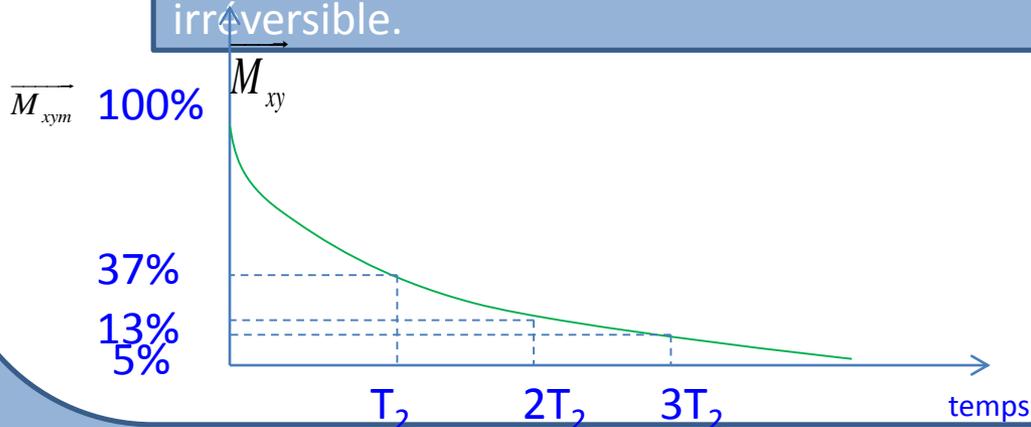
Cette relaxation est liée à un échange d'énergie entre le spin d'un proton et le réseau de protons environnant: le transfert d'énergie est dû à des chocs aléatoires entre le proton considéré et les protons environnants. De ce fait, une croissance exponentielle de l'aimantation longitudinale M_z est observée et un temps caractéristique T1 peut-être associé à ce phénomène. Le temps caractéristique de la relaxation spin-réseau T1 correspond au temps nécessaire pour que l'aimantation longitudinale M_z représente environ 63% de sa valeur à l'équilibre en partant d'une aimantation nulle.



$$\overrightarrow{M}_z = M_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

La relaxation transversale ou T2 ou spin-spin

Cette relaxation est caractérisé par un temps de relaxation spin-spin T_2 . Dans les faits, les moments magnétiques décrivent un mouvement de précession de manière cohérente juste après leur basculement dans le plan transverse. Ce mouvement cohérent est à l'origine de l'aimantation transverse mesurée par la bobine de détection. Cependant, les interactions spin-spin créent des variations aléatoires du champ magnétique local dont découlent des fluctuations de la fréquence de précession pour chaque proton de l'ensemble considéré. Ces fluctuations vont alors se traduire par une perte progressive de cohérence entre les protons. Plus particulièrement, certains moments magnétiques vont être caractérisés par une vitesse angulaire supérieure, ou inférieure, à celle attendue si les interactions spin-spin n'existaient pas. Ce déphasage entre les protons est irréversible.

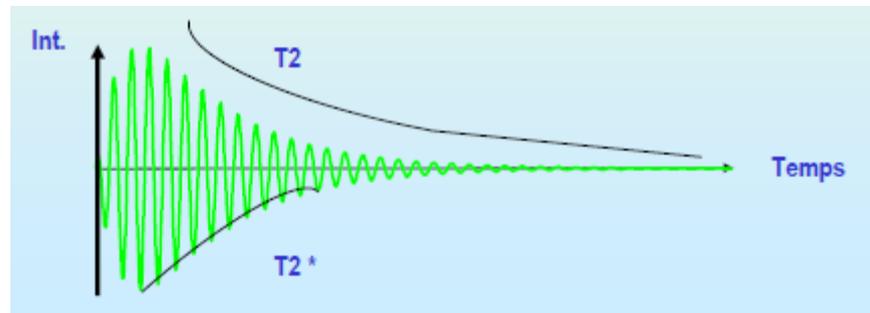


$$\vec{M}_{xy} = M_{xy}(0^+) e^{-\frac{t}{T_2}}$$

Pour mesuré, le signal délais plus rapide. Il faut mesurer le T_2^* qui est égale à la relation suivante:

