



SÉCURITÉ EN IRM

RISQUES LIÉS À B0 ET AUX GRADIENTS

Pr. Jacques Felblinger
U1254 INSERM & CIC-IT 1433 de Nancy
Nancy - France
j.felblinger@chru-nancy.fr
Avec la participation de
Pauline Ferry & Yannick Ponvianne de la société Healtis

Champ magnétique statique, B0 : rappels

Etape 1



Champ magnétique intense (aimant supraconducteur)

Etape 2



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

Etape 3



Récupération (relaxation), Réception d'énergie radiofréquence

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

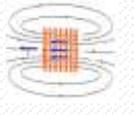
ν = fréquence de résonance (Hz)
 γ = rapport gyromagnétique (fonction de l'atome)
 B_0 standard = 1,5 Tesla, ν = 64 MHz = 64 000 000 Hz
 Noyaux utilisables : ¹H (corps humain : 70% de H₂O), ¹³C, ¹⁹F, ³¹P, ²³Na

- SNR \propto B0
- En clinique 1.5T (optimum pour la plupart des applications)

Champ magnétique statique, B0 : technologie



1.5T...3T...7T



Plusieurs solénoïdes



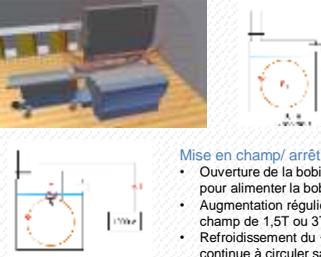
Dr. D. McRobbie, NHS Trust

Design IRM >0.5T

- Plusieurs solénoïdes (créent un champ homogène) 500-700A ! Technologie supraconductrice nécessaire
- Solénoïdes placés dans hélium liquide -269°C,
- Résistance = 0 Ω
- Sans supraconducteur >> 30kW (impossible à refroidir)

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

Champ magnétique statique, B0 : technologie



- Matériel supraconducteur
- Hélium liquide -269°C
- 1500-1800 l
- (1l liquide = 700l de gaz)

Mise en champ/ arrêt du champ (heures/ jours)

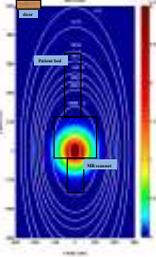
- Ouverture de la bobine B0 avec un « point chaud » pour alimenter la bobine supra
- Augmentation régulière du courant pour atteindre un champ de 1,5T ou 3T....
- Refroidissement du « point chaud » et le courant continue à circuler sans apport extérieur.
- Pour l'arrêt du champ magnétique, le processus est identique

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

Champ magnétique statique, B0 : champ de fuite



Active shielded!
3T



À l'extérieur du tunnel :
Chute très rapide du champ magnétique !
= champ de fuite

Gradient en dizaine de T/m

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

Risque principal en IRM : attraction liée à B0



Démo



Accident récent en Inde....



Accident en Allemagne 2001



- Attraction des objets ferromagnétiques
- Plein de vidéos disponibles sur internet.....

Enjeu sécurité : 1) de plus en plus d'exams, de centres IRM = banalisation 2) Champ statique présent même hors séquence !

Utilisation du QUENCH

7



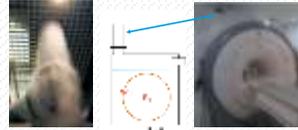
En cas d'urgence: appuyer sur le bouton du QUENCH
 = Arrêt du champ magnétique en quelques minutes
 = chauffage de l'hélium liquide = transformation en hélium gazeux
 = coûts élevés!!!
 (Quench accidentel est possible en cas de défaut sur l'IRM)
Sans urgence vitale
 • Appeler votre fournisseur qui baissera le champ lentement
 • ATTENTION l'extraction manuelle peut endommager l'IRM
 Et provoquer un quench accidentel ...



Enjeu sécurité : 1) savoir où est le bouton de quench ! Et connaître les conséquences 2) Quitter la cage de Faraday (avec le patient !)

Conséquence du QUENCH

8



- Matériel supraconducteur
- Hélium liquide -269°C
- 1500-1800 l
- (1l liquide = 700l de gaz)
- Tuyaux de quench
- (transparent pour utilisateur)



- Quench accidentel possible
- Défaut dans bobinage = moins supra, chauffe, moins supra
 - Grosse masse ferromagnétique
- Risque de suffocation si tuyaux de quench est bouché

Enjeu sécurité : 1) Tuyaux de quench ne doit pas être bouché!
 2) Quitter la cage de Faraday (avec le patient !)

