

Sécurité en IRM: les effets des CEM utilisés dans les IRMs

François Dubus

PHD, medical physicist

Head of Physics Department, CHU Lille

Jean-Pierre Pruvo

Professor in Neuroradiology,

Head of Neuroradiology department, CHU, Lille

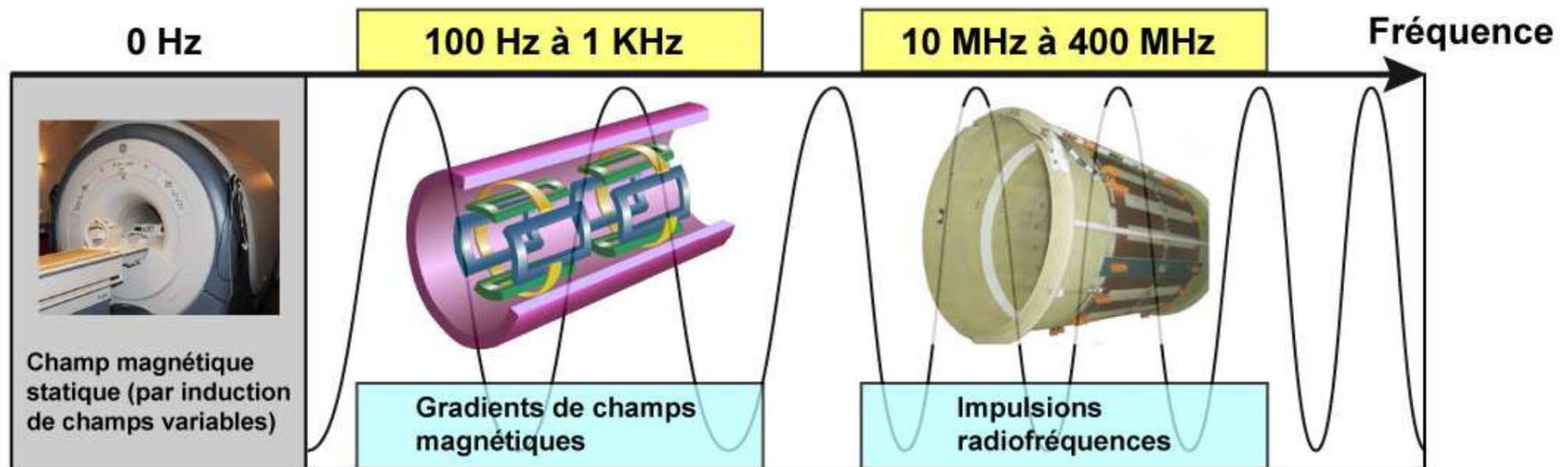
Equations de Maxwell

Equations de l'électromagnétisme:

- 1) Maxwell-Faraday: $\text{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}$
- 2) Maxwell-Gauss: $\text{div}\mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$
- 3) Maxwell-Thompson: $\text{div}\mathbf{B} = 0$
- 4) Maxwell-Ampère: $\text{rot}\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{j} + \varepsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}$

L'équation de Maxwell-Faraday décrit que la variation du champ magnétique induit un champ électrique.

Equations de Maxwell



- Le champ magnétique varie si on déplace à côté de B_0 .
- 2 autres sources de champ variable: Gradient et Champ RF