$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_{2\text{inhomo}}}$$

↑
Temps appareil

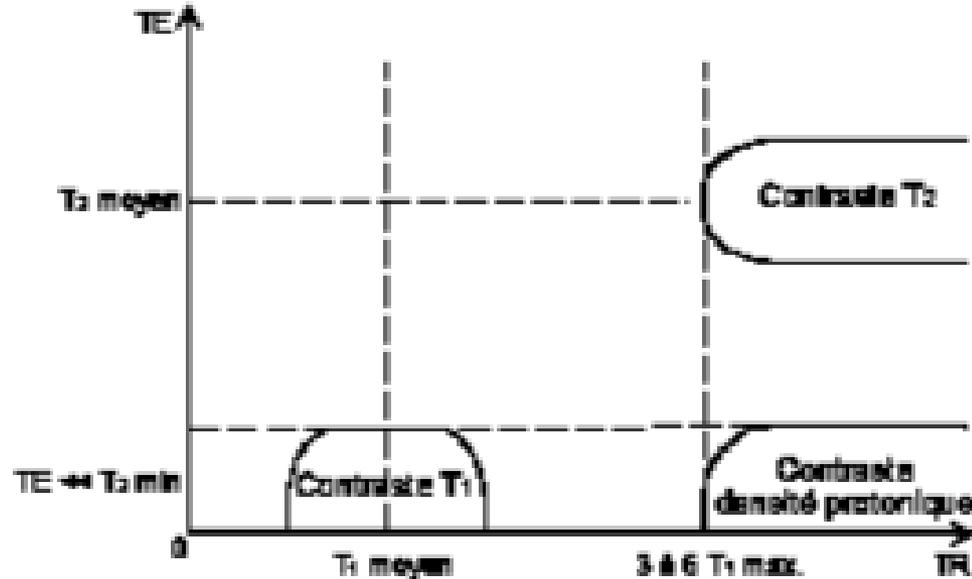


Contrastes

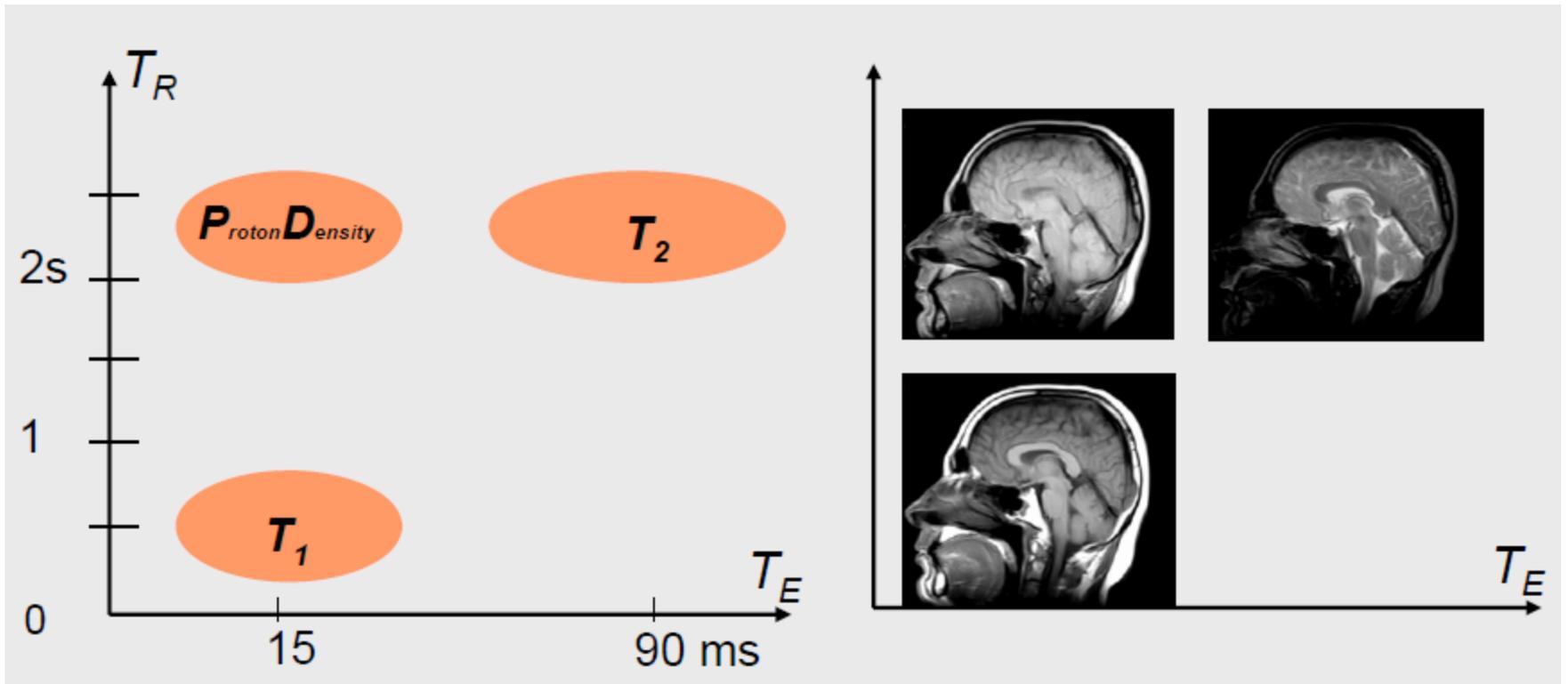
Dans le cas d'un contraste en T1, ce sont les zones à T1 courts qui fournissent le plus de signal alors que dans le cas d'un contraste en T2, ce sont les zones à T2 long qui fournissent le plus de signal. Les deux types de contraste sont donc antagonistes.

Pour bénéficier du contraste en T1, il faut donc annuler le contraste en T2 en choisissant un TE très faible. Les conditions pour obtenir un bon contraste en T1 sont:

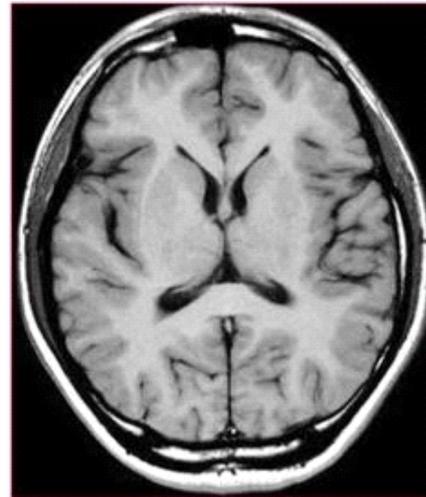
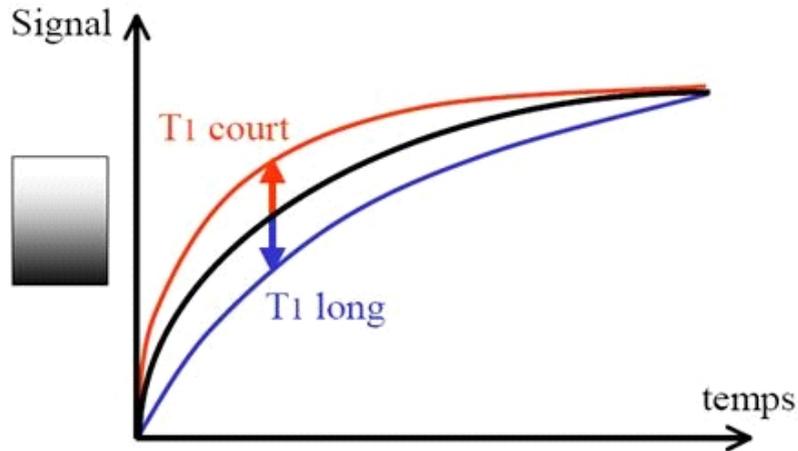
- $TR > 3 \text{ à } 5 T_{1\max}$
- Un TE de l'ordre des T2 de la zone à explorer



