

# **RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE (IRM)**

## **PLAN**

I / INTRODUCTION

II / DEFINITION /MAGNETISME NUCLEAIRE

1 -RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

2-MAGNETISME NUCLEAIRE

III / PRINCIPE DE RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

1- POLARISATION

2-EXCITATION-IMPULSION

3-RELAXATION

4- SIGNAL IRM

IV / CONTRE-INDICATIONS

V / CHAINE D'INSTRUMENTATION IRM

1- AIMANT/ BOBINES DE GRADIENT ET DE SHIM

2- ONDES ELECTROMAGNETIQUE OU RF

3- ANTENNES

4- SYSTEME INFORMATIQUE ET TRAITEMENT

5- CONSOLE IRM

VI / APLICATIONS

VII / CONCLUSION

## **OBJECTIFS**

**1 / Faire connaître la résonance magnétique nucléaire**

**2/ Décrire la chaîne d'instrumentation de l'IRM**

**3/ Faire comprendre le principe de l'IRM**

**4/ Apprendre les contre-indications de cette imagerie**

## I/ INTRODUCTION

L'IRM repose sur la technique de résonance magnétique nucléaire(RMN), développée initialement pour les besoins de l'analyse chimique.

En quelques années, elle est devenue une technique de première importance.

Le développement des techniques d'imagerie a amélioré la qualité de la prise en charge précoce du patient.

## II/ DEFINITION

### 1- RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

- Technique de diagnostic médical puissante fournit des images tridimensionnelle, en coupe et de grande précision anatomique.
- Technique radiologique récente, non invasive et sans effets secondaires connus, basée sur le phénomène physique de résonance magnétique nucléaire.

Etudier la résonance magnétique nucléaire(RMN) des **protons H1** de l'eau dans l'organisme soumis à un champ magnétique extérieur et à une excitation-impulsion angulaire par une onde électromagnétique.

### 2 - MAGNETISME NUCLEAIRE

- Les propriétés magnétiques que l'on mesure sont d'origine nucléaire des substances composant les tissus biologiques et sont propres aux atomes à **Z impair**.
- Les noyaux des atomes sont constitués de particules : protons et neutrons.
- Le principe de l'IRM repose sur les caractéristiques physiques du proton qui est assimilé à un **micro-aimant**.
- La particule protonique du noyau atomique à **Z impair** présente un magnétisme détectable qui possède un **moment magnétique  $\mu$**  et un **moment cinétique angulaire I** dit **Spin**.
- La molécule d'eau (H<sub>2</sub>O) est prépondérante dans l'organisme, son **proton H1** demeure le plus important. Toutefois, les graisses (-CH<sub>2</sub>) sont aussi présents mais à un degré moindre.
- La résonance magnétique nucléaire est aussi appelée **IRM morphologique hydrogénique** en raison de son principe basé sur le proton H1 de la molécule d'eau de l'organisme.
- Dans un environnement naturel, les moments magnétiques individuels des noyaux d'hydrogène d'un échantillon pointent dans toutes les directions et leur aimantation totale est nulle.

### III /PRINCIPE DE LA RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

#### IRM DITE DE PRECESSION

#### D'OU PROVIENT LE SIGNAL IRM ?

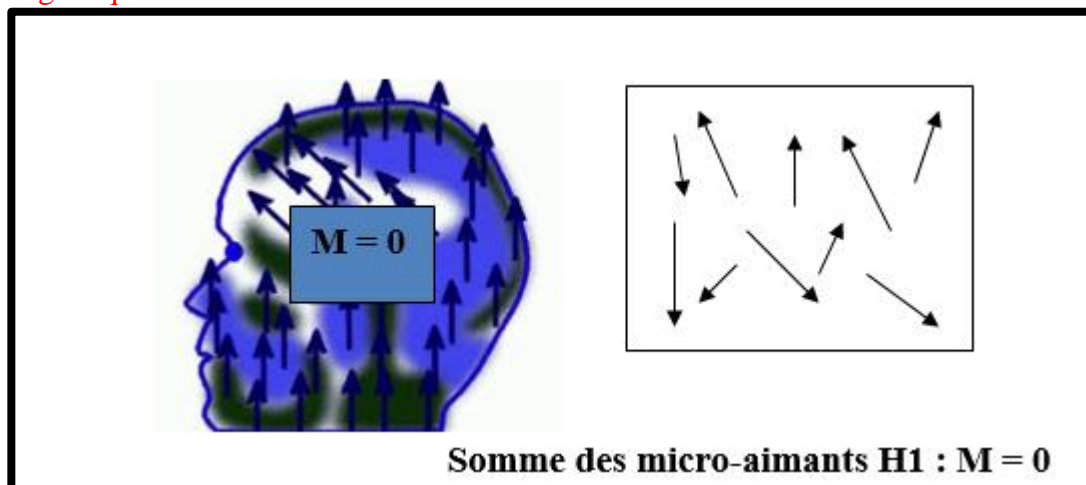
On décrit trois étapes centrales qui expliquent le principe fondamental :