Risques a priori en IRM

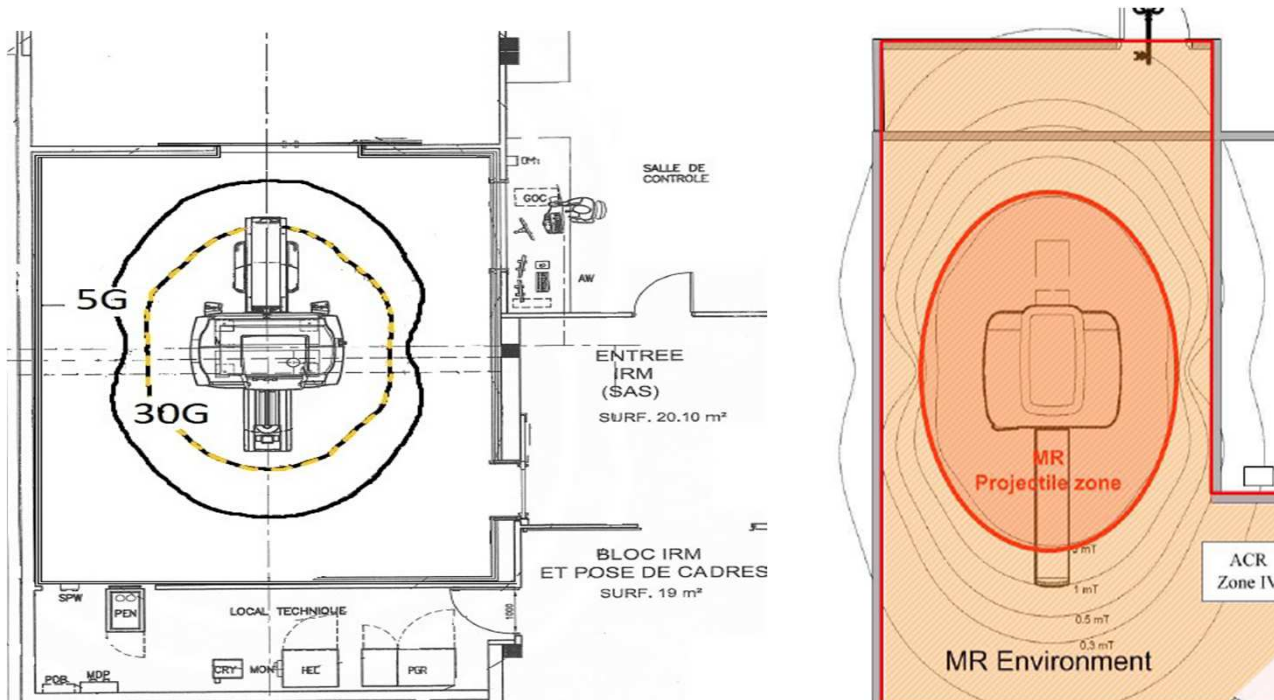
- 1) Champ magnétique B_0 statique: « The magnet is always ON »
 - Attraction des objets ferromagnétiques: risque de projectile
 - Effets biologiques: vertige, phosphène, nausée
 - Compatibilité des DMI (force + moment d'alignement dans la direction du champ B_0)
 - Compatibilité de l'équipement périphérique

- 2) Acquisition des images
 - Force de Lorentz: Bruit acoustique
 - Gradient dB/dt = stimulation des nerfs périphériques
 - Champ RF = atténuation de l'onde dans les tissus donc dépôt de chaleur

Champ B_0 statique

VDA(5 Gauss) = 0.5 mT (risque de déprogrammation DMIA)

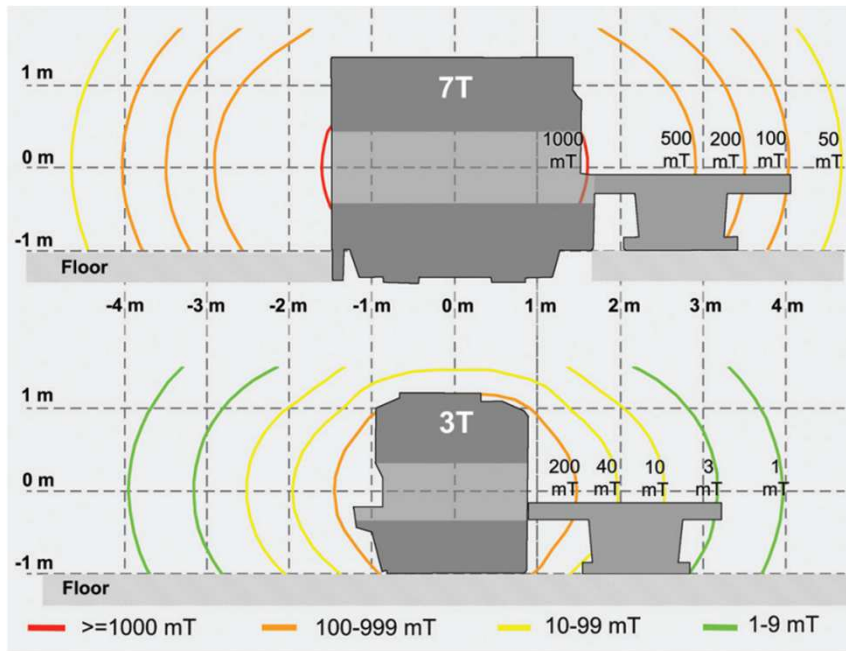
VDA(30 Gauss) = 3mT (risque d'attraction des objets ferromagnétiques)



