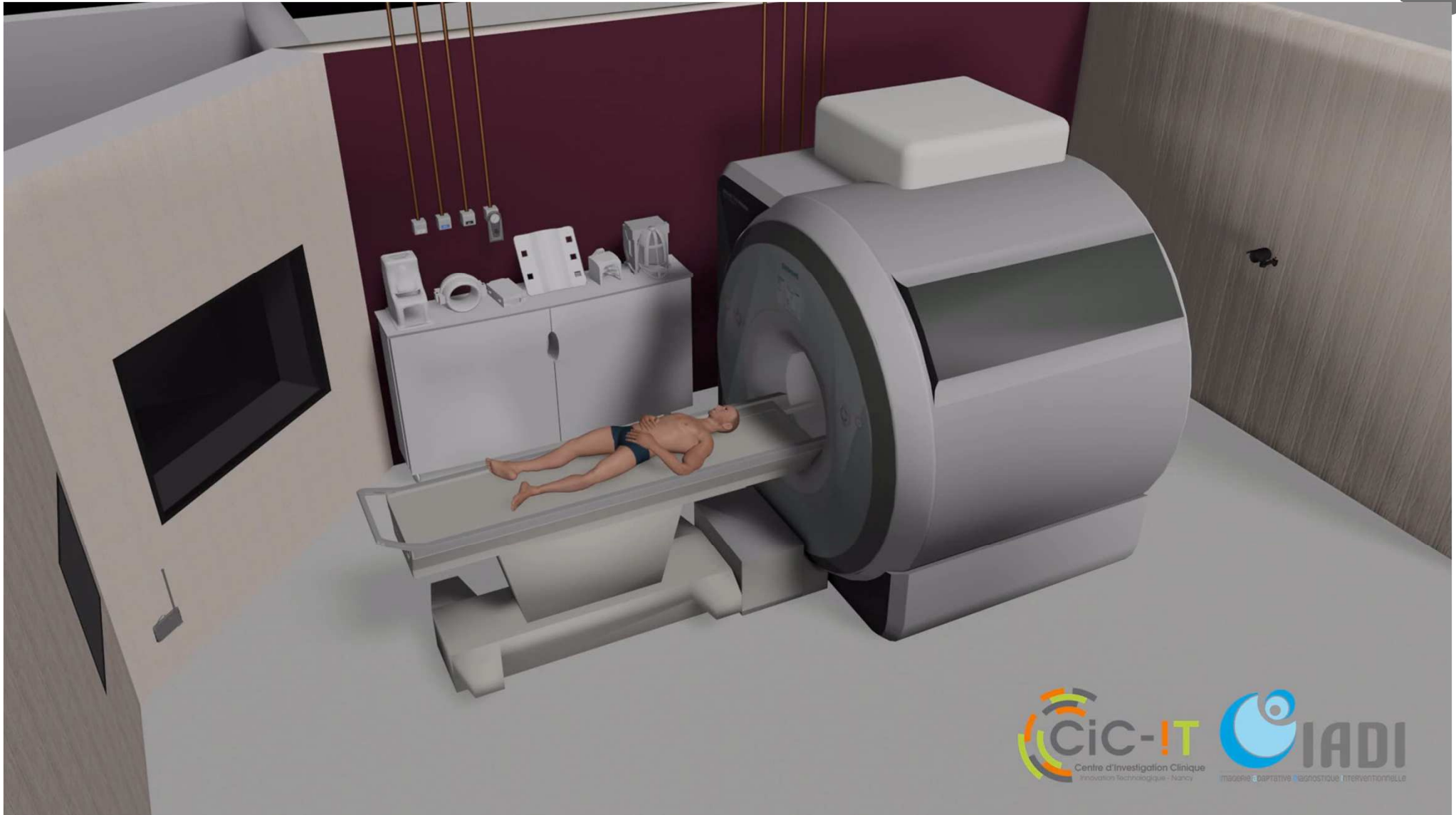


Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Pr. Jacques Felblinger

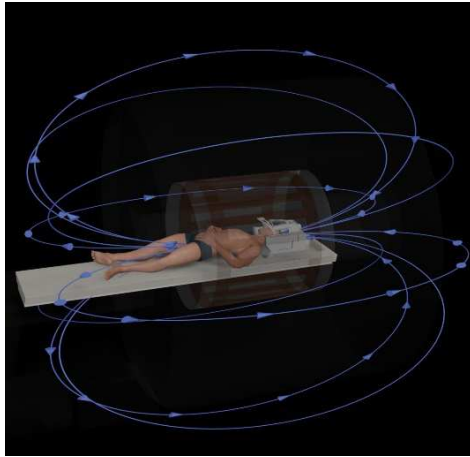
Université de Lorraine – INSERM U1254 – CHRU de Nancy

j.felblinger@chru-nancy.fr



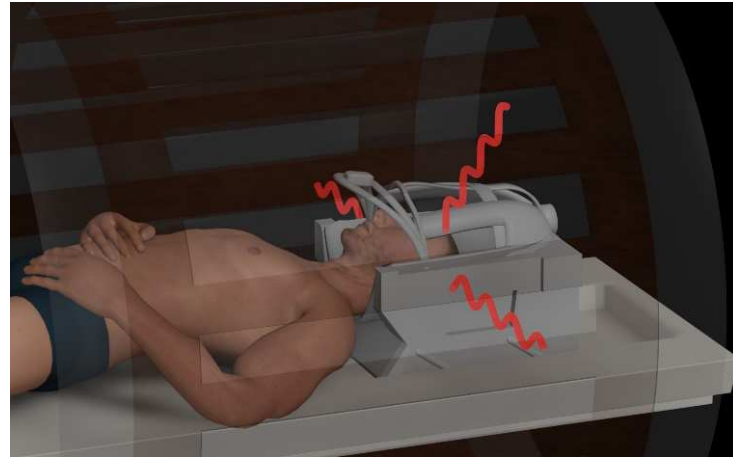
Champ magnétique (le plus grand possible): $1,5T = 30\ 000 \times$ Champ terrestre
Émetteur - Récepteur Radiofréquence

Etape 1



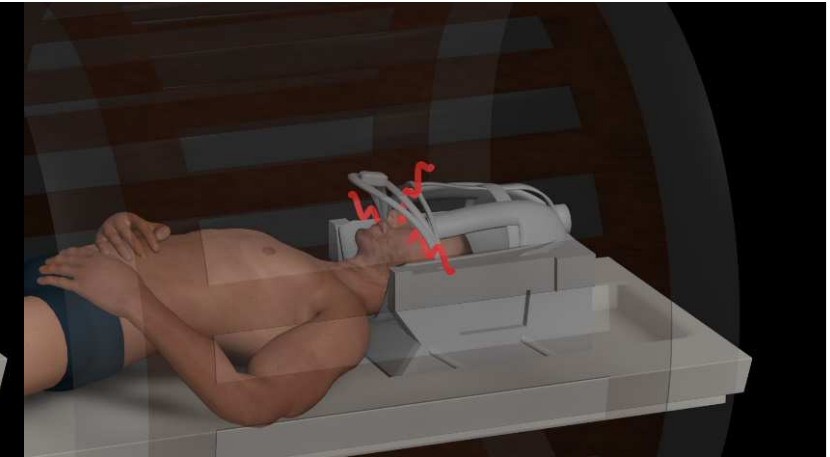
Champ magnétique intense

Etape 2



Apport d'énergie radiofréquence
Absorption d'énergie dans le corps

Etape 3



Récupération (relaxation),
Réception d'énergie radiofréquence

- 1) Champ Magnétique (B_0) + Ondes Electromagnétique (B_1)
- 2) Transfert d'énergie
- 3) Retour à l'équilibre

$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B_0$$

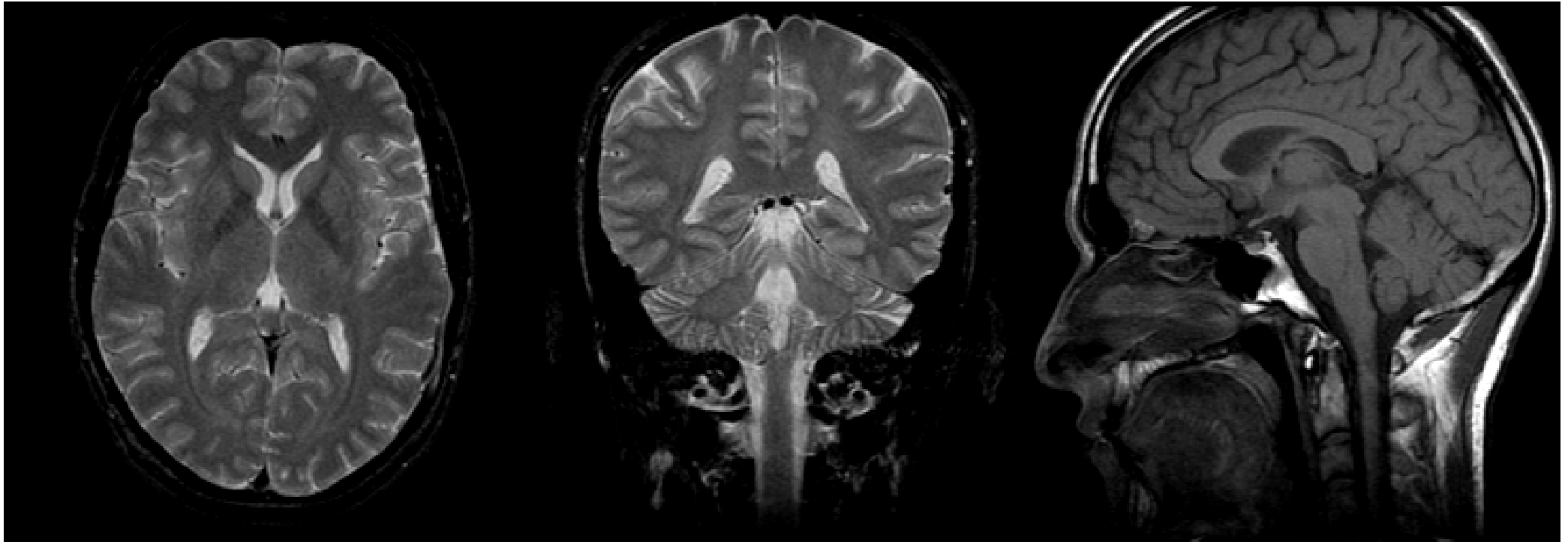
ν = fréquence de résonance (Hz)