- POLARISATION DES PROTONS H1.
- EXCITATION –IMPULSION ANGULAIRE TRES BREVE DES PROTONS H1.
- RELAXATION.

#### 1 - PREMIERE ETAPE : POLARISATION

Comment obtenir la polarisation de H1 ?

L'aimantation totale d'un volume de tissu biologique à l'état d'équilibre est nulle car les protons H1 sont orientés dans tous les sens de telle sorte que la **somme des moments magnétiques est nulle.**



#### AU REPOS :

Les protons H1 du voxel de tissu biologique, animés d'un mouvement de rotation autour de leur axe, ont une somme d'aimantation nulle.

#### QUE FAUT-IL FAIRE ?

Pour changer cette valeur nulle de M, la technique consiste à placer le voxel de tissu biologique dans un **champ magnétique extérieur.**

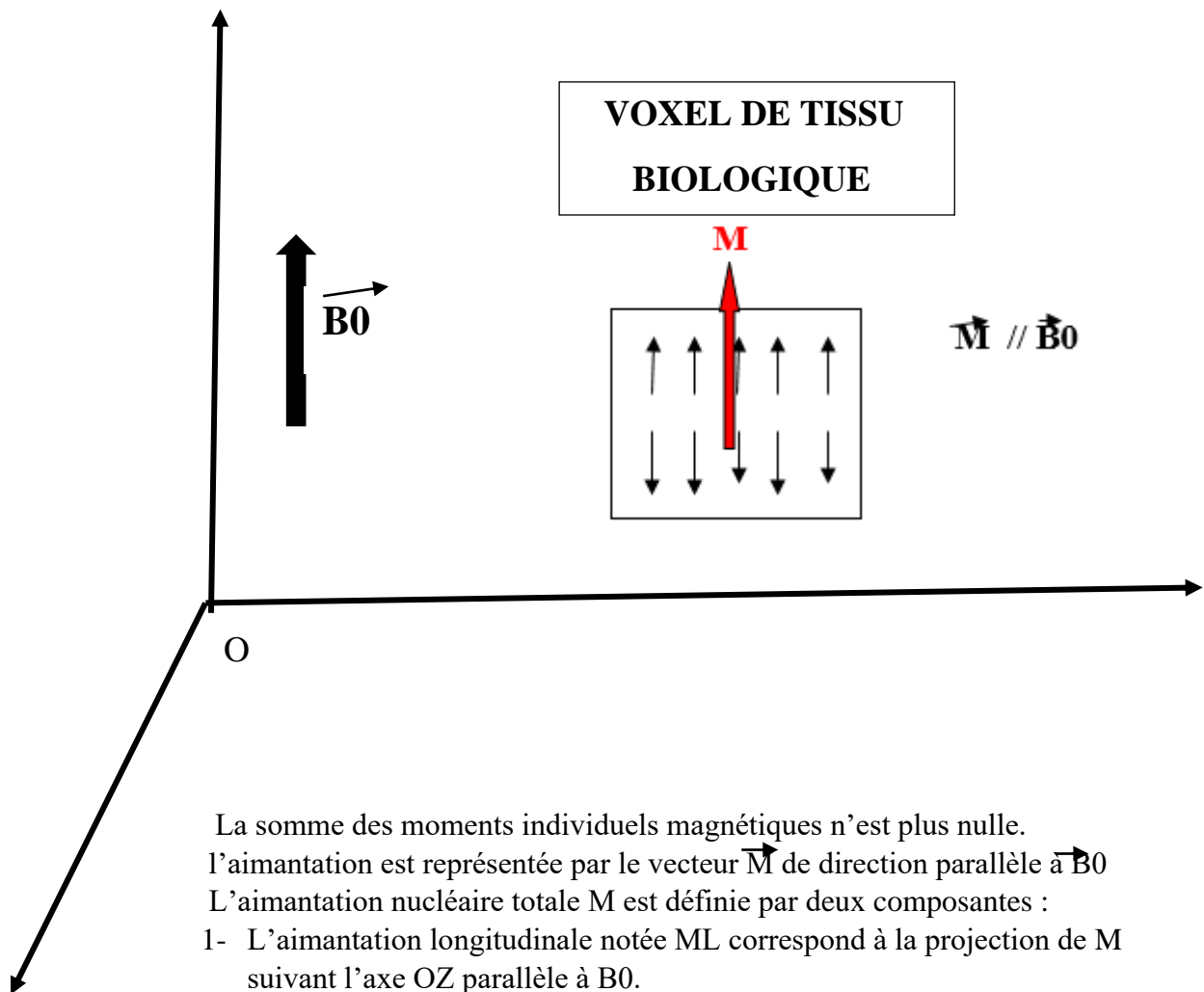
Caractéristiques du champ magnétique extérieur :

