



L'imagerie par résonance magnétique

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) utilisée dans le diagnostic médical est une technique non invasive, basée sur le principe de la résonance magnétique nucléaire (RMN). Cet outil de diagnostic utilise la capacité de certains noyaux atomiques à entrer en résonance lorsqu'ils sont exposés à un champ radiofréquence (RF). La spectroscopie RMN repose également sur ce principe, elle est utilisée en

chimie et en biochimie pour la caractérisation d'échantillons.

Cette technique d'imagerie est aujourd'hui largement répandue, son utilisation est en constante augmentation. À la différence d'autres technologies telles que les scanners (utilisant des rayons X), elle présente l'avantage de ne pas exposer le patient à un rayonnement ionisant. Dans l'état

actuel des connaissances, il n'existe pas d'effets à long terme sur la santé liés à l'exposition aux champs électromagnétiques rencontrés en IRM. Les effets constatés sont essentiellement sensoriels et transitoires. Cette fiche fait le point sur cette technique et présente les précautions à prendre par les opérateurs vis-à-vis des champs électromagnétiques.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'IRM

Pour obtenir des images, l'IRM combine trois champs magnétiques auxquels sont soumis les patients :

- un champ magnétique statique ;
- un champ magnétique variable appelé gradients de champ ;
- un champ magnétique variable radiofréquence (RF).

Pendant l'examen médical, les noyaux d'hydrogène présents dans l'organisme absorbent une partie de l'énergie transmise par le champ RF. Ces mêmes noyaux, présents dans tous les corps du patient, réémettent ensuite une fraction de cette énergie absorbée sous la forme de faibles signaux RF. Ces signaux, une fois captés et numérisés, permettent de constituer l'image.

Le patient installé dans l'IRM est soumis à un champ magnétique statique intense. Ce champ permet la résonance des noyaux d'hydrogène contenus dans le corps. Sans celui-ci, ceux-ci ne réagiraient pas au champ RF.

Les niveaux des champs statiques utilisés en IRM sont de l'ordre de quelques teslas, principalement 1,5 T et 3 T. Certains IRM dédiés à la recherche utilisent des champs plus importants (exemple : 7 T). Ces niveaux sont très élevés : en comparaison, le champ magnétique terrestre est de l'ordre de 50 μ T.

Le champ est généralement produit par une bobine supraconductrice refroidie à l'hélium liquide. Cette bobine reste active même lorsque l'IRM n'est pas en fonctionnement ; ainsi le champ magnétique est toujours présent dans la salle d'examen et au-delà car le blindage ne permet pas de confiner le champ statique au niveau de la pièce.

En fonction des technologies utilisées, les profils de champ varient. On peut avoir une décroissance rapide du champ avec la distance (cas d'un blindage actif) comme une décroissance relativement lente.

Les gradients de champ

Les gradients de champ permettent de sélectionner la coupe anatomique à imager et de localiser les organes au sein de celle-ci. Différentes bobines génèrent un champ directionnel qui modifie localement le champ magnétique statique. En fonction des profils de champ appliqués, il est possible de réaliser des coupes dans toutes les directions.

La fréquence des gradients se situe généralement autour de 1 kHz mais peut atteindre



Figure 1. Exemple d'un appareil à IRM

10 kHz. La forte décroissance du champ avec la distance et la présence de la cage de Faraday conduit à un champ résiduel très faible au-delà de la salle d'examen.

Note: L'activation répétée des bobines de gradients est à l'origine des bruits émis par l'IRM.

Champ magnétique radiofréquence

Le champ RF met en résonance les noyaux d'hydrogène présents dans l'organisme. La fréquence permettant la résonance dépend du niveau du champ magnétique statique appliqué. Ainsi pour une intensité de 1,5 T le champ RF est de 64 MHz, et de 128 MHz pour une intensité de 3 T.

Suite à l'absorption d'énergie liée à la résonance des noyaux d'hydrogène, le corps réémet un signal très faible. Pour éviter toute perturbation de celui-ci par le bruit électromagnétique ambiant, la salle IRM est placée dans une cage de Faraday.