γ = rapport gyromagnétique (fonction de l'atome)

B_0 = champ magnétique statique (1.5 Tesla)

B_1 = champ magnétique radiofréquence $\nu = 64 \text{ MHz} = 64\,000\,000 \text{ Hz}$

Imagerie du proton, de l'eau du corps humain



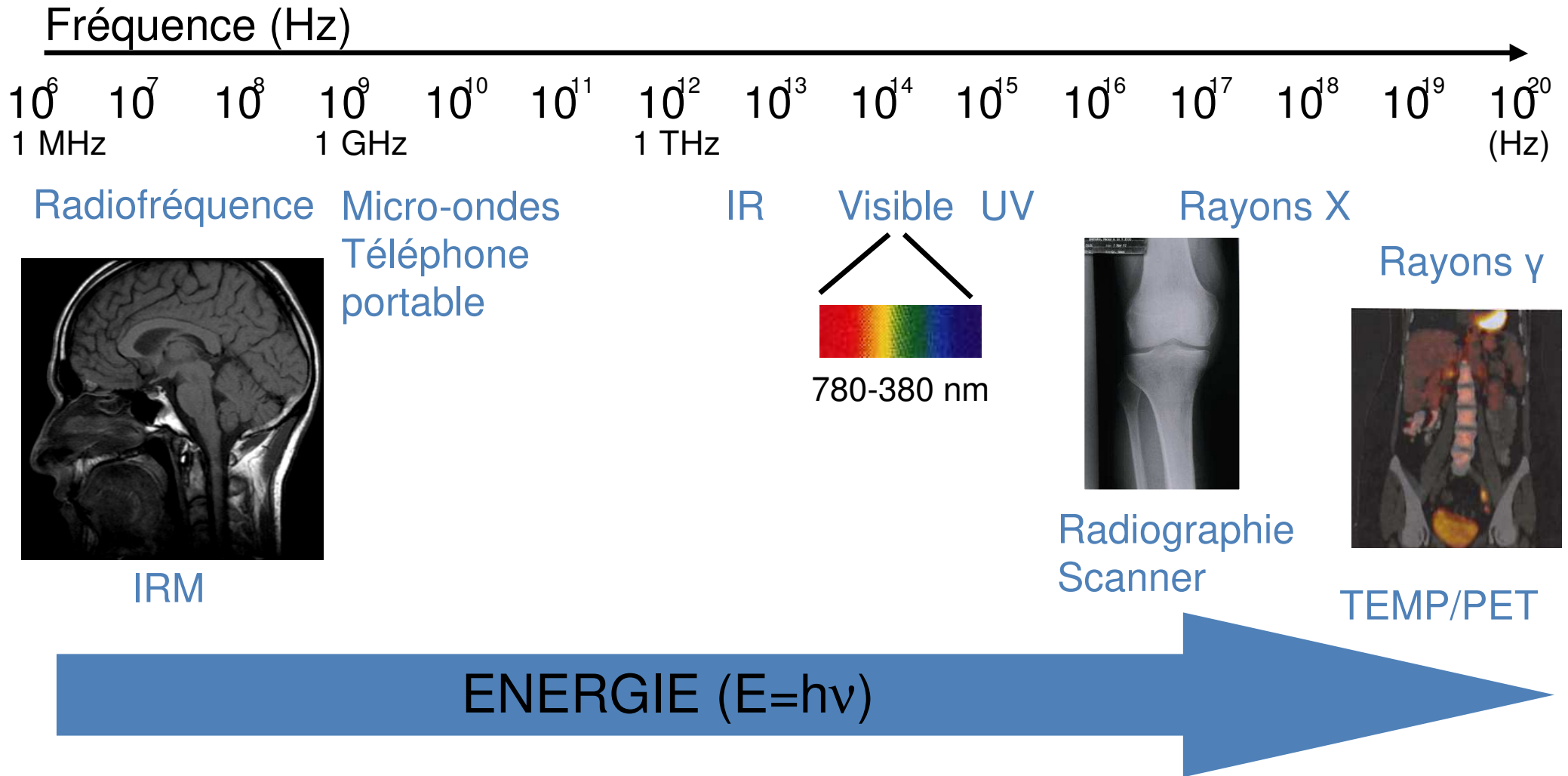
Axial
(horizontal)

Coronal
(frontal)

Sagittal



Imagerie de tous les tissus comprenant de l'eau



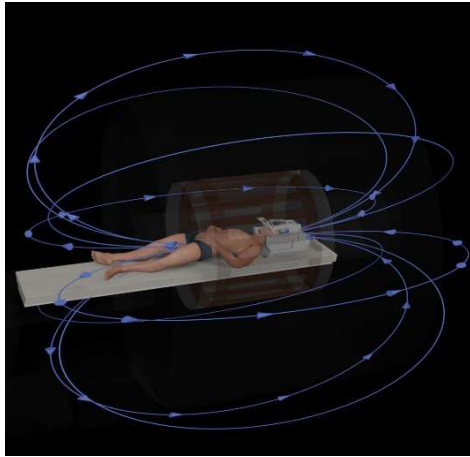
IRM très faible énergie électromagnétique
= Radiofréquence (comme téléphone, radiodiffusion,.....)

NON ionisante

Longueur de l'ordre du mètre

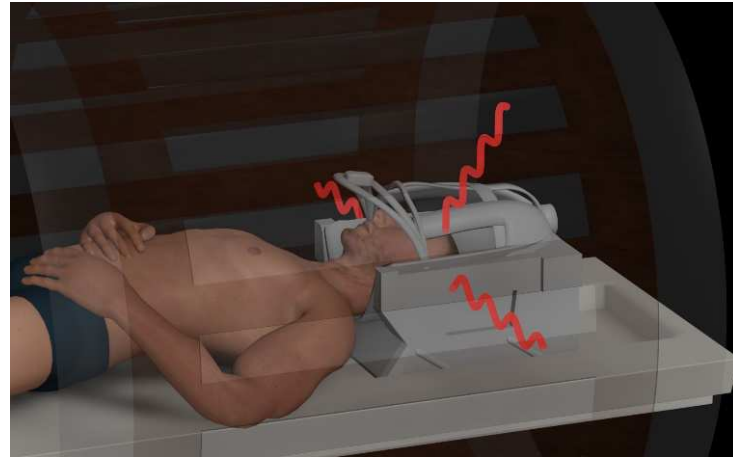
$$\lambda = c/f$$

Etape 1



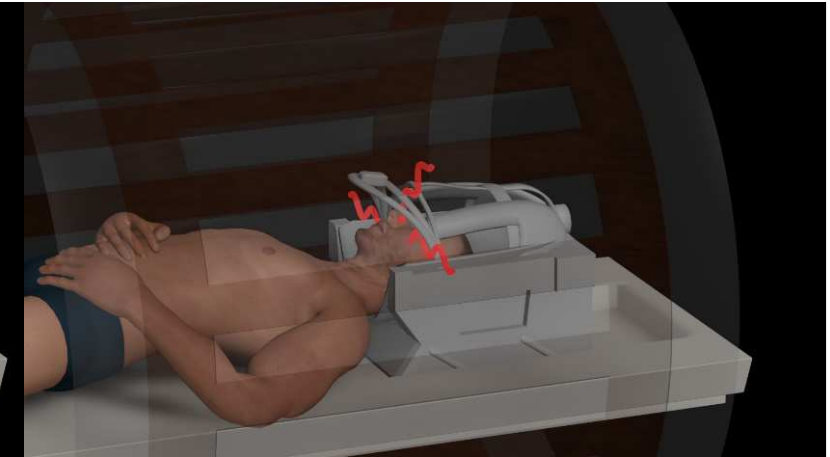
Champ magnétique intense

Etape 2



Apport d'énergie radiofréquence
Absorption d'énergie dans le corps

Etape 3



Récupération (relaxation),
Réception d'énergie radiofréquence

- 1) Champ Magnétique (B_0) + Ondes Electromagnétique (B_1)
- 2) Transfert d'énergie
- 3) Retour à l'équilibre

Retour à l'équilibre = relaxation en fonction de 2 paramètres des tissus T1 et T2 (+atomes d'eau)