Il doit être constant, stable, homogène, uniforme et intense.

Il est appelé  $\vec{B}_0$ .

Son rôle

Sous l'action du champ magnétique, les protons H1 vont tourner à la même fréquence autour de  $\vec{B}_0$  sur un cône de même angle, ils ont des phases différentes (Ils sont déphasés entre eux).



La somme des moments individuels magnétiques n'est plus nulle.

L'aimantation est représentée par le vecteur  $\vec{M}$  de direction parallèle à  $\vec{B}_0$

L'aimantation nucléaire totale  $M$  est définie par deux composantes :

- 1- L'aimantation longitudinale notée  $M_L$  correspond à la projection de  $M$  suivant l'axe OZ parallèle à  $B_0$ .
- 2 - L'aimantation transversale notée  $M_Z$  correspond à la projection de  $M$  sur l'axe XY perpendiculaire à  $B_0$ .

## 2 - DEUXIEME ETAPE : EXCITATION- IMPULSION ANGULAIRE PAR ONDE DE RF

Que faire devant  $M // B_0$  ?  $\rightarrow$   $\rightarrow$

-Il faut mettre le voxel de tissu biologique en situation hors d'équilibre

Par quoi et Comment ?

- **Onde de RF (radiofréquence) ou onde électro-magnétique :**

L'excitation impulsion angulaire très brève assurée par ce type d'onde d'amplitude bien déterminée qui apporte de l'énergie.

L'onde électromagnétique de champ magnétique oscillant  $\vec{B}_1$  et de fréquence de rotation bien définie par la **relation de LARMOR**

-Fréquence de précession :  $F_p$

-Constante appelée :  $\gamma$  **rapport gyromagnétique**

-Intensité du champ magnétique

La formule est la suivante :

$$F_p = (\gamma / 2 \pi) \times B_0$$

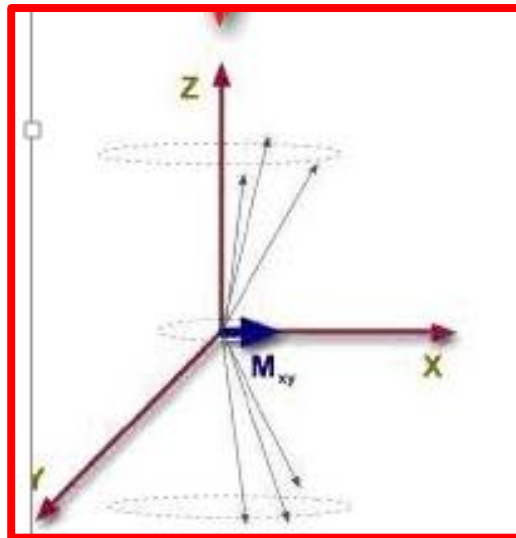
-Ainsi, à l'excitation, les protons passent de l'état fondamental à l'**état excité** par transfert d'énergie qui se traduit par un basculement de l'aimantation  $M$  par rapport à sa position initiale parallèle à  $B_0$ .