Champ B_0 statique

Gedankexperiment:

Que se passe-t-il si nous lançons un Physicien dans l'IRM?

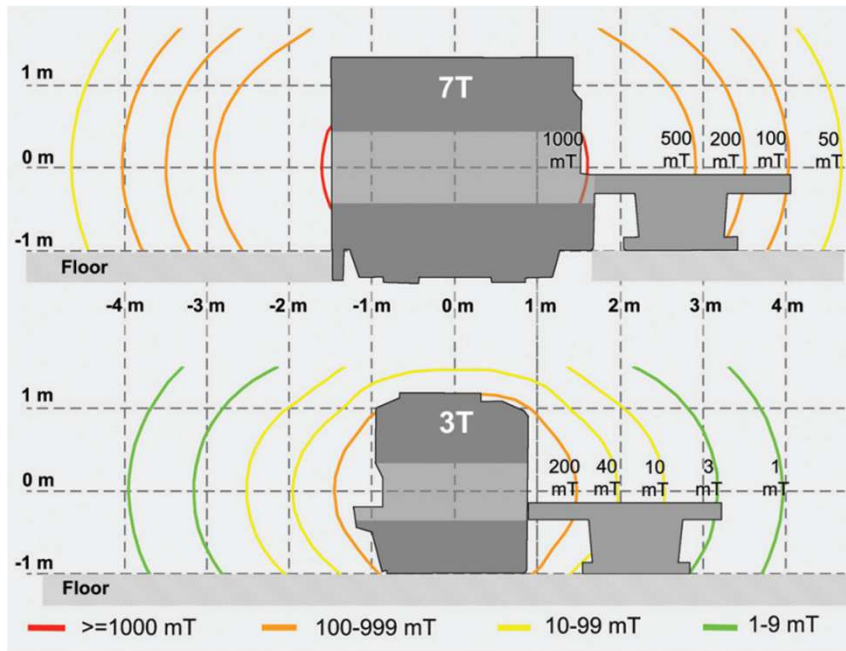


Les effets biologiques: vertiges et goût métallique sont faibles quand le déplacement se fait dans des faibles gradients de champ à faible vitesse.

Champ B_0 statique

Gedankexperiment:

Que se passe-t-il si nous lançons un Physicien dans l'IRM?



Les effets biologiques: vertiges et goût métallique sont très importants à l'entrée du tunnel où les gradients du champ statique (dB/dZ) sont élevés. Ils sont dépendants à la vitesse.

Champ B_1

Le pulse B_1 est le champ radiofréquence qui flippent les spins

Il possède la fréquence de Larmor (à 1,5T, fréquence=64MHz)