Rayons X = mesure de densité / IRM = 3 types de contrastes

Pondération (weighted) T1, T2 ou densité

ρ LCR=1

ρ Substance Grise=0,69

ρ Substance Blanche=0,61

T2 graisse=80ms

T2 LCR=160ms

T2 Sub Grise=77ms

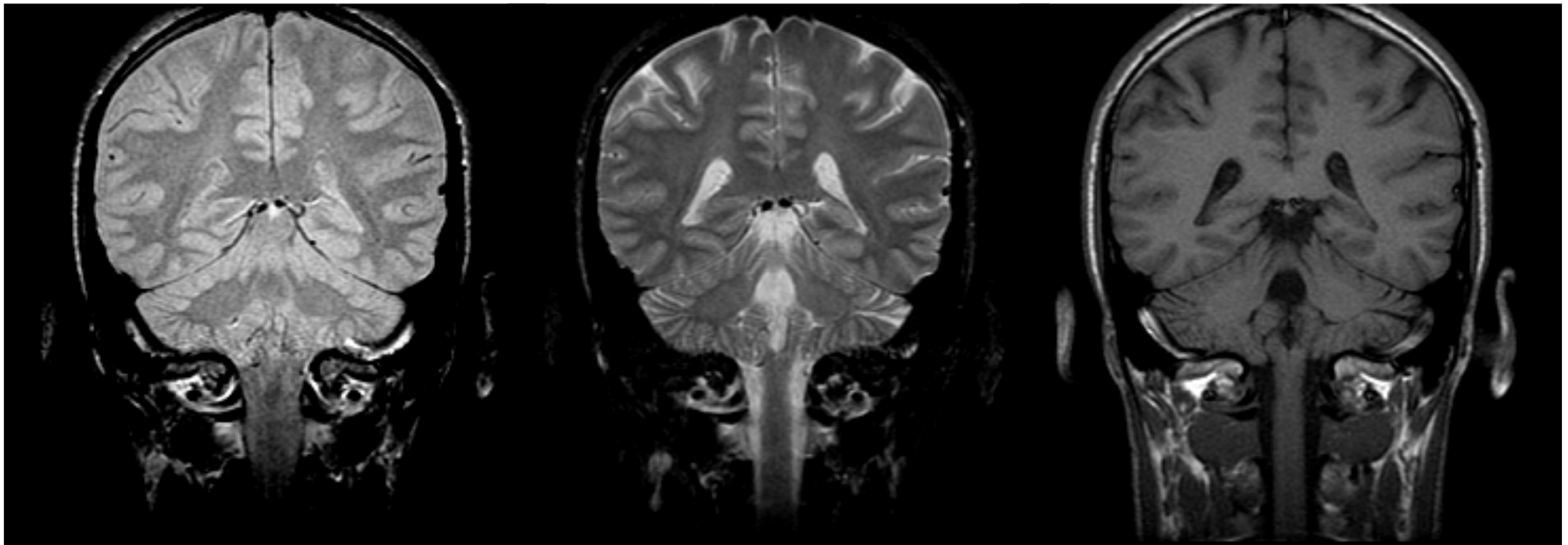
T2 Sub Blanche=67ms

T1graisse=260ms

T1 LCR=2400ms

T1 Sub Grise=760ms

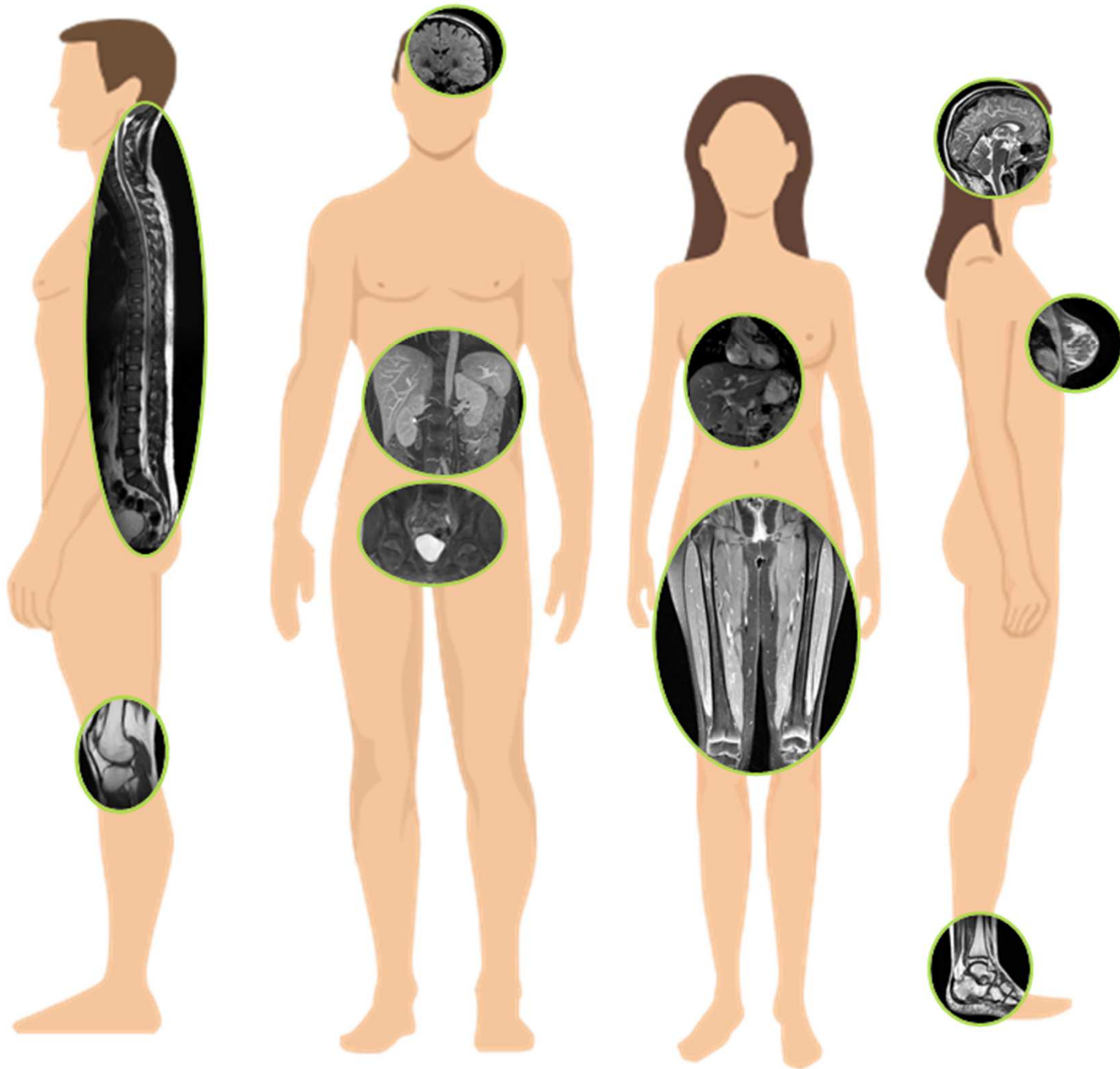
T1 Sub Blanche= 510ms



Pondérée densité

Pondérée T2

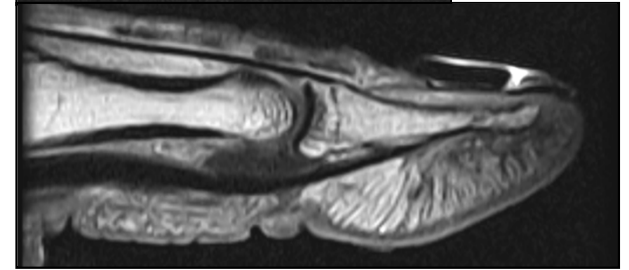
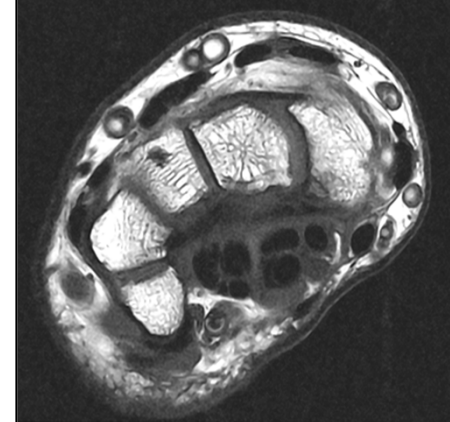
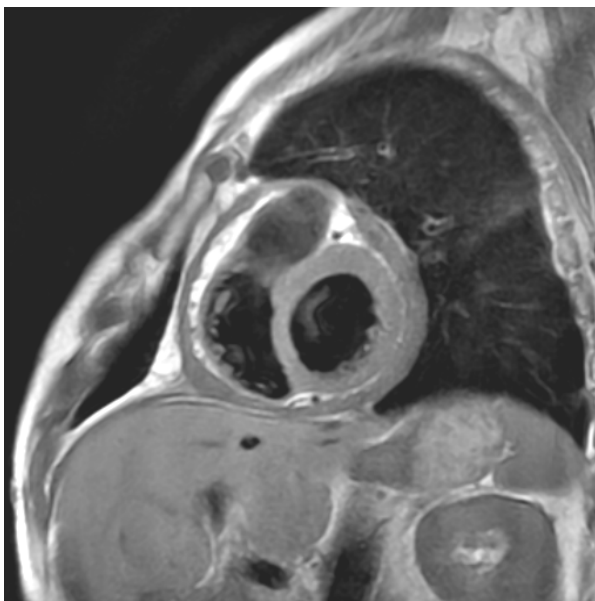
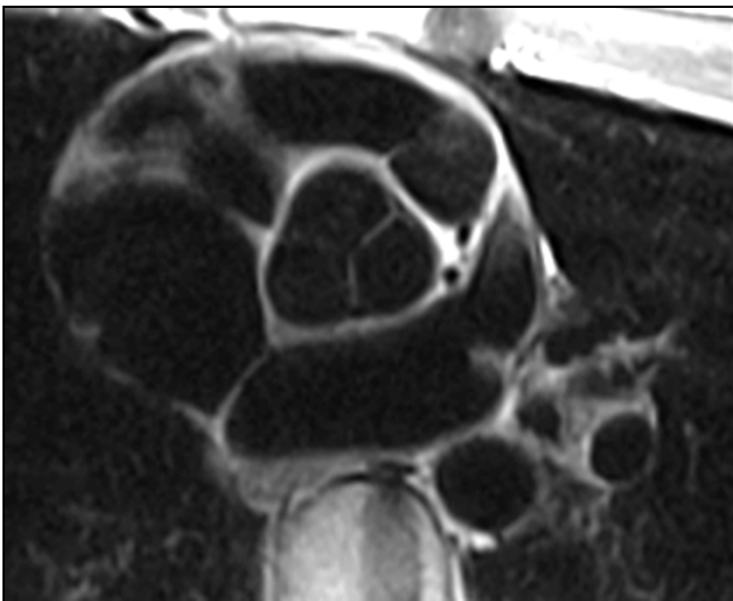
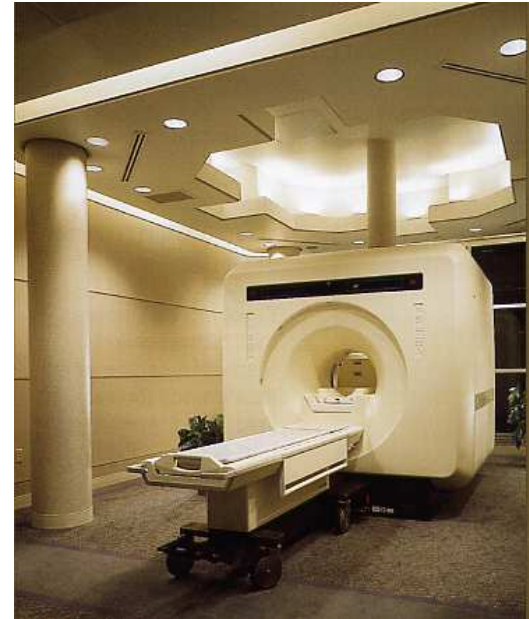
Pondérée T1