-L'angle de basculement est fonction de l'**amplitude** et de la **durée** de l'impulsion d'excitation par onde de radiofréquence de valeur **30°, 90° ou 180°**

-L'aimantation nucléaire totale  $M$  résultant de la sommation de l'intensité de tous les moments magnétiques des protons  $H_1$  excités, a une valeur et se décompose en deux aimantations dont la projection se fait en deux composantes

-**Longitudinale** :  $M_L$  ou  $M_Z$  se projetant sur l'axe  $OZ // B_0$

-**Transversale** :  $M_T$   $M_{XY}$  se projetant sur l'axe  $XY$



### 3 - TROISIEME ETAPE : RELAXATION : 2 TEMPS : (T1 et T2)

Que se passe t-il après la fin de l'excitation impulsion angulaire ?

- C'est le retour à l'équilibre de l'aimantation  $M$  parallèle à  $B_0$
- Ce retour à l'équilibre est appelé : **RELAXATION**

La relaxation commence par l'arrêt de l'impulsion RF et par le retour des **protons H1** à leur état d'équilibre.

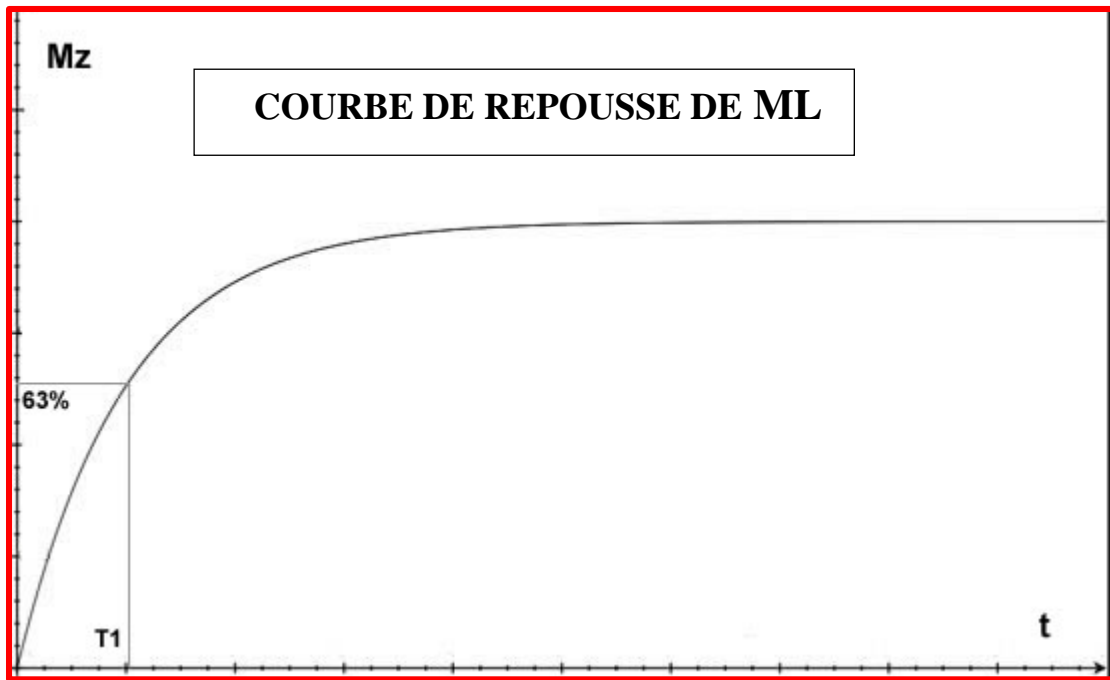
**Le T1 est le retour de l'aimantation longitudinale ML ou MZ**