L'avantage est que le champ RF émis par l'IRM est également stoppé par ce blindage et est extrêmement faible en dehors de la pièce.

EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Le Code du travail (articles R. 4453-3 et R. 4453-4) fixe des valeurs limites d'exposition (VLE) ainsi que des valeurs déclenchant l'action (VA) afin de limiter les risques liés à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques (voir paragraphe associé et fiche INRS ED 4204).

Différentes professions sont amenées à intervenir à proximité d'une IRM, qu'elles soient médicales (manipulateur en radiologie, radiologue...) ou non médicales (agent d'entretien, opérateur de maintenance...).

Lors d'un examen « classique », le manipulateur en radiologie place le patient sur la table d'examen et reste à l'extérieur de la salle pendant l'acquisition. Comme vu précédemment, son exposition est limitée au seul champ magnétique statique.

Dans certains cas particuliers, le manipulateur radio peut être amené à être présent dans la salle IRM lors de l'acquisition des images. Il est alors également exposé aux champs RF et aux gradients. C'est le cas notamment de l'IRM interventionnelle, de l'IRM fonctionnelle, lors de la surveillance de l'anesthésie d'un patient ou encore pour reconforter un enfant.

Dans ces cas particuliers, il convient de réaliser une analyse des risques qui dépendent notamment de la position de l'opérateur vis-à-vis du tunnel. Le guide européen non contraignant pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE (voir encadré « Pour en savoir plus ») propose une démarche pour ce type d'exposition. Des informations concernant les niveaux de champ peuvent être fournies par le constructeur.

EFFETS DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES EN IRM

On distingue les effets directs, c'est-à-dire relatifs au corps humain, des effets indirects, concernant les objets et équipements se trouvant à proximité de l'IRM.

Champ magnétique statique

Effets directs

Les effets avérés liés à un déplacement de la tête dans un champ magnétique statique sont principalement des effets sensoriels (vertiges, nausées, phosphènes rétiens, goût métallique en bouche), ainsi que des modifications mineures et passagères de certaines fonctions cognitives. Ces effets sont susceptibles d'apparaître pour des niveaux d'exposition supérieurs aux VLE sensorielles.

Effets indirects

Le risque principal en IRM concerne l'attraction, par le champ magnétique statique intense, d'éléments ferromagnétiques se transformant ainsi en projectiles. Tous les métaux ne sont pas ferromagnétiques, par exemple le cuivre et l'aluminium ne le sont pas. À l'inverse le fer et l'acier subissent une force d'attraction importante.

Avant d'entrer dans une salle d'IRM, il est donc nécessaire de retirer tout élément susceptible d'être attiré par le champ magnétique (téléphones portables, clés, bijoux...). Certains dispositifs médicaux implantables sont également soumis à cette attraction, leurs mouvements peuvent causer des lésions. Le champ magnétique statique peut également être à l'origine d'un dysfonctionnement des dispositifs médicaux actifs par interférence électromagnétique (voir fiche INRS ED 4267). Le matériel utilisé en salle d'examen est spécifique (lit du patient, fauteuil roulant, potence...).

Gradients de champ

Effets directs

Les principaux effets possibles d'une exposition aux fréquences correspondant aux gradients de champ sont des contractions musculaires brèves et des sensations de picotement. Ces phénomènes résultent d'une stimulation des muscles ou des nerfs par le champ électromagnétique. À notre connaissance, ni les patients ni les travailleurs en IRM n'ont jamais signalé de telles gênes car les niveaux nécessaires à l'apparition de ces stimulations sont supérieurs à ceux généralement observés en IRM.

Effets indirects

En présence de dispositifs médicaux implantables et conducteurs, les gradients de champ sont susceptibles de favoriser la stimulation nerveuse, de provoquer des échauffements ou un dysfonctionnement des dispositifs médicaux actifs (voir fiche INRS ED 4267).

Champ radiofréquence

Effets directs

Les champs radiofréquences ont pour effet l'échauffement localisé des tissus biologiques ou du corps entier: une personne exposée pourra ressentir une sensation de chaleur excessive.