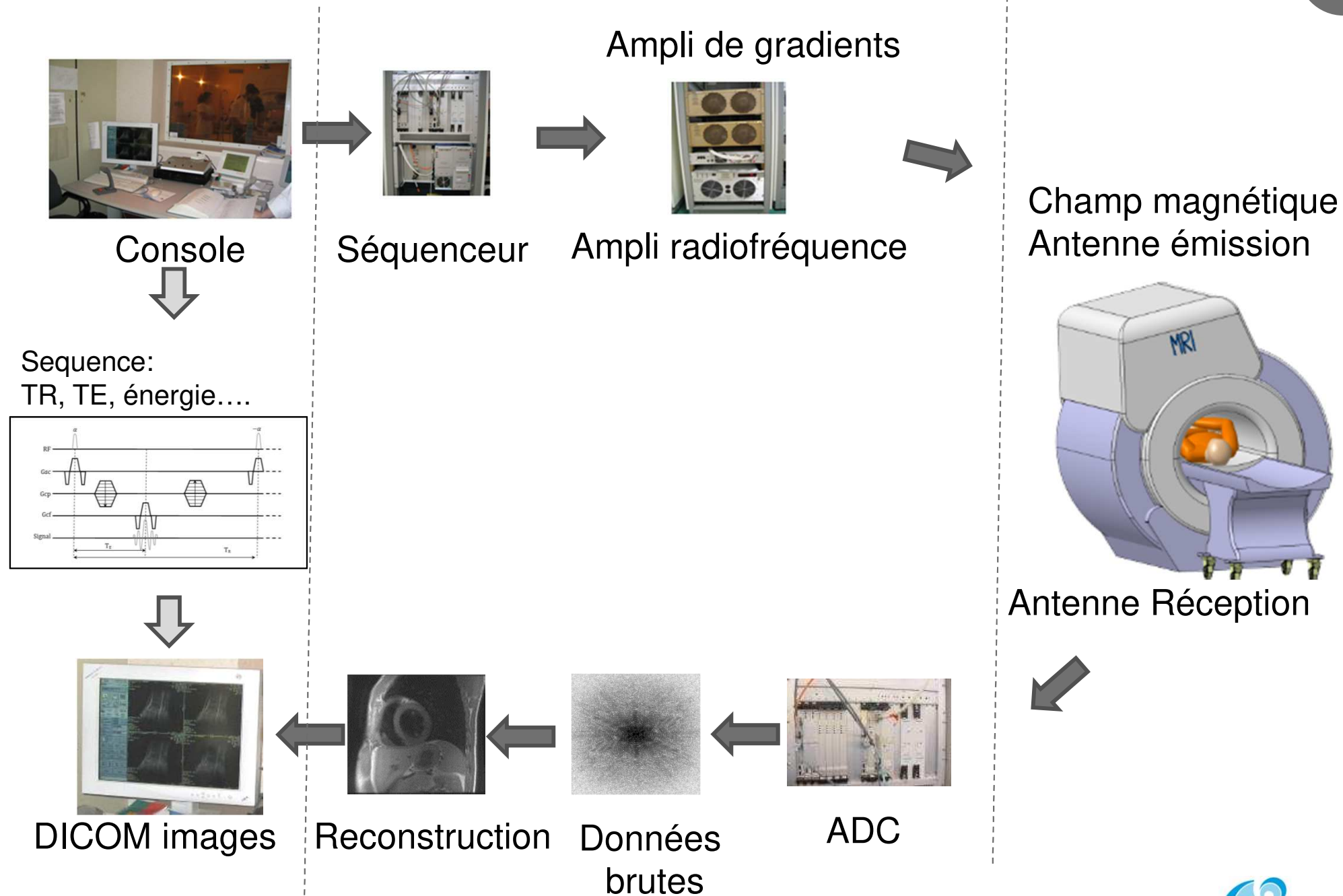


Non invasive
Non ionisante

Morphologie
Fonction
Contraste

1.5T = machine généraliste





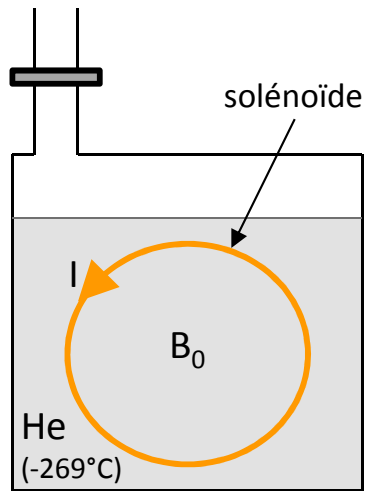
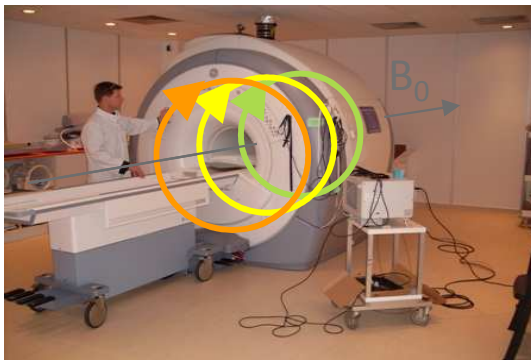


Schéma simplifié d'un solénoïde en IRM



Représentation schématique du champ magnétique B_0 dans l'IRM

L'IRM est composée d'un ensemble de **solénoïdes**

- dans lesquels circule un **courant** (500-700A !)
- qui créent un **champ magnétique homogène**
- qui sont placés dans de l'hélium liquide à **-269°C*** (1500-1800L)

* Principe de **supraconductivité**

- matériaux spécifiques amenés à une **température basse** (proche de 0K = -273°C)
- annulation de la résistance électrique (**$R = 0\Omega$**)
- pas de dissipation du courant, énergie « **stockée** » sans apport extérieur

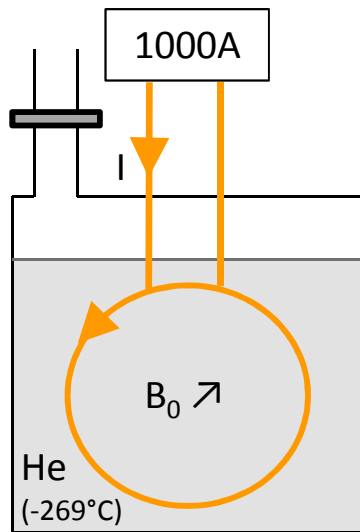
En l'absence de supraconducteurs :

Echauffement par dissipation $\gg 30$ kW !

Nécessité d'alimenter les bobines en continu

Enjeu sécurité : 1) champ magnétique toujours actif sans apport extérieur d'énergie 2) Energie considérable est « stockée »



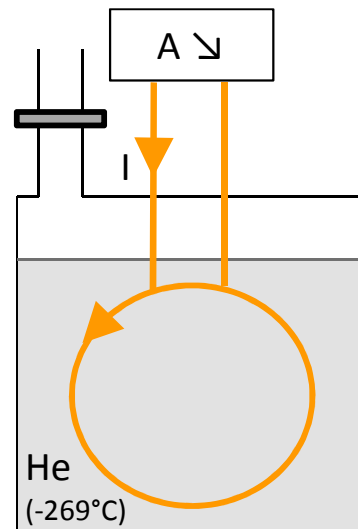


Mise en champ

Mise en champ :

- Ouverture de la bobine supraconductrice B0 avec un « point chaud »
- Augmentation progressive du courant jusqu'à atteindre 1,5 / 3 T
- Refroidissement du « point chaud »

... grâce à la **supraconductivité**, le courant continue à circuler **sans apport extérieur !**



Arrêt du champ

Arrêt du champ :

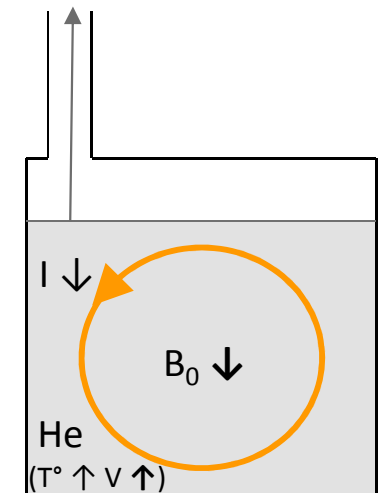
- Processus inverse de la mise en champ

- + hélium conservé
- + sécurisé
- plusieurs heures !

Quench :

- Accidentel ou volontaire
- Chauffe de l'hélium
- état gazeux ($V \times 700$)

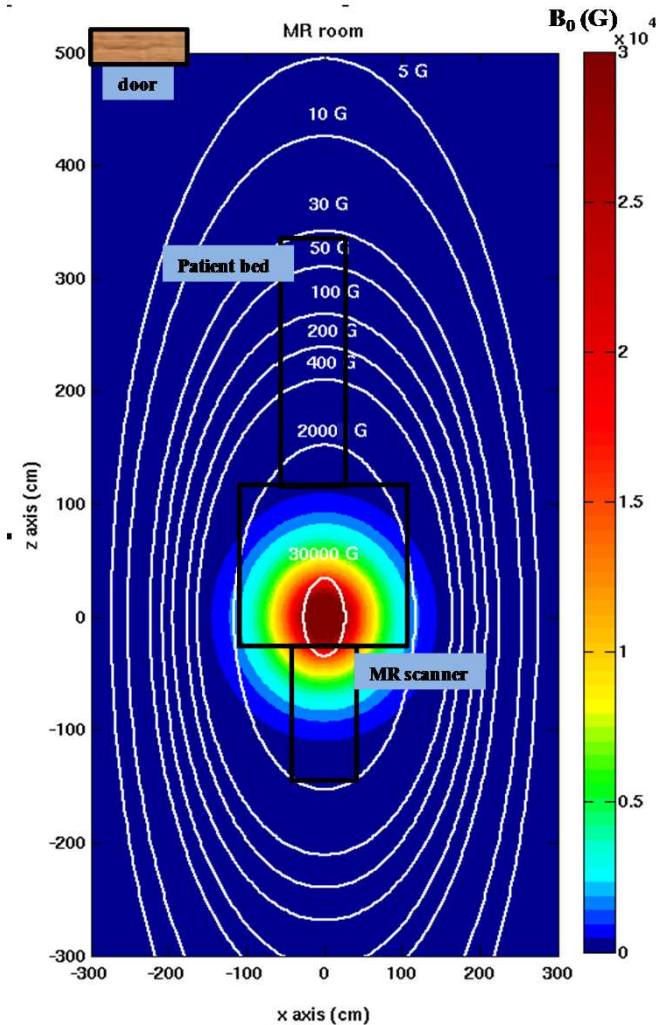
- + quasi-instantané
- perte de l'hélium
- risque d'asphyxie