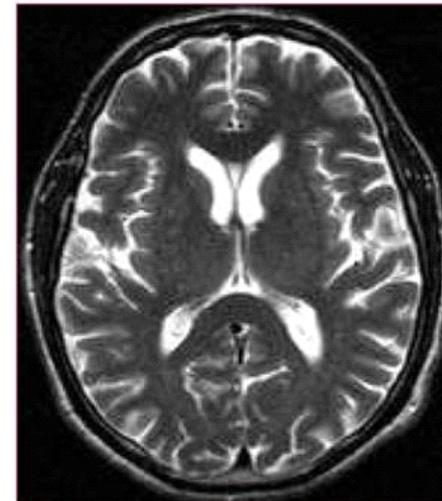
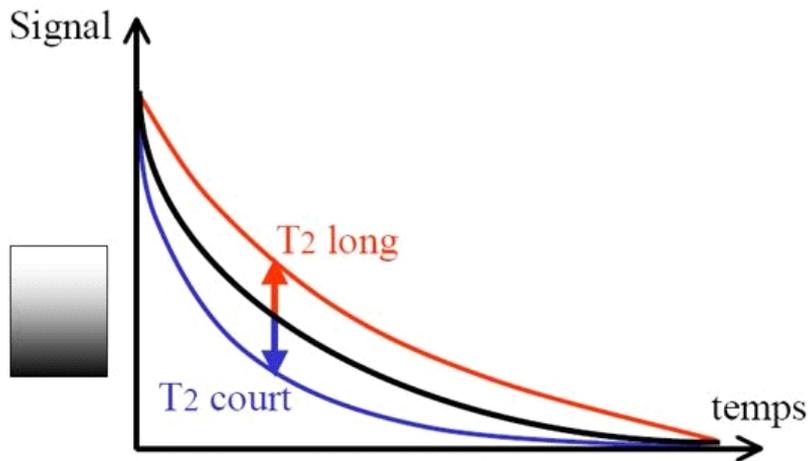
Contrastes



Contrastes



Graisse	Blanc (hypersignal)
Tissus	Gris
Eau	Gris/Noir
Air, os	Noir (hyposignal)



Eau	Blanc (hypersignal)
Graisse	Gris clair
Tissus	Gris foncé
Air, os	Noir (hyposignal)

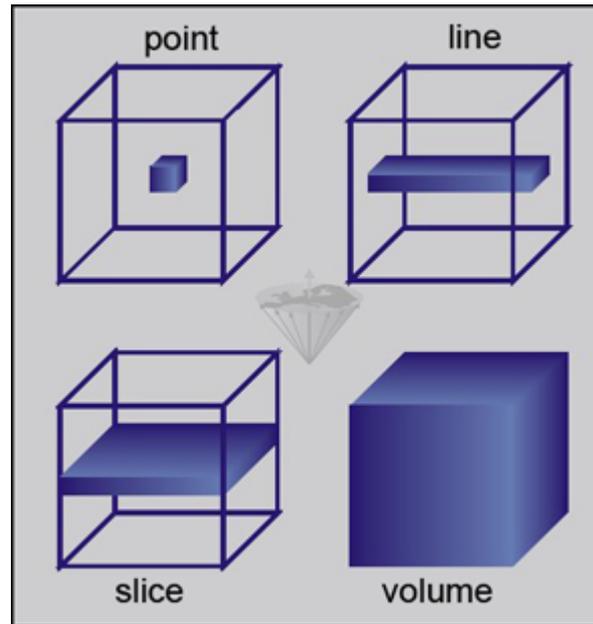
Contrastes

en écho de spin	TE	TR	Echo de spin
T1	COURT	COURT	TE~15, TR~500
T2	LONG	LONG	TE~100, TR~4000
Densité de protons	COURT	LONG	TE~20, TR~2000