Risque principal en IRM : attraction liée à B0

9

Attraction force induced on a 5 cents coin in a MRI scanner

Risque principal en IRM : attraction liée à B0

10



Attraction:

- Force maximal dans un gradient de champ magnétique (champ de fuite)
- Pas de force dans le tunnel

F : Force de déplacement
 χ : Susceptibilité magnétique
 V : Volume
 B : Champ magnétique
 $\frac{dB}{dr}$: Gradient de champ magnétique

$$F \propto \chi V B \cdot \frac{dB}{dr}$$

Enjeu sécurité : Risque plus important pour les DM ou accessoires lors de l'entrée du patient dans le tunnel

Propriétés magnétiques des matériaux

11

χ_m : susceptibilité magnétique = degré de magnétisation du matériau

μ_r : perméabilité relative : $\mu_r = \chi_m + 1$ = changement des propriétés magnétiques

	Diamagnétique	Paramagnétique	Ferromagnétique
$\chi_m = 0, \mu_r = 1$	$\chi_m < 0$	$\chi_m > 0$	$\chi_m \gg 0$
Pas d'effet	Légère repousse	Légère focalisation	Fort attraction
	H, He, C, F, P eau, graisse, os, Oxy/Deoxy hémoglobine $\chi_m \propto -10 \cdot 10^{-6}$	Gd: $\chi_m = +163 \cdot 10^{-6}$ Aluminium: $\chi_m = 22 \cdot 10^{-6}$ Titane: $\chi_m = 151 \cdot 10^{-6}$	Acier, Alliage, Cobalt, Nickel.... $\chi_m = ++100 \dots$

Enjeu sécurité : DM = matériaux composés, susceptibilité non connue

Analyse du risque d'attraction d'un DM

12

ASTM F2052: Magnetically Induced Displacement Force on Medical devices

$F_m = m \cdot g \cdot \tan(\alpha)$

Condition critique : à l'entrée du tunnel de l'IRM

Critère d'acceptation peut être:
 $\alpha < 45^\circ \Leftrightarrow$ force "magnétique" < poids

Enjeu sécurité : 1) Risque sur les DM, éclat de métal ... / localisation dans le corps 2) Risque pour les accessoires présents dans la cage de Faraday

Conséquence sur l'image

13

Ferromagnetic
 $\chi_m \gg 0$
 Distorsion

Pure Iron, Iron Alloys, Cobalt, Nickel....
 $\chi_m = ++100...$

Boîtier du stimulateur cardiaque
 Cables du stimulateur cardiaque
 Extrémités des câbles du stimulateur cardiaque

ASTM F2219 (artifacts) => for passive implants

Enjeu sécurité : Artefact = diagnostic impossible ou difficile

Accessoires dans les poches = risque majeur

14



Globalement tous nos objets du quotidien sont ferromagnétiques !!

Ne pas utiliser un téléphone proche de l'aimant....

Disquette (histoire), carte de crédit = effacée

Enjeu sécurité : 1) VIDER vos poches en arrivant à l'IRM (en cas d'urgence)

Couple magnétique

15



Paperclip in B0 (video available at www.healthis.com)

Couple magnétique : effet

16

Champ magnétique homogène dans le tunnel IRM

Pas de Force d'attraction

Alignement sur B0

F B_0

Torsion : tests ASTM F2213

17

MR

$\tau = k \cdot \Delta\theta + 10^{-2}$
 $\Delta\theta = \theta_p - \theta_0$

Conséquence sur les tracés ECG, EEG....

18

Le sang est conducteur

- Force de Lorentz $F = ev \times B$
- Vaisseaux perpendiculaires à B0
- Tension superposée à l'ECG (EEG)
- Pas d'effet sur la santé, totalement réversible

Extérieur Dans le champ Pendant une séquence

Enjeu sécurité : Artefact = mesure du segment ST impossible

Conclusions : sécurité B0

19



Gradient de champs magnétiques : rappels

20



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 = 150µs pour passer de 0 à 200A
- Duty cycle, % d'utilisation des gradients (50%)
- Fréquence de l'enveloppe du gradient 10-20kHz