**Le T2 est la décroissance de l'aimantation transversale MT ou MXY**

La relaxation suit une loi complexe exponentielle caractérisée par **deux temps** :

#### T1 :

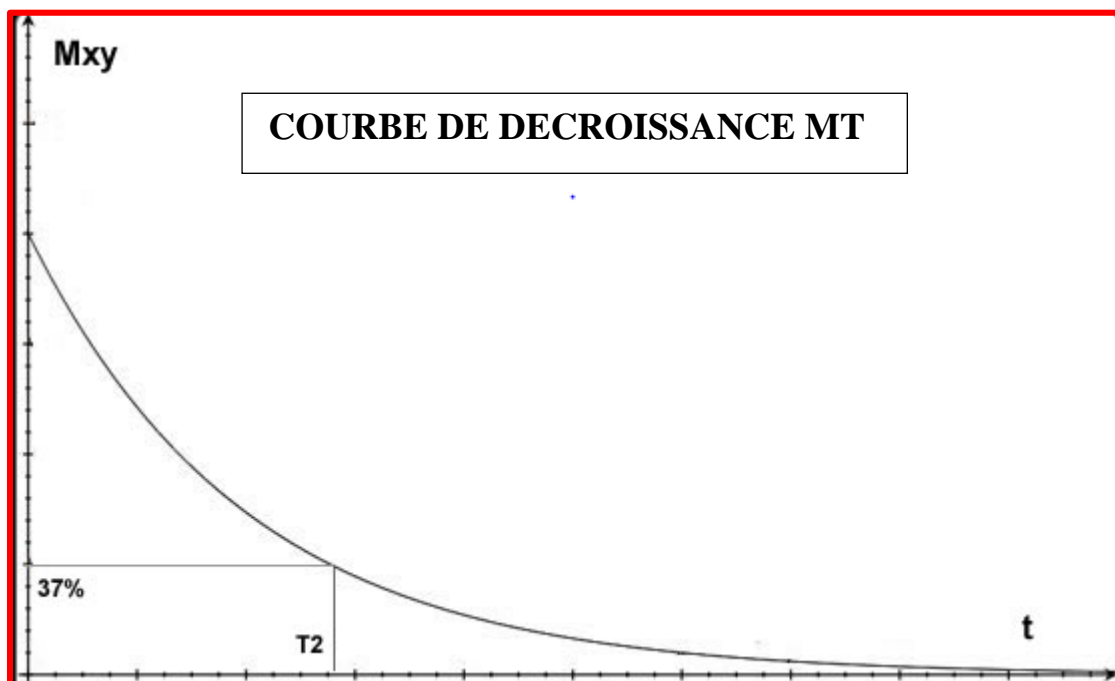
c'est le temps mis par l'aimantation longitudinale ML ou MZ quand elle atteint **63% de sa valeur d'équilibre** (la repousse) ( voir courbe)



La relaxation  $T_1$  reflète la récupération progressive de la magnétisation longitudinale  $ML$  ou  $MZ$ .

**$T_1$  : représente 63% de la valeur d'équilibre de l'aimantation longitudinale**

**$T_2$  : c'est le temps mis par l'aimantation transversale  $MT$  ou  $MX_Y$  qui décroît aussitôt créée et qui représente une valeur de 37% de sa valeur initiale avant de s'annuler (décroissance)**



La relaxation T2 traduit la décroissance de la magnétisation transverse  
La différence des temps de relaxation des différents tissus est à la base du contraste en IRM

## V / CONTRE INDICATIONS

### 1- INCOMPATIBILITE DE L'IRM

Elle est incompatible avec :

#### METAUX

- Corps étranger métallique ferro-magnétique intraoculaire
- Clips vasculaires cérébraux
- Valves cardiaques
- Agrafes chirurgicales(thoracique)

#### DISPOSITIFS MEDICAUX

- Stimulateur cardiaque
- Pompe à insuline
- Neuro-stimulateurs

#### ETAT DU PATIENT

- Impossibilité de rester allongé et immobile assez longtemps
- Claustrophobie
- Insuffisance rénale sévère

## VI/ INSTRUMENTATION DE BASE DE LA CHAINE D'IRM

Les éléments de la chaîne sont indispensables et qui sont :

### 1 - AIMANT/ BOBINES DE GRADIENTS/ BOBINES DE SHIM

Le type et la forme de l'aimant principal l déterminent la forme de l'IRM

- Fermée de type tunnel
- IRM à ciel ouvert

#### 1-1- AIMANTS

Trois types d'aimants : permanent, résistif, supraconducteur.