Partie 4: La formation de l'image

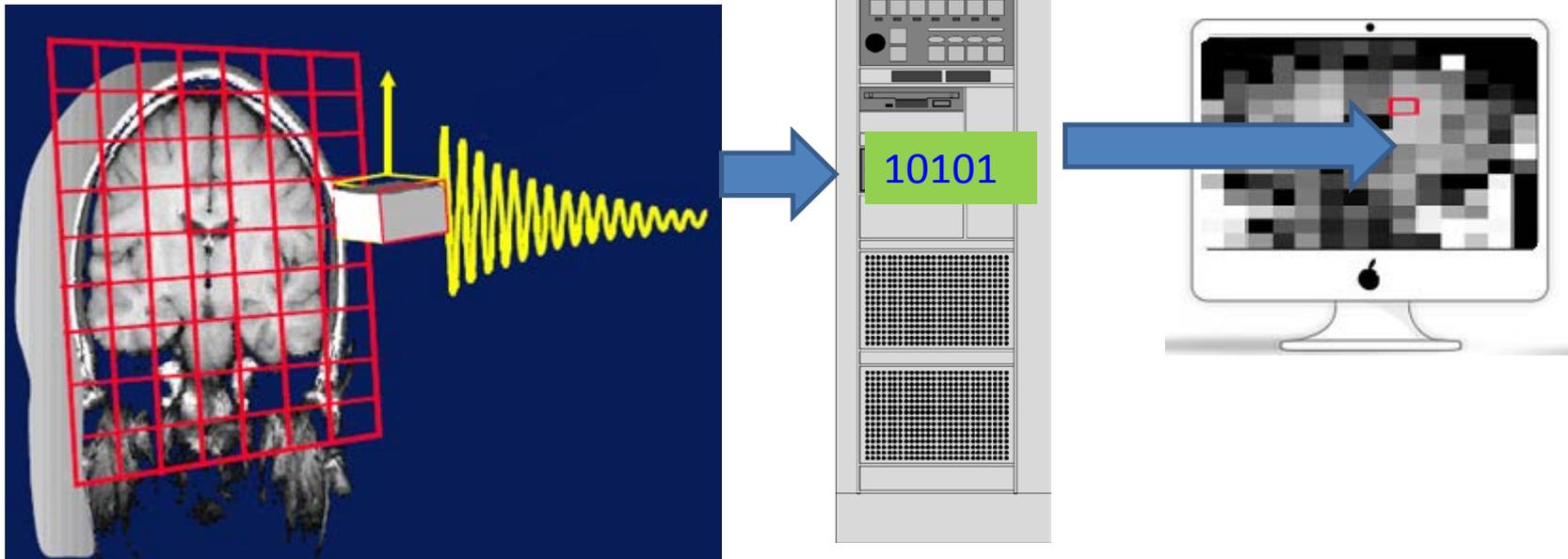
Bases

Les images sont composées d'un pixel (un point si on considère les pixels carré), une ligne de pixel, une tranche de pixel pour 2D, un voxel pour le 3D qui égale à un volume de pixel.



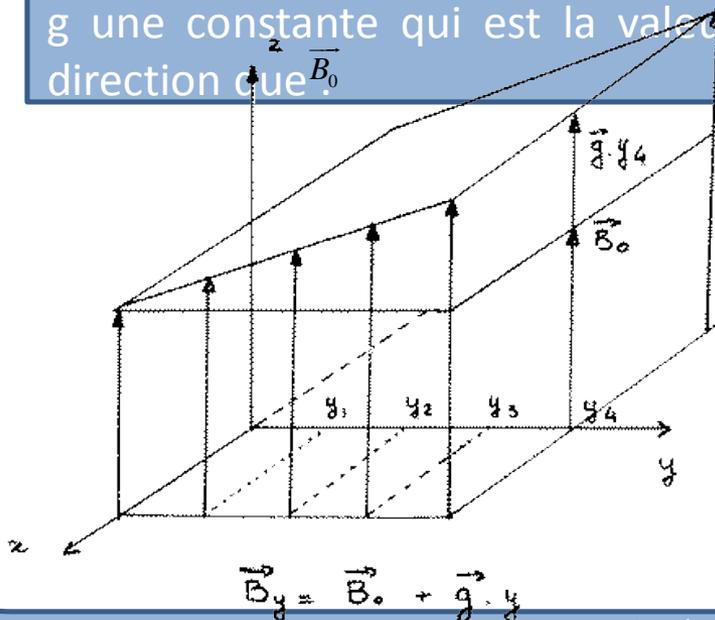
La formation d'une image doit suivre les procédures suivantes:

- Localisation du spins
- Sélection de l'excitation de spins
- Détection et reconstruction du signal



Codage spatial dans une direction

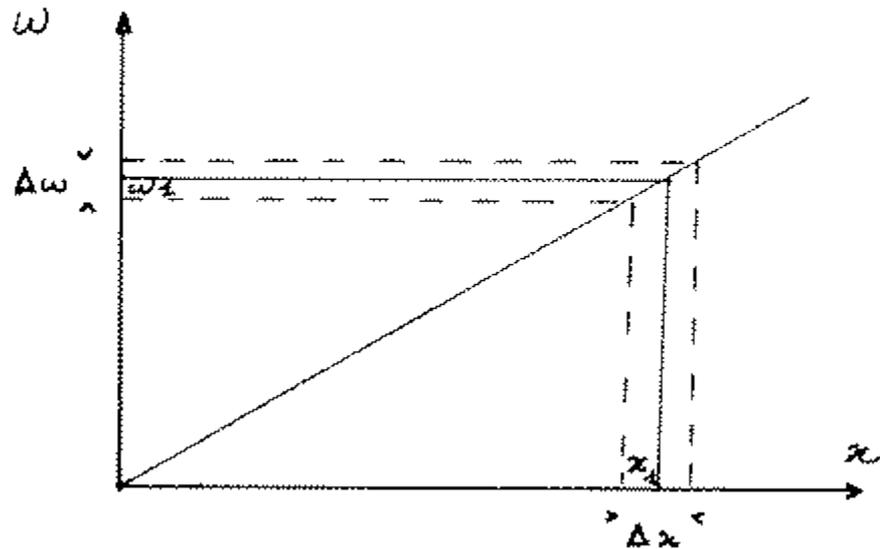
- Dans un champ homogène B_0 , nous l'avons vu, tous les noyaux d'hydrogène de l'eau résonnent à la fréquence σ_0 et il n'y a pas de possibilité de discrimination spatiale entre ce qui revient à un point de l'échantillon ou à un autre. Il faut donc ajouter quelque chose dans le dispositif initial.
- Un gradient de champ magnétique dans la direction Oy correspondra à l'application d'un champ local qui aura bien sur la même direction que \vec{B}_0 mais dont l'intensité va varier en fonction de la distance y par rapport à l'origine des axes. Un gradient de champ magnétique dans la direction y aura pour expression $G_y = g \cdot y$, y étant la cote du point dans la direction y et g une constante qui est la valeur du gradient \vec{G}_y est dirigé dans la même direction que \vec{B}_0 .