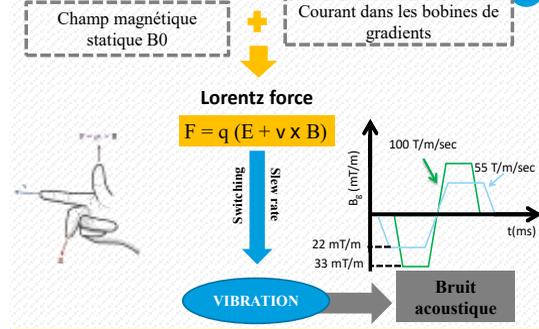


• Refroidissement avec eau glacée nécessaire

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

Effet 1 : Vibration

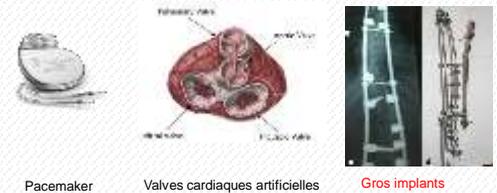
21



Enjeu sécurité : 1) bruit = protections auditives 2) vibration sur DM conducteurs

Vibrations et dispositifs médicaux

22



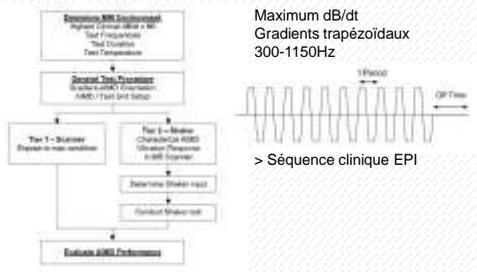
- Conditions**
- Matériel conducteur (électrique)
 - Gradients de champ (variation)
 - Champ magnétique statique
- Conséquences**
- Gêne pendant le scan
 - Détérioration du DM
 - Dysfonctionnement (fuites)

Enjeu sécurité : Matériel conducteur est nécessaire

Vibration : Evaluation

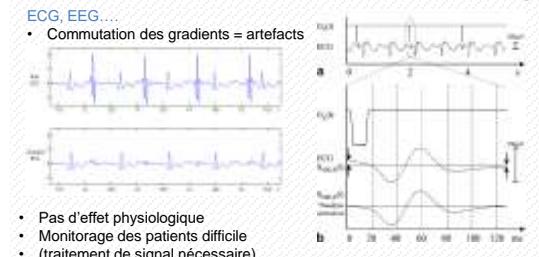
23

ISO/TS 10974 annex 12 : Protection from harm to the patient caused by gradient-induced vibration



Effet 2 : artéfacts sur les signaux électriques

24



- Pas d'effet physiologique
- Monitoring des patients difficile
- (traitement de signal nécessaire)

Enjeu sécurité : 1) Monitoring des patients & synchronisation IRM difficile

Effet 3 : Stimulation nerveuse périphérique

Stimulation nerveuse périphérique (*Peripheral Nerve Stimulation, PNS*)

Parésie, tremblement, sensation bizarre, ... magnétophosphènes

→ dB/dt: variation brusque du champ magnétique = tension induite dans les tissus

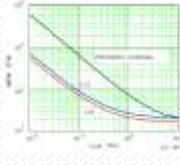
→ dB/dz: variation maximum hors champ de vue

Pas d'effet à long terme connu.



IEC60601-2-33

	PNS limit	Thresholds
Normal mode	80% mean nerve stimulation threshold	dB/dt=44 T/s
First level mode	100% mean nerve stimulation threshold	dB/dt=56 T/s
Second level mode	>100% PNS threshold Research only	> dB/dt=56 T/s



25

Effet 4 : Dysfonctionnement possible

Conducteur + Variation de champ magnétique dB/dt → ISO TS 10974

Loi de Faraday

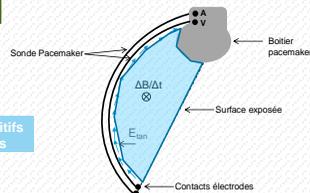
$$emf = - \int \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dA = \int_{\partial S} E \cdot dl$$

Tension induite

Dispositifs actifs

Dysfonctionnement

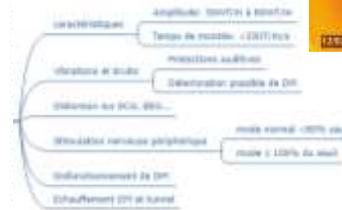
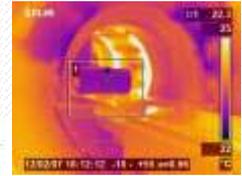
Enjeu sécurité : tension induite (gradients et/ou radiofréquence) peut entraîner des dysfonctionnements du dispositif médical (RESET/ destruction)



26

Conclusions: sécurité gradients

Echauffements liés aux gradients du tunnel et au DM : pendant une séquence le tuyau de gradient chauffe.



27