Quench

Enjeu sécurité : 1) arrêt ou mise en champ long et couteux
2) Possibilité d'arrêt rapide par quench





A l'intérieur du tunnel

= champ magnétique intense **homogène**

A la sortie du tunnel

= chute très rapide du champ magnétique

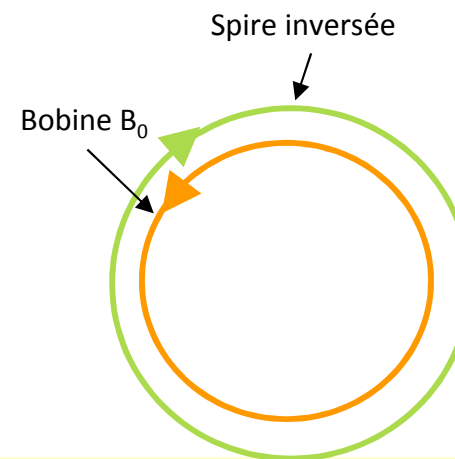
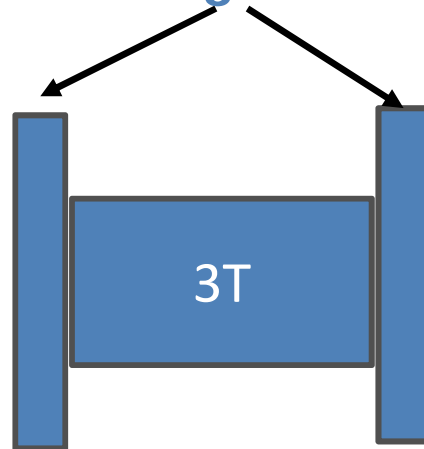
= **champ de fuite** \rightarrow dB/dz en dizaine de T/m

A quelques mètres du tunnel

= champ magnétique faible à modéré

(ligne des 5G dans la salle d'examen)

Blindage actif

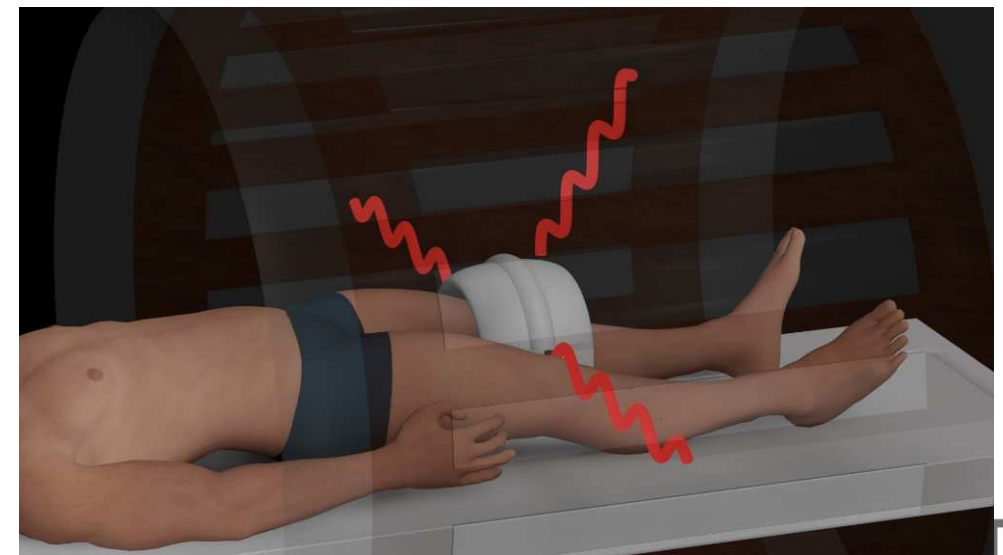
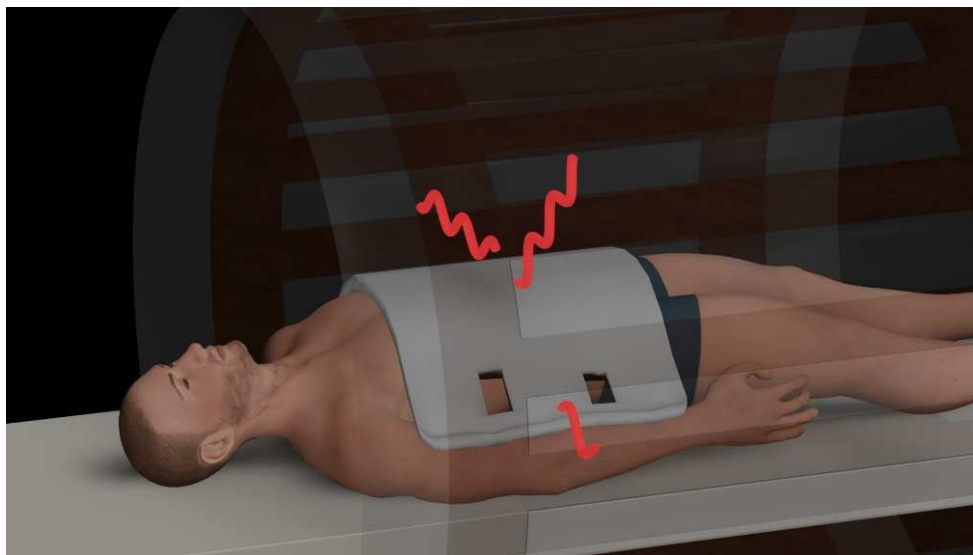


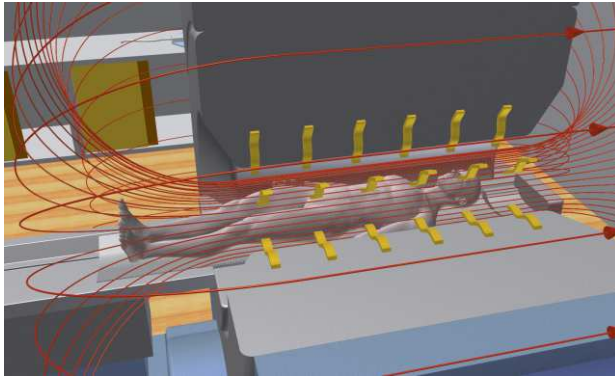
Enjeu sécurité : 1) Très fort gradient de champ magnétique hors tunnel!

2) Passage très rapide de 0T (champ terrestre) à 3T

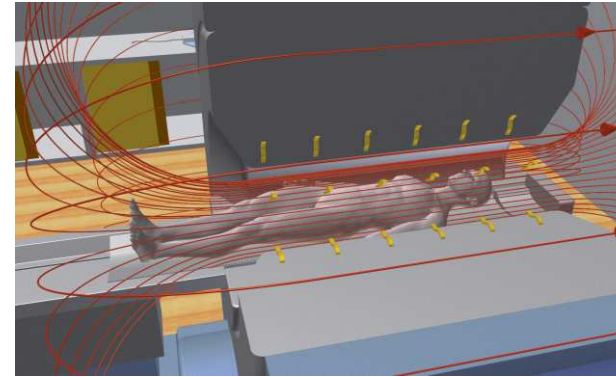
3) l'Homme ne perçoit pas le champ statique







Émission (Transmission) RF (B1+)



Réception RF (B1-)

ν = fréquence de résonance (Hz) ν = 64 MHz (1,5T)



Émissions de radiofréquences

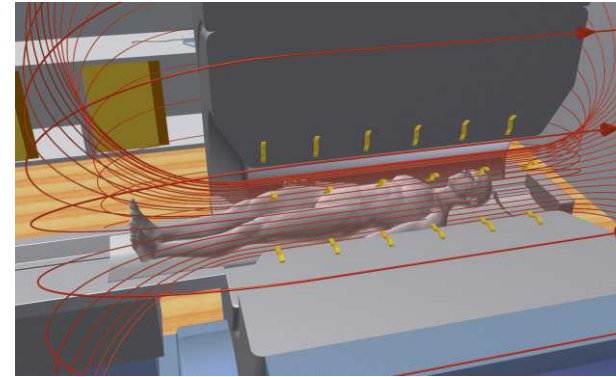
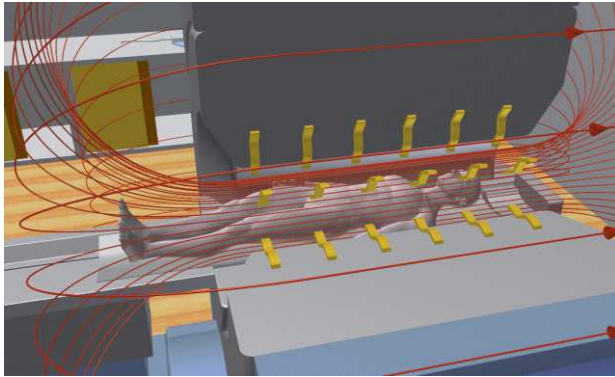
- Par antenne corps (émission/réception, presque toujours utilisée en émission)
- Certaines antennes locales (tête, genou)