Le principe de la sélection de tranche

• Compte tenu de ce qui vient d'être dit, on voit clairement qu'en présence d'un gradient dans une direction, par exemple Ox, les plans de cote x_1 et x_2 (rappelons qu'un plan de cote x_1 est un plan parallèle à yOz , donc perpendiculaire à Ox qui coupe Ox au point de cote x_1) ont des fréquences de résonance σ_1 et σ_2 qui leur sont propres. Si on veut exciter sélectivement l'un de ces deux plans, par exemple le plan de cote x_1 , la solution est simple : il suffit d'envoyer dans la bobine radiofréquence, en présence du gradient G_x , un signal qui soit très exactement la fréquence σ_1 .

$$\Delta\omega \sim g \cdot \Delta x$$



La lecture du plan image

- Prenons comme exemple de description, la séquence de spin-écho. Supposons que la sélection de tranche soit faite selon un plan perpendiculaire à Oz ; il reste alors à coder les points de ce plan en x et en y . Cela se fera par les gradients G_x et G_y qu'on appliquera par exemple avant la lecture de l'écho pour G_x et pendant la lecture de l'écho pour G_y .
- En effet, il est facile de montrer que l'application d'un gradient G_x dans la direction Ox pendant un temps donné avant la lecture de l'écho (par exemple entre le 90° et le 180°) réalise un codage en phase selon cette direction. En fait, il faut appliquer n fois des gradients de pentes différentes pour coder n points dans cette direction Ox .
- De même, un gradient appliqué pendant la lecture, dans l'autre direction, G_y dans notre exemple, permet un codage en fréquence dans la direction Oy .
- Une Transformée de Fourier à deux dimensions (2DFT) appliquée sur les n acquisitions permet alors de décoder en phase et en fréquence les différents points du plan image sélectionnés.

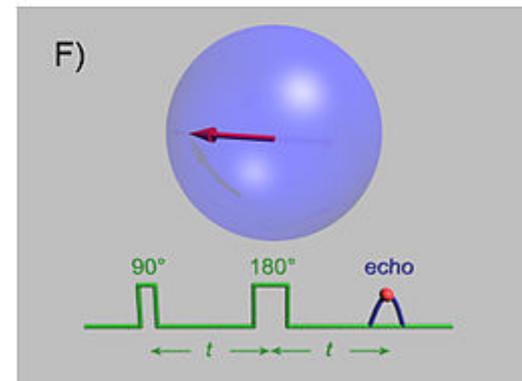
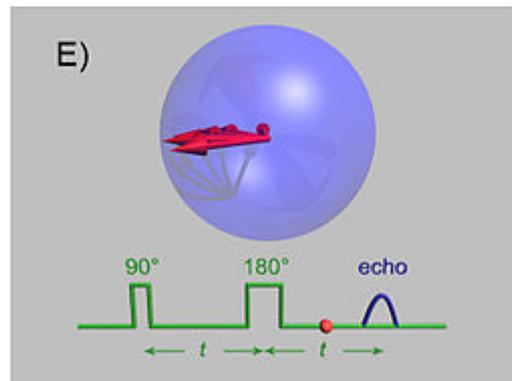
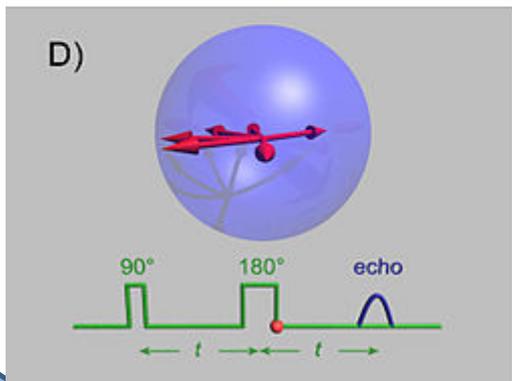
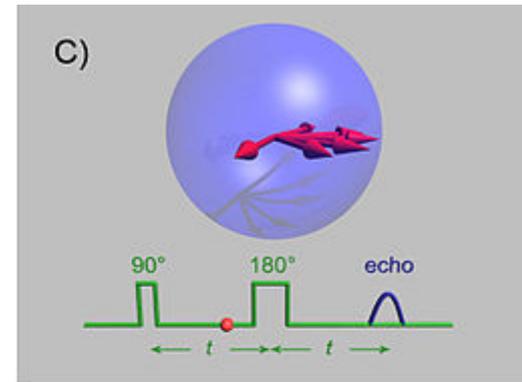
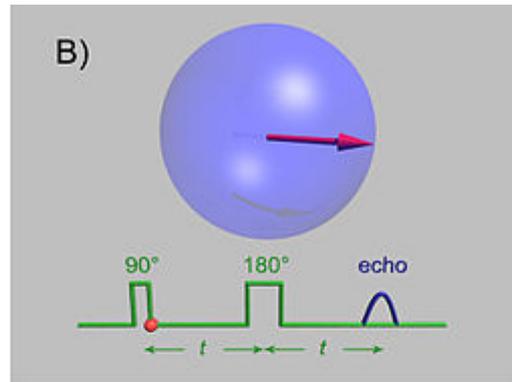
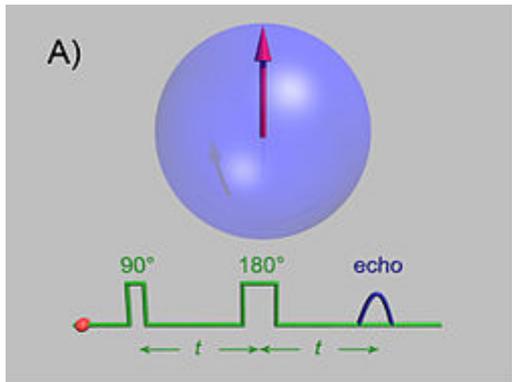
- Pour mieux comprendre ce qu'est ce *codage en phase* et ce *codage en fréquence* du signal RMN, on peut prendre une comparaison toute simple. Dans un mouvement circulaire, la phase et la fréquence sont des équivalents de la distance et de la vitesse dans un mouvement linéaire. Un déphasage dans le mouvement circulaire correspond à un décalage dans le mouvement linéaire. Le problème posé pour ce codage spatial d'un plan image (4 x 4 par exemple) peut être transposé à celui qui consiste à reconstruire le plan d'une classe dans laquelle les élèves sont rangés sur 4 lignes et 4 colonnes sans avoir à rentrer dans la classe et en demandant simplement aux étudiants de venir sur un stade, de courir et d'obéir à des ordres simples.
- Chaque étudiant connaît son numéro de ligne et son numéro de colonne, donc sa place exacte dans la classe. A l'instant $t = 0s$, on donne le départ. Tous les élèves partent à la même vitesse ε_0 . Pour nos aimantations, ce départ c'est le 90deg.. Placés dans un champ identique B_0 , ils précessent à la vitesse σ_0 .