Effets indirects

La présence de matériaux conducteurs exposés aux champs RF peut entraîner d'importants échauffements pouvant être à l'origine de brûlures. Certains dispositifs médicaux actifs peuvent également dysfonctionner (voir fiche INRS ED 4267).

LIMITES D'EXPOSITION

VA et VLE sont fixées par le Code du travail (articles R. 4453-3 et R. 4453-4) et définies en fonction de la nature et de la fréquence du champ considéré. Elles sont données pour les différents champs rencontrés en IRM dans la partie suivante. Pour une vue d'ensemble sur ces VLE et VA, consulter la fiche INRS ED 4204.

Le dépassement temporaire des VLE relatives aux effets sensoriels est possible, si l'employeur démontre l'absence d'alternative possible à ce dépassement, et qu'il a mis en œuvre des mesures et des moyens de prévention appropriés garantissant la protection de la santé et la sécurité des travailleurs. Il conviendra d'en informer le médecin du travail et les représentants du personnel, et d'assurer une information renforcée des travailleurs (articles R. 4453-20 à 26 du Code du travail).

Dans le cas spécifique des IRM, le dépassement temporaire des VLE relatives aux

effets sur la santé peut être autorisé sous certaines conditions strictes, en particulier l'obtention d'une autorisation délivrée par la DIRECCTE (direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi). L'avis du médecin du travail et du comité social et économique doit être recueilli. Les habilitations des travailleurs pour l'accès au poste de travail sont nominatives (articles R. 4453-27 à 34 du Code du travail).

Champ magnétique statique

Dans le cas particulier du champ magnétique statique, les VLE et les VA sont confondues (tableau 1). Le corps humain ne modifiant pas le champ magnétique statique, le champ externe est en effet égal au champ interne.

Toutes les IRM utilisant un champ magnétique statique inférieur à 8 T respectent la VLE relative aux effets sur la santé.

Gradients de champ

Les VA s'appliquant en présence des gradients de champ sont données dans le tableau 2.

L'intensité des champs générés diminuent rapidement avec la distance. Dans le cas particulier où l'opérateur se trouve à proximité du tunnel de l'IRM lors d'un examen, les VA sont susceptibles d'être dépassées.

Champ RF

Les VA s'appliquant aux champs RF sont données dans le tableau 3.

Comme pour les gradients de champ, l'intensité du champ RF diminue rapidement avec la distance. Dans le cas particulier où l'opérateur se trouve à proximité du tunnel de l'IRM lors d'un examen, les VA sont susceptibles d'être dépassées.

CAS DES TRAVAILLEURS À RISQUES PARTICULIERS

Port d'un dispositif médical implantable

Le port d'un dispositif médical peut entraîner des risques indirects. Le Code du travail définit des VA relatives aux risques liés à la

Fréquence	VLE sensorielles		VLE santé
	Exposition localisée de la tête	Exposition localisée des membres	Exposition de l'ensemble du corps
0 Hz ≤ f < 1 Hz	2 T	8 T	8 T

Tableau 1. VLE correspondant au champ magnétique statique

Exposition	Champ électrique		Champ magnétique	
	Fréquence	VA santé	VA sensoriel	VA santé
1 Hz ≤ f < 8 Hz			$\frac{200\,000}{f^2} \mu\text{T}$	
8 Hz ≤ f < 25 Hz	20 000 V/m		$\frac{25\,000}{f} \mu\text{T}$	
25 Hz ≤ f < 50 Hz			$\frac{300\,000}{f} \mu\text{T}$	$\frac{900\,000}{f} \mu\text{T}$
50 Hz ≤ f < 300 Hz	$\frac{1\,000\,000}{f} \text{V/m}$		1 000 μT	
300 Hz ≤ f < 1,64 kHz			$\frac{300\,000}{f} \mu\text{T}$	
1,64 kHz ≤ f < 3 kHz				
3 kHz ≤ f < 100 kHz	610 V/m		100 μT	100 μT

f est la fréquence exprimée en Hz.