Réception Radiofréquence

Toutes les antennes de surface (réseaux phasés)
Antennes volumiques

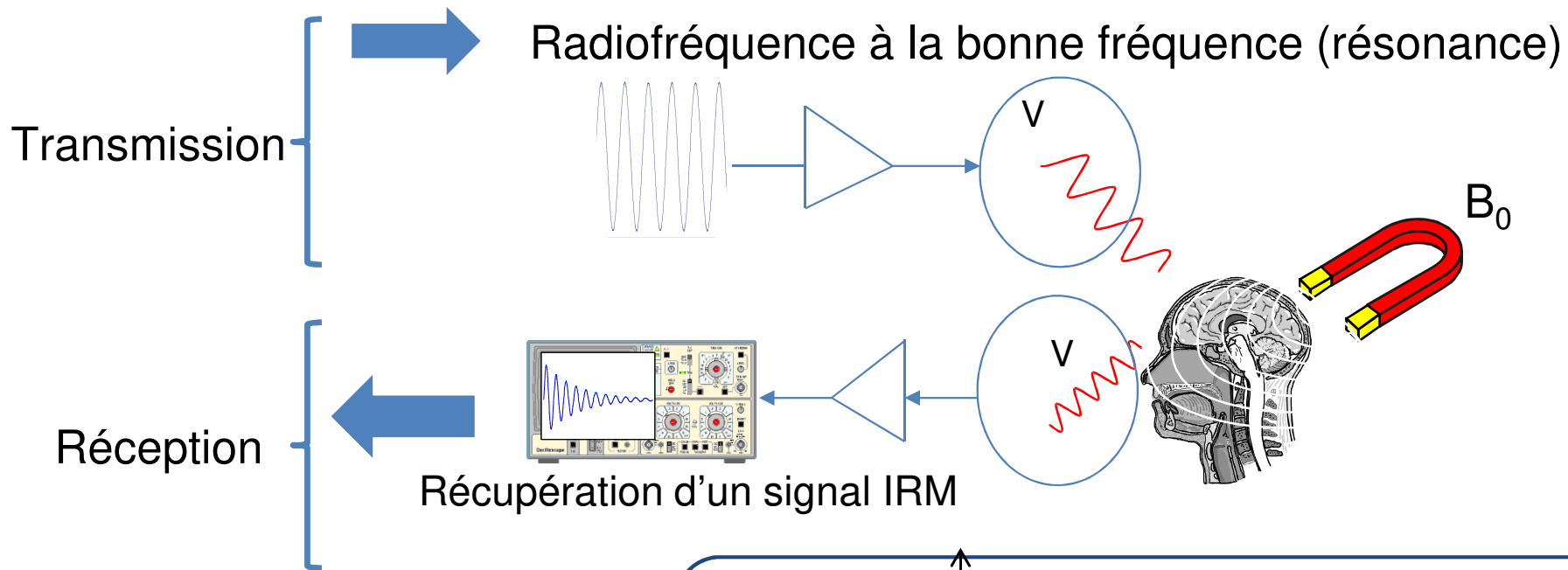




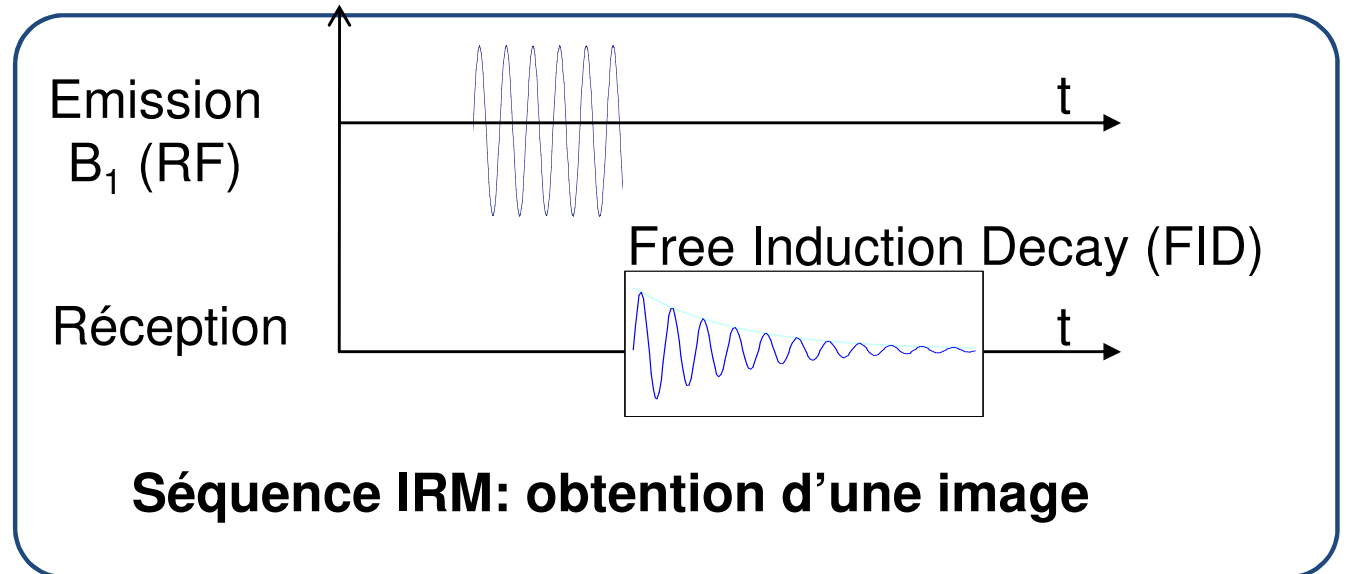
Signal IRM \ll signal radiofréquence ambiant

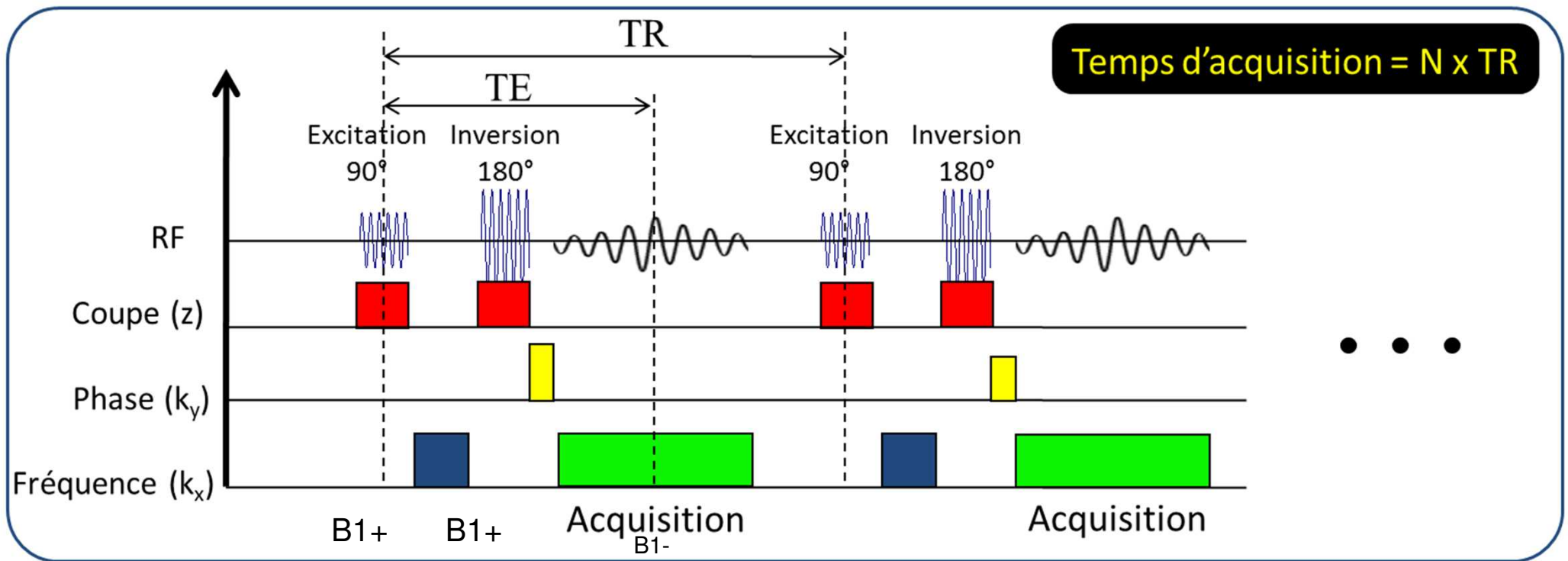
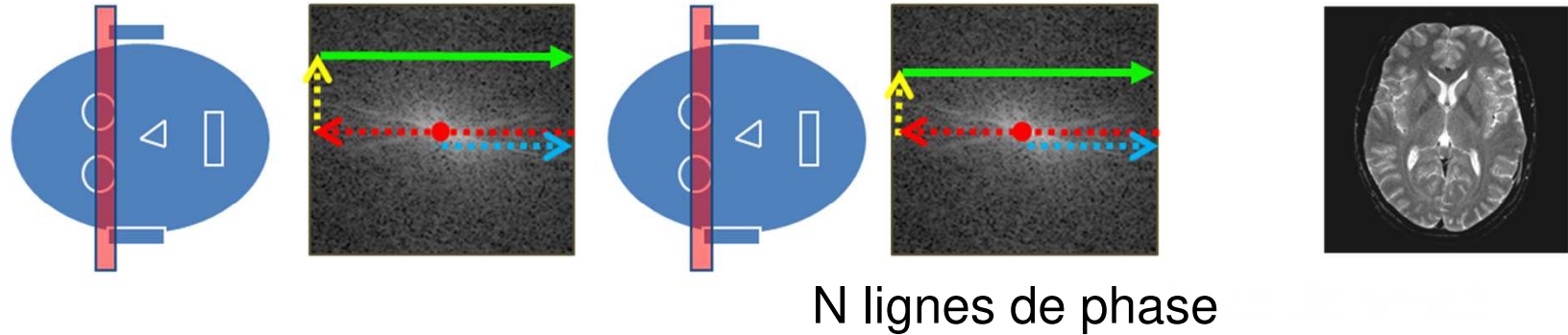
Cage de Faraday: cuivre sur toutes les parois, fenêtre blindée, porte blindée