La lecture du plan image

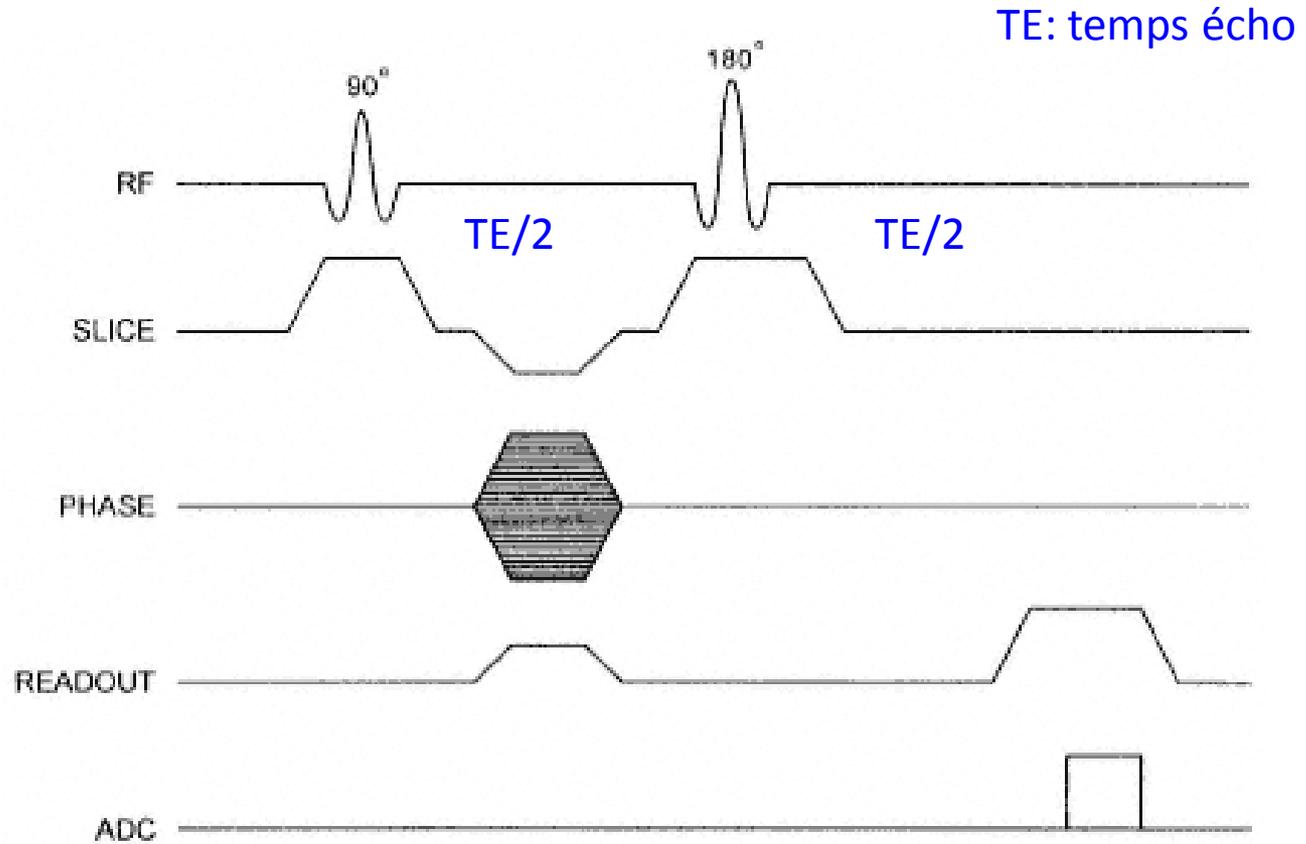
- A un moment donné, on impose à ces élèves de *courir à des vitesses différentes suivant leur numéro de ligne* et ceci pendant une durée définie, la même pour tous. Les étudiants qui étaient à la ligne 1 prennent la vitesse ε_1 , les étudiants qui étaient à la ligne 2 la vitesse ε_2 , les étudiants à la ligne 3, la vitesse ε_3 les étudiants à la ligne 4, la vitesse ε_4 . Au bout du temps fixé, ils repartent à la vitesse ε_0 , mais ils ont acquis, pendant cette durée, des décalages en fonction de leur numéro de ligne. On se retrouve alors avec quatre étudiants par ligne, sur quatre lignes différentes. Ils vont conserver ce décalage puisqu'ils repartent tous à la vitesse ε_0 .
- Pour nos aimantations, cette procédure correspond à l'application d'un gradient pendant un temps $[\Delta][\tau]$ qui code en phase, selon la direction verticale du plan (Ndeg. de ligne).
- On demande ensuite à ces étudiants, lorsqu'ils passent devant l'examineur situé sur le stade, le dos à la ligne de départ, de *courir à des vitesses différentes suivant leur numéro de colonne*. Ceux qui étaient à la colonne 1 courent à la vitesse ε_1 , ceux qui étaient à la colonne 2 courent à la vitesse ε_2 , ceux qui étaient à la colonne 3 courent à la vitesse ε_3 et ceux qui étaient à la colonne 4 courent à la vitesse ε_4 . L'examineur, en les regardant passer, va observer leur vitesse, qui dépend répétons-le de leur numéro de colonne, mais il observe aussi leur décalage qui correspond à leur numéro de ligne ; en notant pour chaque individu sa vitesse et son décalage, il connaît donc la position qu'il occupait dans la classe.