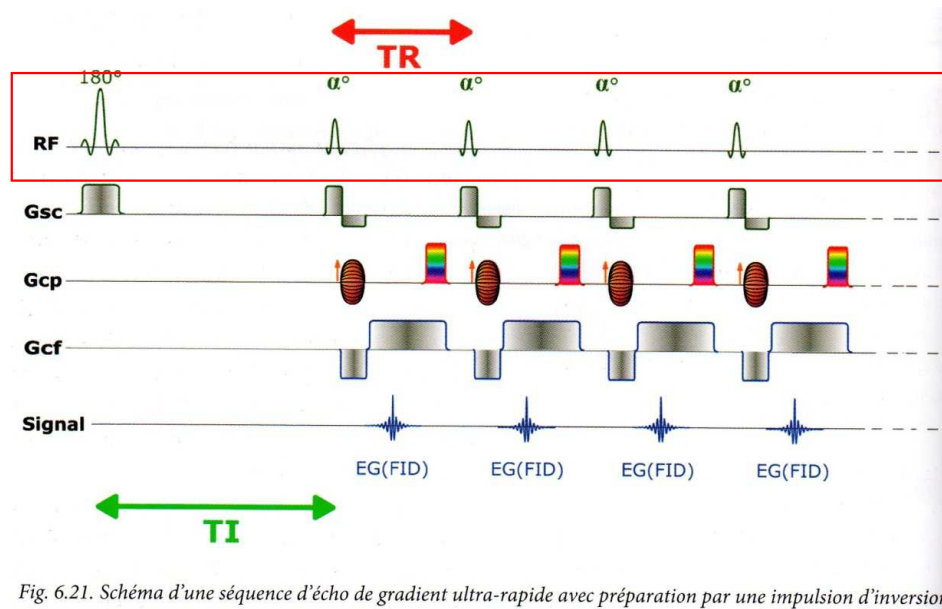
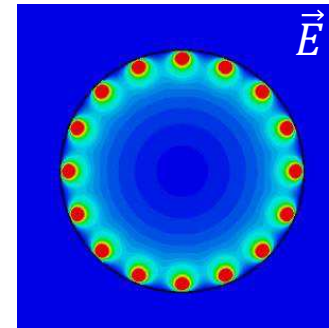


Fig. 6.21. Schéma d'une séquence d'écho de gradient ultra-rapide avec préparation par une impulsion d'inversion



Champ électrique RF

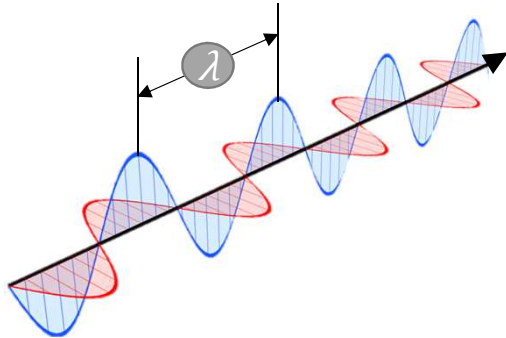
- maximum aux extrémités
- faible au centre

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{2\rho}$$

Champ B_1

DMI: La longueur d'onde n'est pas identique dans le corps humain.

	À 64 MHz	À 128 MHz	À 298 MHz
Dans l' AIR	$\lambda = 470$ cm	$\lambda = 234$ cm	$\lambda = 100$ cm
Dans l' EAU	$\lambda = 52$ cm	$\lambda = 26$ cm	$\lambda = 11$ cm