Les aimants les plus couramment employés sont des **électro-aimants supraconducteurs**. Ils sont les plus répandus et utilisent le principe de la supraconductivité. Ils sont constitués d'une bobine rendue supraconductrice grâce à un refroidissement par l'hélium entouré d'azote liquide.

-Ils permettent d'obtenir des champs magnétiques intenses et homogènes mais sont chers et doivent être entretenus régulièrement (recharge de la cuve d'hélium)

#### Rôle de l'aimant

-L'aimant a pour but de créer un champ magnétique  $B_0$ . Ainsi, toute mesure en résonance magnétique nucléaire implique l'utilisation d'un aimant capable de créer un champ magnétique **stable** dans le temps, **constant**, **spatialement homogène** et **d'intensité suffisante** dont le rôle principal est de modifier l'orientation des protons.

-**Bas champ** : < à 0,5 T    **Moyen champ** : entre 0,5 T et 1T

- **Haut champ** : > 1T    **IRM** à 1,5T et 3T



Le patient est placé dans le tunnel de l'aimant (élément principal), dispose d'une qualité de confort plus importante grâce à la ventilation, à l'éclairage et peut communiquer avec l'opérateur à l'aide de micros.

### **Refroidissement de l'aimant :**

Le refroidissement est impératif. Si le système de refroidissement est défectueux, l'aimant s'échauffe et l'hélium est transformé en gaz ce qui va provoquer des brûlures ou une asphyxie.

### **1-2- BOBINES DE GRADIENT**

Proportionnellement à l'espace fourni par l'IRM, un gradient de champ magnétique est superposé à  $B_0$  dû aux bobines de gradient, réparties par paires dans l'IRM et permettent un **codage spatiale de l'image**.

### **ACTION DES GRADIENTS NECESSAIRE AU CODAGE SPATIAL DE L'IMAGE.**

### **1-3- BOBINES DE SHIM**

Elles se trouvent avec l'aimant sous forme de pièces d'acier et ou bobines électriques pour améliorer son homogénéité (SHIMMING).

## **2 -ONDESDE RADIOFREQUENCE OU ELECTOMAGNETIQUES**

Elles sont fournies par un émetteur, synthétiseur piloté par un processus qui permet la création de séries d'impulsions électriques.

En émission : l'objectif est de délivrer une excitation uniforme dans tout le volume exploré. Cette impulsion excitation angulaire se fait par l'onde de radiofréquence caractérisée par un champ magnétique oscillant appelé  $B_1$ .

## **3 -ANTENNES +++++**

-En réception, **l'antenne recueille le signal IRM de précession courant induit** appelé **FID**

**-C'est un outil indispensable, constitué d'un bobinage de cuivre ou de plusieurs anneaux de cuivre, de forme variable.**

-Elle est placée dans le plan de mesure (la partie du corps à explorer).

- Plus l'antenne est placée au contact de la zone à explorer et plus le rapport **signal/bruit** est augmenté avec diminution des artéfacts de mouvements.

-Les antennes sont très variables et peuvent être classées de trois différentes manières :

- Selon leur géométrie : volumique, de surface

**Antenne de surface** : elles sont homogènes, réceptrices uniquement, de formes diverses : planes, circulaires, rectangulaires, parfois flexibles adaptées à l'organe à étudier. **Ex : antenne rachis, épaule, poignet.**

- Selon l'association ou non de différents éléments d'antennes
- **Antenne en quadrature** : la détection du signal et son recueil se fait à l'aide de détecteurs déphasés de 90° qui améliorent le rapport signal/bruit.
- **Antennes en réseaux phasés** (PHASED ARRAY COILS) : en plein développement et les plus utilisées et sont constituées de plusieurs éléments d'antennes de surface ayant des chaînes de réception séparées.  
**Ex : antenne thoracique, rachis, abdomen et pelvis, sein ; épaule**
- Selon leur mode de fonctionnement :
  - **Réceptrice** uniquement (antenne de surface élémentaire)
  - **Emettrice et Réceptrice** telle que l'antenne corps entier située dans le gantry de la machine et couvre l'ensemble du volume de façon homogène.  
L'excitation –impulsion se fait par l'antenne et le recueil du signal IRM.