Normes Radiofréquences, ANRF, atténuation 90-100dB

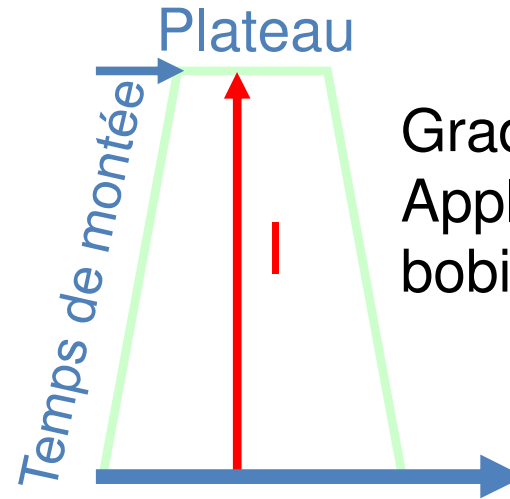
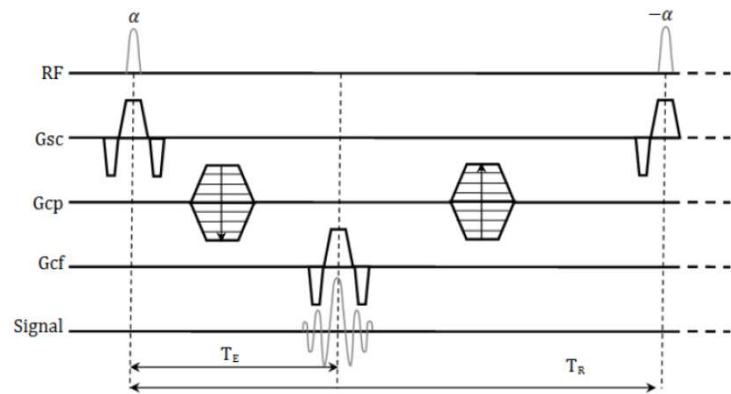


$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B$$





Enjeu sécurité : 1) Energie transmise : Amplitude des impulsions RF (angle de bascule), le nombre d'impulsions RF, le TR... de nombreuses séquences



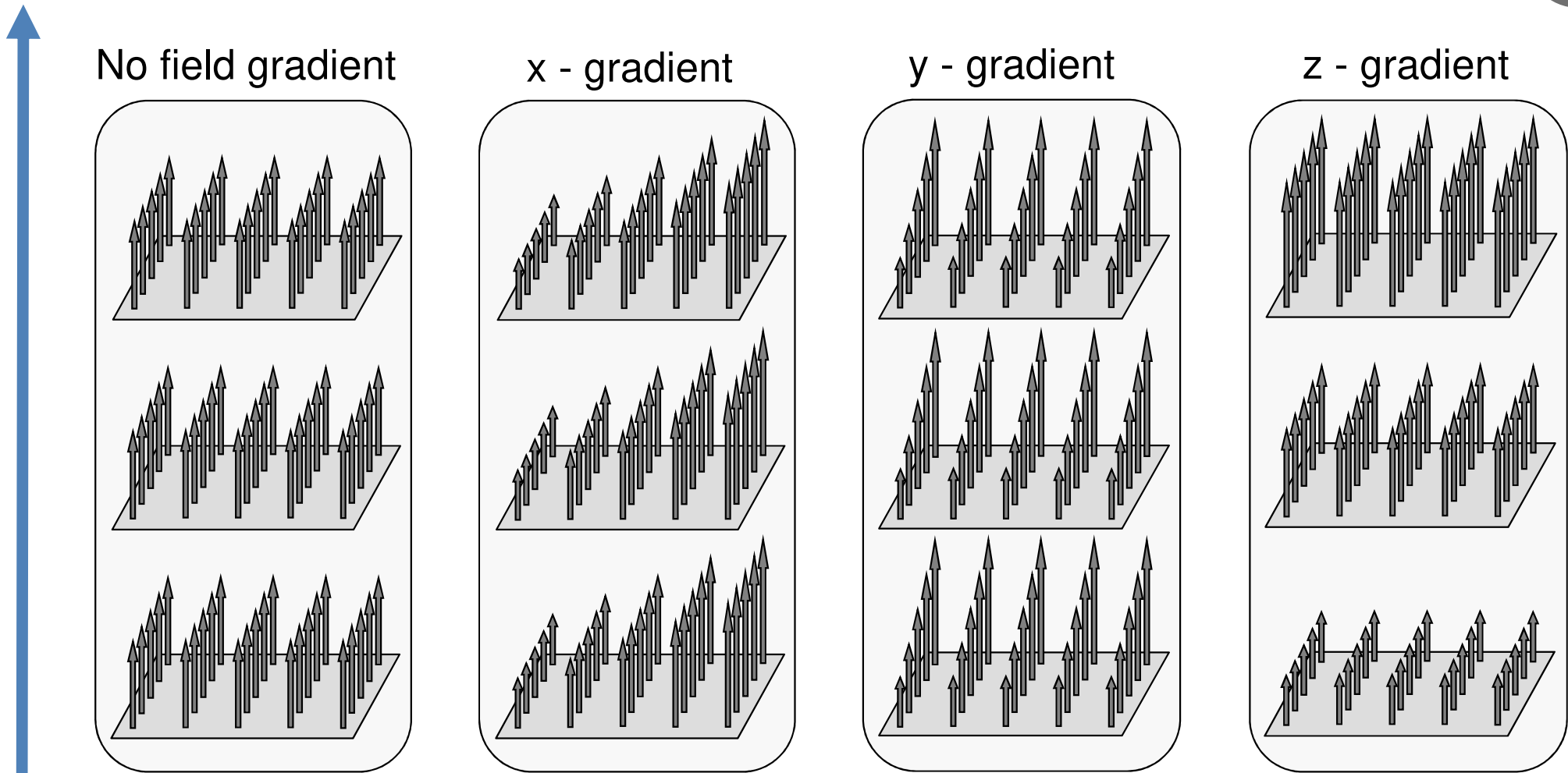
Gradient de champ :
Application d'un courant dans
bobine de gradient

Gradient de champ = amplitude en mT/m & temps de montée T/m/s

- Gradient de champ est linéaire dans la zone d'imagerie (50 cm)
- Amplitude 50mT/m – 80mT/m et plus sur IRM petit animal et recherche
- Durée quelques ms
- Temps de montée (Slew rate) = 200T/m/s = 150 μ s pour passer de 0 to 200A
- Duty cycle, % d'utilisation des gradients (50%)
- Fréquence de l'enveloppe du gradient 10-20kHz
- Refroidissement avec eau glacée nécessaire

Enjeu sécurité : 1) vibration & bruit, 2) Stimulation
3) échauffements

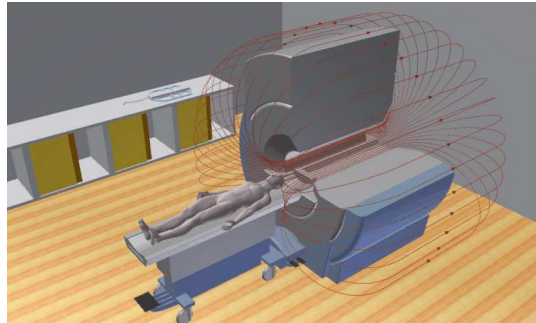




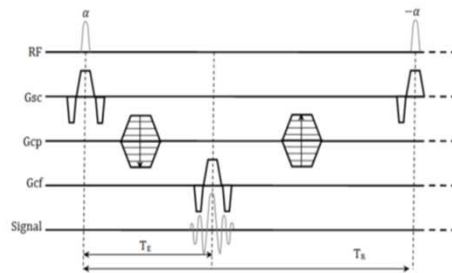
Additional magnetic field in the B_0 direction
But a gradient of magnetic field in the x , y , z direction
(thanks to Fritz Schick)

IRM

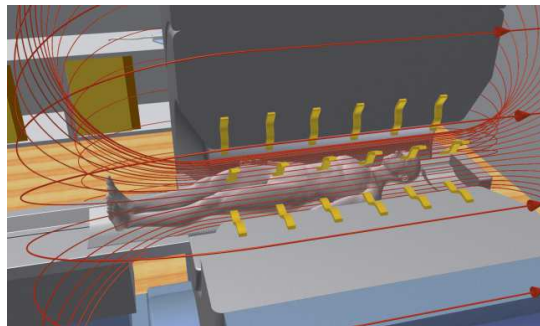
- Champ magnétique statique 1.5T, 3T, ...



- Gradients de champ magnétique 80mT/m, ...



- Radiofréquence 64MHz, 128MHz, ...



Tissus Humains & Dispositif médical

- **Propriétés magnétiques :**

μ_r : Perméabilité relative

χ_m : Susceptibilité magnétique

$$\mu_r = \chi_m + 1$$

- **Propriétés mécaniques:**

ρ : Densité volumique

E_{young} : Module de Young

- **Propriétés thermiques :**

κ : Conductivité thermique

c : Capacité thermique

- **Propriétés électriques :**

σ : Conductivité

ϵ_r : Permittivité relative

χ_e : Susceptibilité électrique

$$\epsilon_r = \chi_e + 1$$

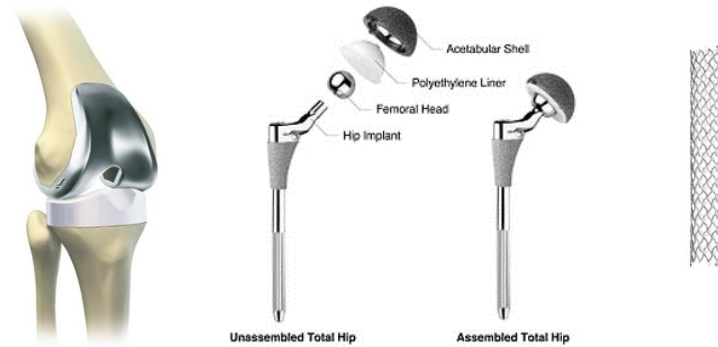
Matériel présent en IRM

Système de monitoring de patient
Respirateur, Matériel d'anesthésie, chaises
roulantes, extincteurs



Implants passifs

Stent, clips, prothèses....



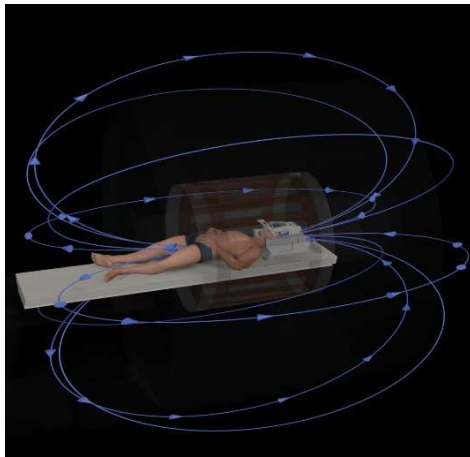
Implants actifs (= passifs + électronique)

Prothèses auditives, stimulateur cardiaque, défibrillateur cardiaque, pompe à insuline....