L'écho -spin

A) \vec{M} à l'état d'équilibre, B) Bascule de \vec{M} de $\alpha=90^\circ$, C) et D) déphasage sous l'action du T2 et T2*, E) Inversion des positions, F) Inversion des positions



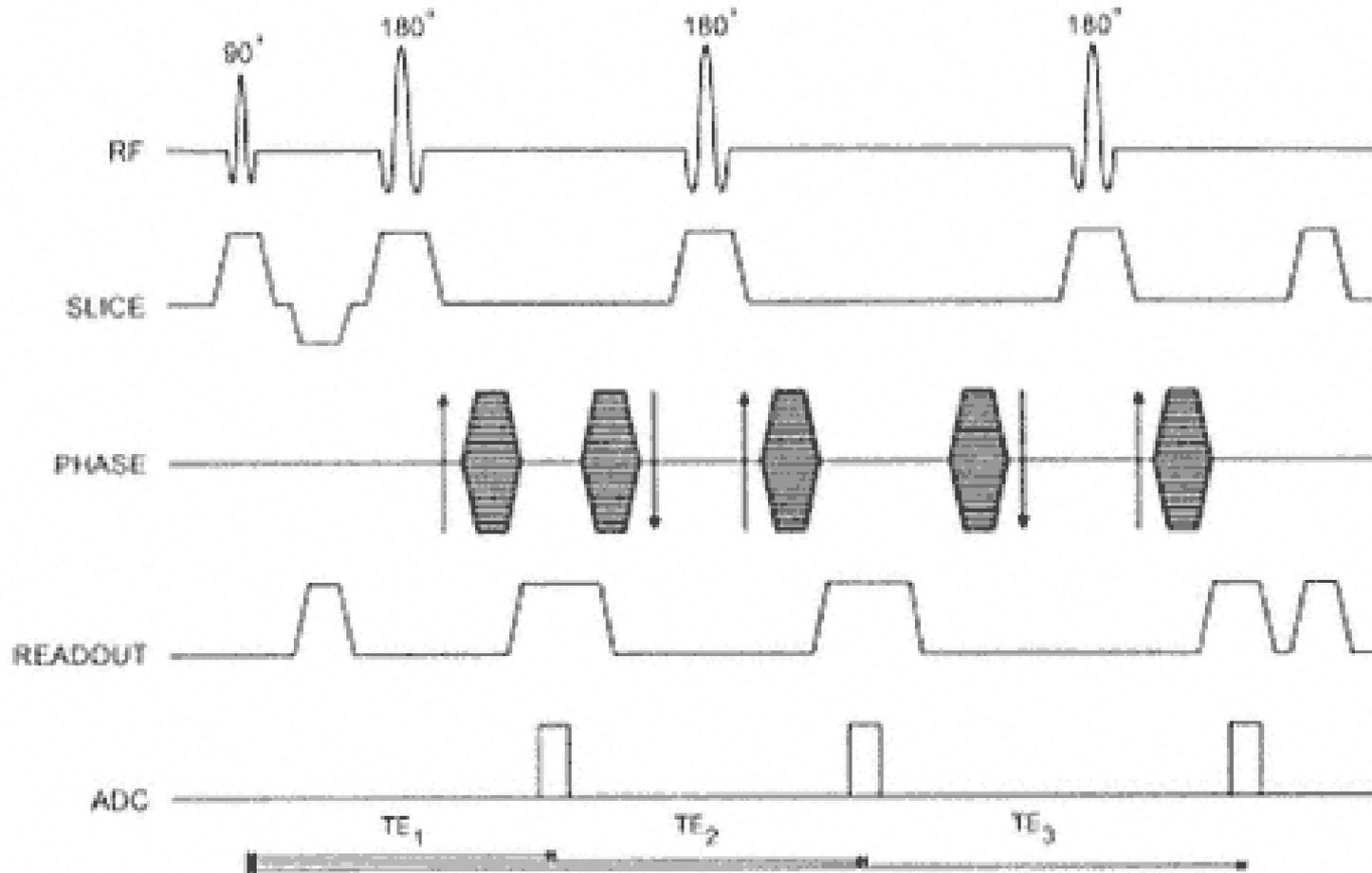
L'écho -spin



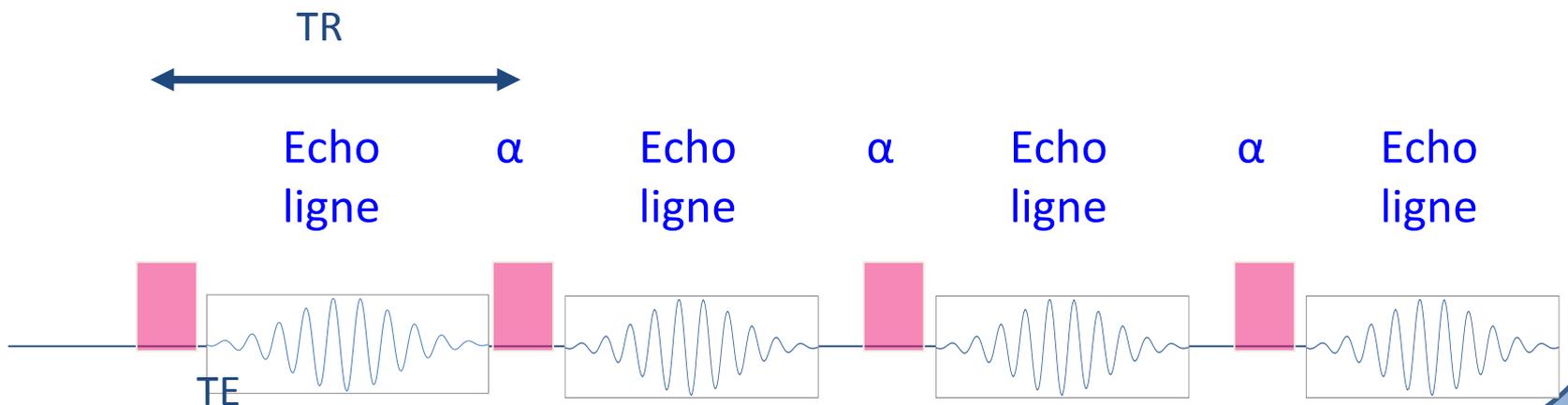
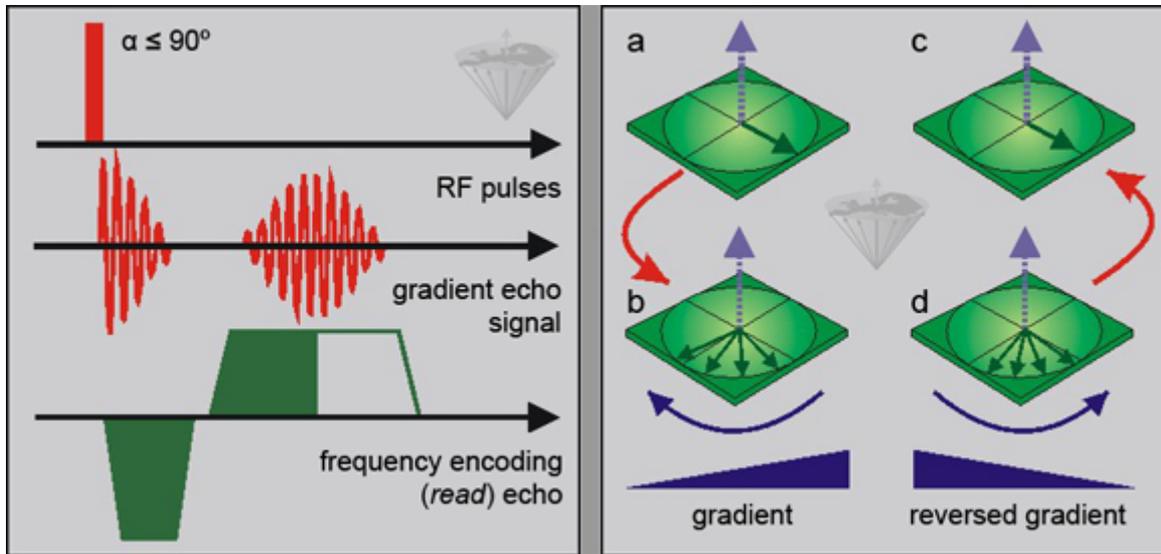
$$s = [1 - \exp(-TR / T_1)] \exp(-TE / T_2)$$

Avec TE : temps écho (echo time), TR: temps de répétition (repetition time)

Train d'écho



Écho de gradient



$$T_{scanTime} = N_P \times N_A \times TR$$

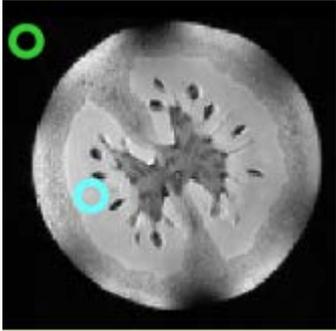
N_p : nombre de phase encodé

N_A : Nombre de signal moyen