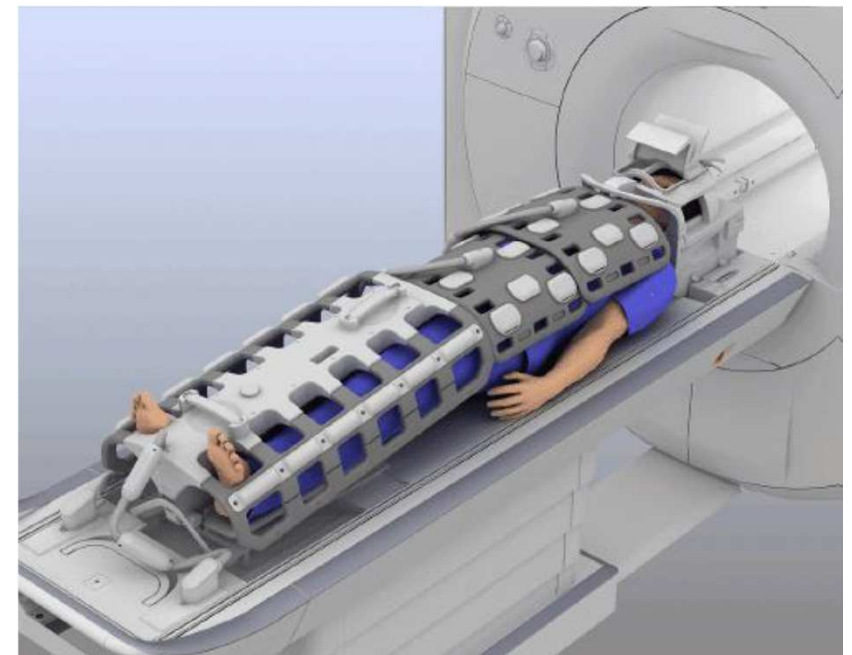
Un **conducteur** de dimension $> \frac{\lambda}{20}$ se comporte encore comme une **antenne** (capte de l'énergie)
Un **conducteur** de dimension $= \frac{\lambda}{2}$ entre en résonance de circuit électrique

Champ B_1

Les effets biologiques sont:

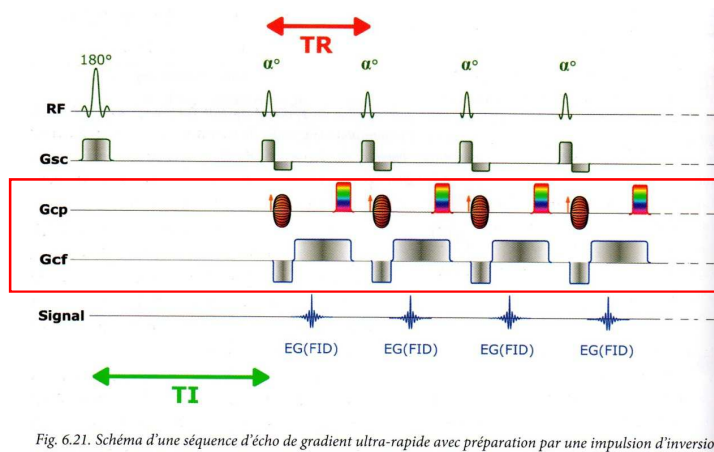
- Effets de chaleur prédominant au dessus de 0,1MHz.
- dépôt de chaleur: SAR en puissance absorbée sur 6 min en W/kg
- Conséquence: salle suffisamment ventilée, pas trop humide et température 20°C
- Implants: Antenne + Effet de résonance
- Conducteurs: risque de brulure

	Mode normal	Mode premier niveau	Dispositif médical
B1, champ radiofréquence 64MHz, 128MHz....	DAS corps 2W/kg max 0,5°C	DAS corps 4W/kg max 1°C	Échauffements Disfonctionnement



Gradients

Le codage spatial de l'IRM nécessite l'utilisation de gradients



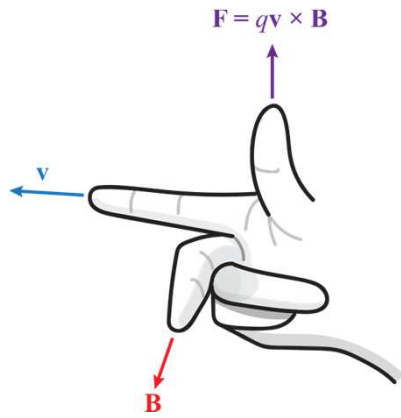
	Limite de SNP	Seuils
Normal mode	80% du seuil d'apparition moyen des SNP	$\frac{dB}{dt} = 44 T/s$
First Level Mode	100% du seuil d'apparition moyen des SNP	$\frac{dB}{dt} = 56 T/s$
Second Level Mode	100% du seuil d'apparition moyen des SNP (recherche uniquement)	$\frac{dB}{dt} > 56 T/s$

Les modes d'utilisation sont:

- **Normal mode:** Risque d'effet sur la santé est minimisé
- **Controlled mode:** Exposition plus élevée mais Risque minimisé avec certains patients qui vont ressentir des effets sensoriels ou inconfort due à la SNP.
- **Research mode:** Evite seulement les effets destructeurs

Gradients

Courants dans les bobines + Champ magnétique B_0



Force de Lorentz

Vibration de l'antenne:
Bruit Acoustique

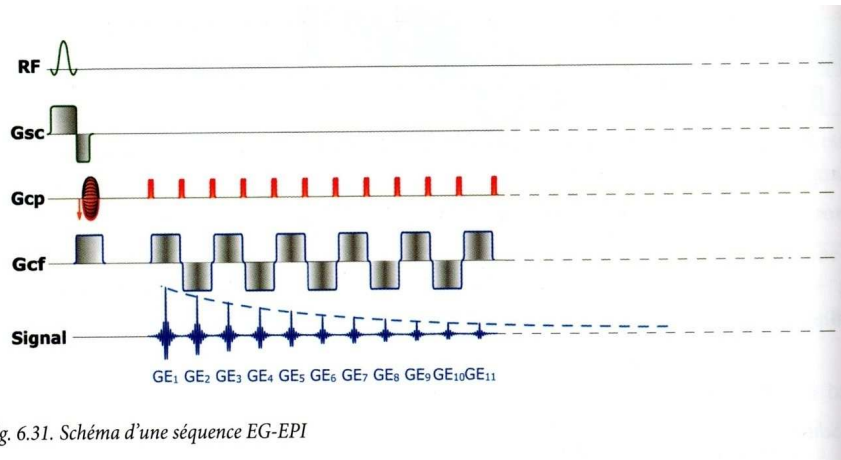
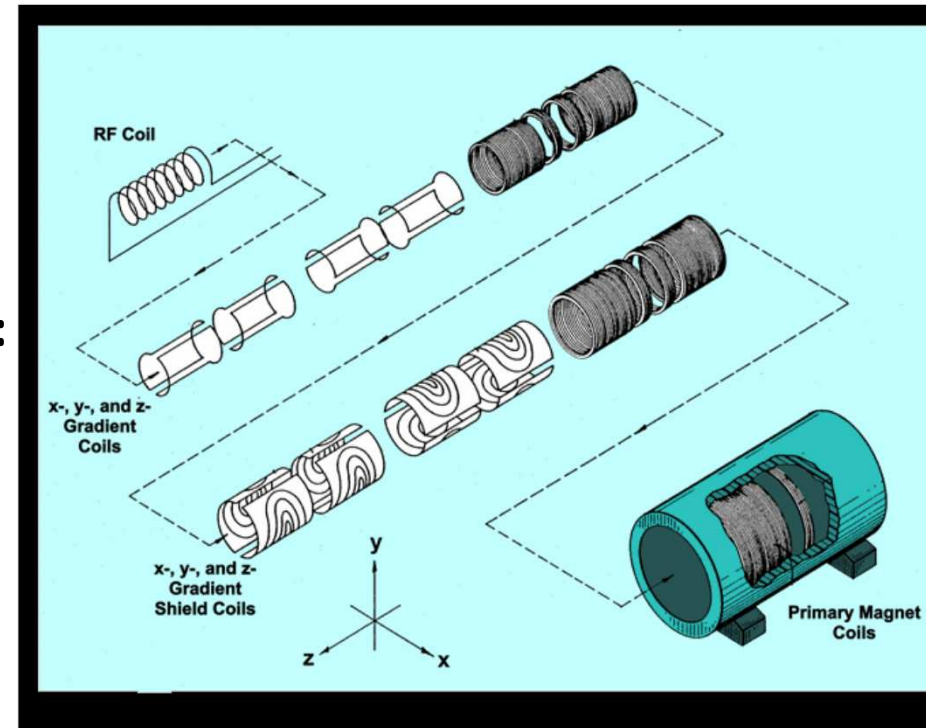
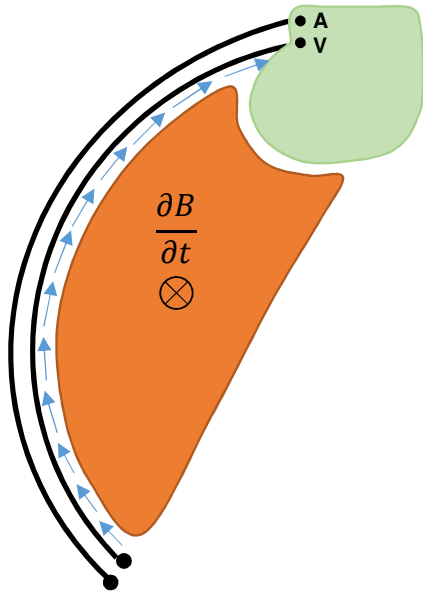