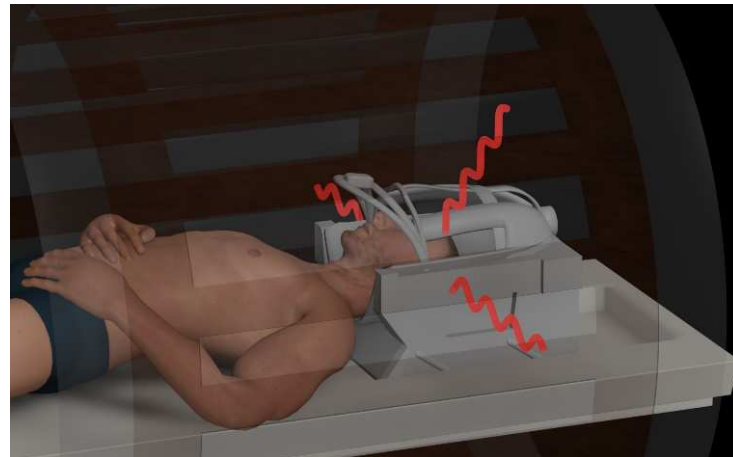
Enjeu sécurité : Evaluer tous les dispositifs susceptibles d'être introduits dans l'environnement IRM. Attention aux appareils recherche ou utiliser occasionnellement, attention aux implants passifs et actifs pour les patients et travailleurs.....

Etape 1



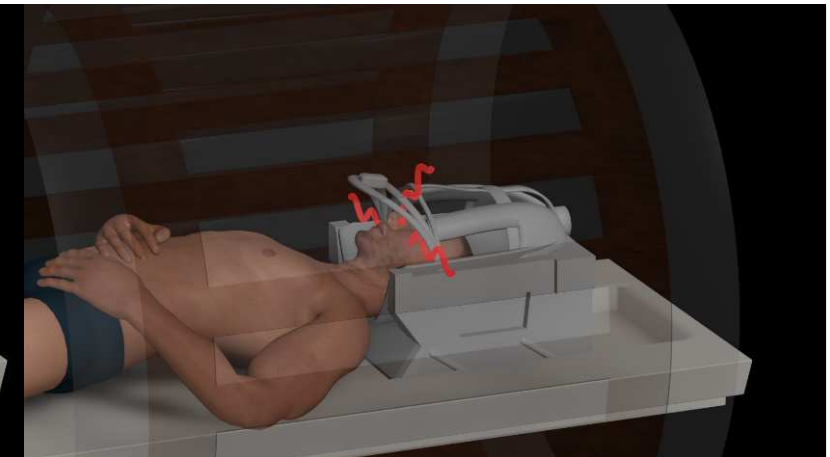
Champ magnétique intense

Etape 2



Apport d'énergie radiofréquence
Absorption d'énergie dans le corps

Etape 3



Récupération (relaxation),
Réception d'énergie radiofréquence

- 1) Champ Magnétique (B_0) + Ondes Electromagnétique (B_1)
- 2) Transfert d'énergie
- 3) Retour à l'équilibre

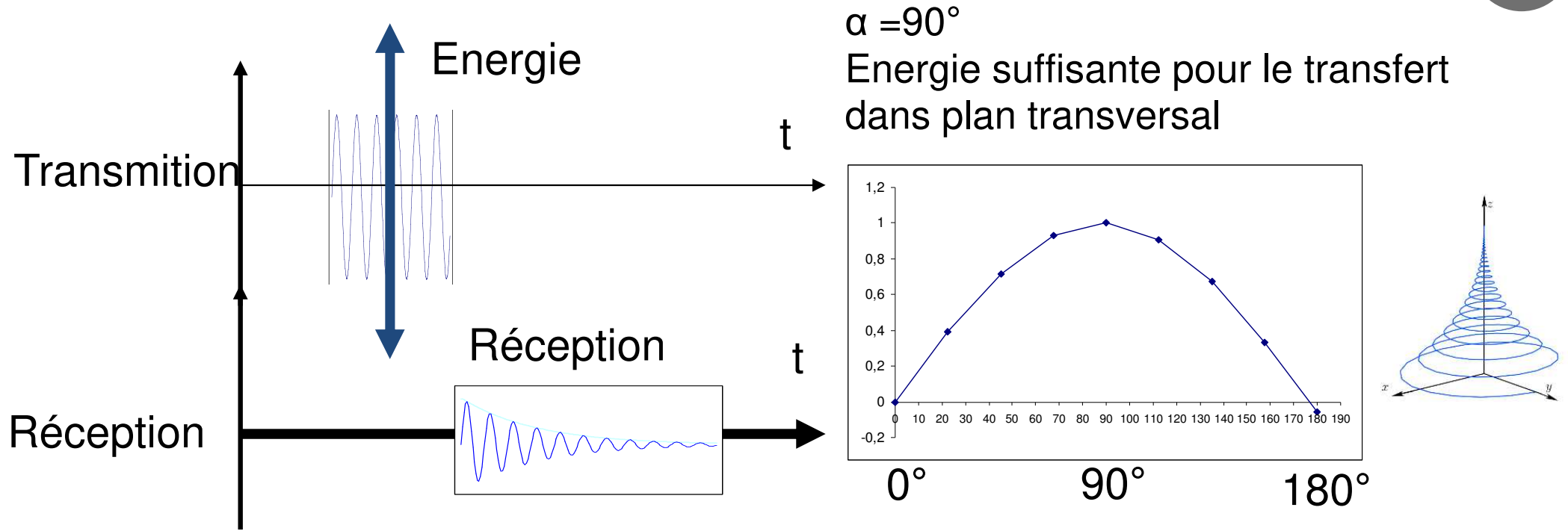
$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B_0$$

ν = fréquence de résonance (Hz)

γ = rapport gyromagnétique (fonction de l'atome)

B_0 = champ magnétique statique (1.5 Tesla)

B_1 = champ magnétique radiofréquence $\nu = 64 \text{ MHz} = 64\,000\,000 \text{ Hz}$



Optimum B1 :

- 1) résonance fréquence / B0
- 2) angle 90°

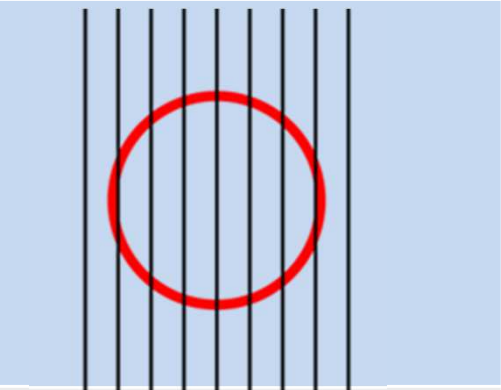
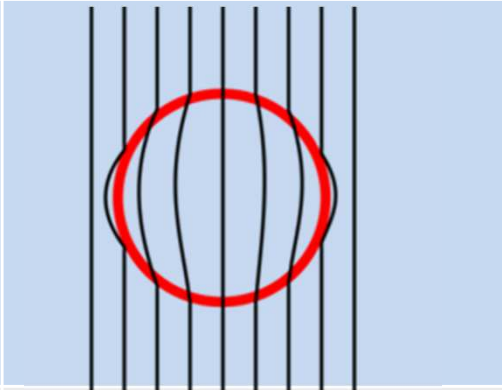
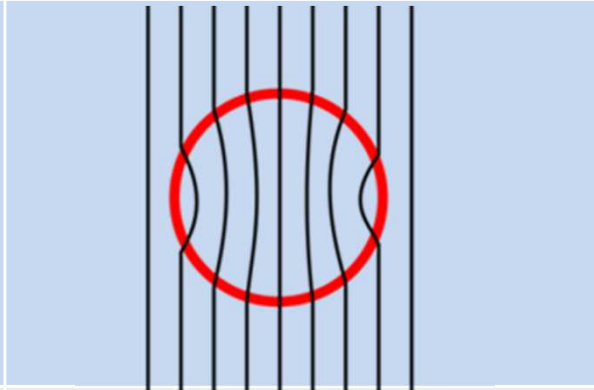
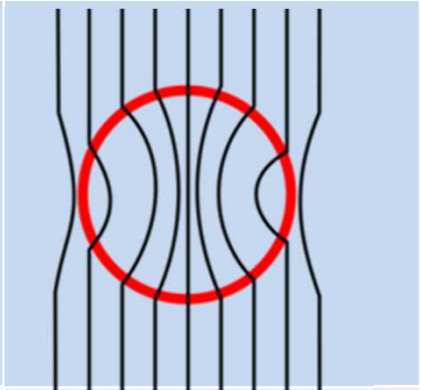
L'ensemble des spins ne voient pas tous un angle de 90°

Enjeu sécurité : 1) Angle de bascule = énergie = échauffement
2) SAR $\propto B_0^2$



χ_m : magnetic susceptibility = degree of magnetization of a material

μ_r : relative permeability : $\mu_r = \chi_m + 1$ = change of magnetic properties

No implant	Diamagnetic	Paramagnetic	Ferromagnetic
$\chi_m = 0, \mu_r = 1$	$\chi_m < 0$	$\chi_m > 0$	$\chi_m \gg 0$
No effect = air	Tend to avoid	Prefer to pass through	Tend to crowd
			
	H, He, C, F, P Water, Fat, Bone, Oxy and Deoxy $\chi_m \approx -10 \cdot 10^{-6}$	Gd: $\chi_m = +163 \cdot 10^{-6}$ Aluminium: $\chi_m = 22 \cdot 10^{-6}$ Titanium: $\chi_m = 151 \cdot 10^{-6}$	Pure Iron, Iron Alloys, Cobalt, Nickel.... $\chi_m = ++100...$

Magnetic force $\propto \chi_m \cdot \text{Volume} \cdot B \cdot \left(\frac{dB}{dr}\right)$