TR: temps de répétition

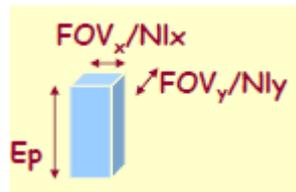
Partie 5: Qu'est ce qui fait la qualité d'une image?

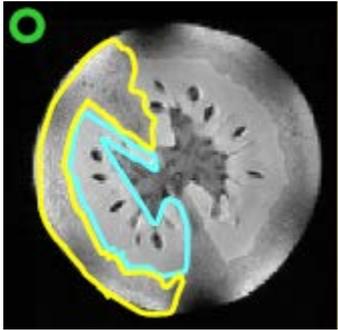
Inspirer des cours du master SIBM d'Angers



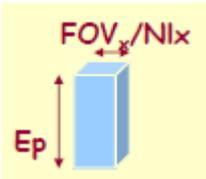
$$S / B = \frac{\text{valeur moyenne du signal}}{\text{déviation standard du bruit}}$$

$$S / B \propto \frac{(FOV_x).(FIV_y).Ep.\sqrt{Nac}}{Nlx.\sqrt{Nly}.\sqrt{BW}}$$





$$C/B = (S_A - S_B) / B$$



$$(FOV_x)/N_x \cdot (FOV_y)/N_y \cdot E_p$$

- Sites: <http://www.magnetic-resonance.org/>
- http://www.med.univ-rennes1.fr/cerf/edicerf/BASES/BA004_cv_rb_11.html
- Wikipédia.com