#### 4 - SYSTEME D'ACQUISITION DES DONNEES

Pour cela, il faut :

- 1- Une chaîne d'amplification du Signal de mesure.
- 2- Un convertisseur Analogique – Digital : transformation du signal analogique en signal numérisé.
- 3- Un système informatique puissant, élément incontournable de l'IRM. Il coordonne les différentes étapes de l'examen, la reconstitution des images et leur traitement

#### 5 - CONSOLE D'IRM

Elle est la pièce maîtresse puisque c'est elle qui commande le système d'imagerie par résonance magnétique nucléaire.

Elle comprend :

- **l'électronique de contrôle**
- **les ordinateurs**
- **le logiciel incluant l'interface avec l'utilisateur**

#### VI/ LES APPLICATIONS DE L'IRM

-C'est un examen non invasif mais qui nécessite une simple sédation, parfois une anesthésie pour certains cas.

-Elle est d'application large et occupe le premier rang à l'heure actuelle grâce à ses modalités. **Elle peut se faire sans injection de produit contraste.**

-Le produit de contraste du chélate de gadolinium substance paramagnétique est le plus utilisé à la dose de **0,1mmole/Kg ou 02ml /Kg** en intraveineux et en mode bolus.

-L'injection est effectuée le plus souvent en T1 qui est diminué par le gadolinium et engendre un hypersignal des structures prenant le contraste.

### **IRM CEREBRALE/MEDULLAIRE/CEREBRO-MEDULLAIRE**

Bonne exploration encéphalique, médullaire et des nerfs crâniens

### **IRM CARDIAQUE**

Elle est une technique de référence pour l'évaluation de la fonction cardiaque. Elle permet une étude morphologique et dynamique du cœur et des gros vaisseaux.

### **ANGIO IRM / ARM**

Elle est destinée à l'exploration vasculaire. Deux possibilités soit :

- En contraste spontané sans injection de gadolinium: Séquence 2DTOF ou 3DTOF.
- Elle se fait avec injection c'est l'**ARM**

### **CHOLANGIO-IRM/ BILIIRM**

L'examen est non invasive, rapide et explore les voies biliaires, le wirsung, sans injection de produit de contraste, par l'étude des liquides stationnaires et en supprimant le signal des autres tissus.

### **IRM FETALE/NEONATALE/PEDIATRIQUE**

- Détermination des malformations du fœtus en anténatal.
- Usage large en néonatalogie et pédiatrie avec le plus souvent une sédation pour l'immobilisation car l'examen peut être de longue durée.

### **IRM PELVIENNE**

Elle peut se faire par antenne en réseau phasé abdomino-pelviennne ou mieux par antenne orificielle : IRM gynécologique fréquente de nos jours (col,utérus :ovaires)

Exploration vésico-prostatique chez l'homme

### **IRM OSTEO-ARTICULAIRE**

Ligaments, tendons : très bonne exploration de ces structures anatomiques

## VII / CONCLUSION

-L'IRM est une technique d'imagerie

- Récente
- Non irradiante,
- Inoffensive
- Indolore.

-Imagerie multi-planaire, de grande utilité permet une exploration étendue et large avec une grande précision.

-IRM multiparamétrique : paramètres d'acquisition et tissulaires.

-Néanmoins elle est moins disponible et encore coûteuse.

## VIII/ BIBLIOGRAPHIE

- 1- YOUNG and FREEDMAN, " University Physics -10<sup>th</sup> Edition", Addison Wesley, 2000
- 2- Mc ROBBIE, MOORE GRAVES and PRINCE, "MRI From Picture to Proton " Cambridge University Press, 2003