Fig. 6.31. Schéma d'une séquence EG-EPI



Gradients



Conducteur + dB/dt



Loi de Faraday



Tension induite



Dysfonctionnement DMI
ou déclenchement

$$F_{EM} = - \int_{\Sigma} \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dA = \oint_{\partial \Sigma} E \cdot dl$$



Gradients

Le codage spatial de l'IRM nécessite l'utilisation de gradients

Les effets sont:

- **Champ électrique induit et courant circulant dans les tissus conducteurs.**
- **Stimulation de nerfs périphériques et de cellules musculaires**
- **Le corps es plus sensible à la fibrillation entre 10Hz et 100 Hz et à la stimulation du nerf périphérique jusqu'à 5kHz.**
- **Bruit acoustique**
- **Implants: dépôt de chaleur, tension induite et vibration**

Exemples d'implants

1) Pacemakers (MR conditional)

- mouvement, PB de programmation, rythme asynchrone

2) Implants cochléaires (Matériau ferromagnétique)

- Souvent MR conditional

3) Neurostimulateur

- Implanté dans l'abdomen ou thoracique: dysfonctionnement cause de la douleur et peut endommager les fibres nerveuses.

4) Implants de taille comparable à la longueur d'onde RF

- Attention: Résonance

5) Pompe d'injection (composants ferromagnétiques et switch magnétique)

- Souvent contre-indiqué à IRM

Mythes et Physique

Affirmations:

- 1) B_0 , B_1 et gradients doivent être traités différemment
- 2) La force de translation sur un objet ferromagnétique dépend de la susceptibilité de celui-ci.
- 3) Un Implant en Titane est plus sûr qu'un implant en acier inoxydable.
- 4) Les accidents fatals sont le plus souvent liés aux projectiles et aux dysfonctionnements des pacemakers.

Mythes et Physique

Mythes:

- 1) B_0, B_1 et gradients doivent être traités différemment
- 2) La force de translation sur un objet ferromagnétique dépend de la susceptibilité de celui-ci.
- 3) Un Implant en Titane est plus sûr qu'un implant en acier inoxydable.
- 4) Les accidents fatals sont le plus souvent liés aux projectiles et aux dysfonctionnements des pacemakers

Physique:

- 1) B_0, B_1 et Gradients sont tous des champs magnétiques= Sécurité en IRM
- 2) Tous les éléments fortement ferromagnétiques sont sujets à la même force.
- 3) Le Titane a une conductivité électrique plus élevée donc plus de dépôt de chaleur
- 4) Le dysfonctionnement de la pompe implantable est la cause de décès la plus importante en IRM (database MAUD, USA)

Conclusion

Les effets sur l'homme en IRM est un ensemble complexe:

- Personnel: Le champ B_0 est à considérer
- Patients: tous les champs sont à prendre en considération
- Patients avec DMI: Compatibilité MR (MR unsafe, MR conditional, MR safe)

La formation de Personnes compétentes en Sécurité IRM apparaît indispensable, surtout dans un contexte de nombre croissant de patients avec un DMI et de champs magnétiques élevés 3T voire 7T.