Tableau 2. VA correspondant aux gradients de champ

Exposition	Champ électrique	Champ magnétique
Fréquence	VA santé	VA santé
10 MHz ≤ f < 400 MHz	61 V/m	0,2 μT

Tableau 3. VA correspondant au champ RF

présence d'un dispositif médical implantable dans un champ magnétique statique :

- concernant le risque d'attraction d'éléments ferromagnétiques par une source de champ supérieure à 100 mT, ce qui est le cas en IRM, la VA est fixée à 3 mT ;

- dans le cas d'un dispositif médical actif, la VA pour le champ statique est définie à 0,5 mT (= 5 Gauss).

Dans tous les cas, il convient de mener une étude approfondie du poste de travail en prenant en compte les conditions d'exposition de l'opérateur ainsi que le type de dispositif médical concerné.

De plus en plus de constructeurs de dispositifs médicaux se prononcent sur la compatibilité de leurs équipements avec l'IRM. Ainsi certains dispositifs peuvent être exposés sans risque aux champs générés par l'IRM sous certaines conditions précisées dans la notice qu'il faut vérifier.

En absence d'information, l'exposition d'un dispositif médical aux gradients de champ ou à la RF ne devrait pas présenter de risques pour des niveaux inférieurs aux limites d'exposition du public, précisées dans le décret 2002-775.

Cependant, certains dispositifs médicaux peuvent nécessiter le respect de niveaux d'exposition plus faibles pour assurer un fonctionnement normal.

Femmes enceintes

Il convient de mener une étude approfondie permettant de s'assurer que l'exposition de la femme enceinte est maintenue à un niveau aussi faible qu'il est raisonnablement

possible d'atteindre en tenant compte des recommandations de bonnes pratiques existantes, et en tout état de cause à un niveau inférieur aux valeurs limites d'exposition du public précisées dans le décret 2002-775. La limite d'exposition pour le champ statique est fixée à 40 mT.

Jeunes travailleurs

Il est interdit d'affecter un jeune travailleur de moins de 18 ans à des travaux susceptibles de l'exposer au-delà des VLE.

MOYENS DE PRÉVENTION

Les principaux moyens de prévention préconisés dans le cas de l'IRM sont détaillés ci-dessous :

- limitation de l'accès aux personnes autorisées, voire habilitées ;

- formation et information sur les risques liés aux champs électromagnétiques à destination du personnel du service ainsi qu'aux intervenants extérieurs (société de ménage, maintenance...);

- retrait de tout élément métallique (bijoux, téléphone, montre...) avant de pénétrer dans la salle d'examen et mise à disposition de matériel adapté (lit de patient, bouteille d'oxygène, chariot de nettoyage...);

- marquage de la ligne des 0,5 mT (= 5 Gauss) au-delà de laquelle la VA s'appliquant à une personne porteuse d'un dispositif médical actif est dépassée. Généralement cette délimitation est présente sur le sol, la documentation technique de l'IRM précise son tracé ;

- signalétique adaptée sur la porte d'accès à la salle IRM précisant les restrictions d'accès (dispositif médical actif, risque d'attraction d'éléments ferromagnétiques...)

POUR EN SAVOIR PLUS

- Fiches de la collection « Champs électromagnétiques », INRS, ED 4200 à 4219, ED 4266, ED 4267, ED 4350.

- Article de la revue *HST* de l'INRS, hors-série *Rayonnements optiques et électromagnétiques au travail*, compte-rendu du colloque du 20, 21 et 22 octobre 2015 à Paris : « Exposition du travailleur en environnement IRM », M. Bouldi et C. Pasquier.

- Article « Décret n° 2016-1074 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux champs électromagnétiques : Application à l'imagerie par résonance magnétique », 2017, *Radio-protection* 52(3): 189-197, Delmas A., Dessale C., Pasquier C., Vetter D., Vuissoz P.-A., Felblinger J.

- Code du travail, articles R. 4453-1 à R. 4453-34.

Consultables sur www.legifrance.gouv.fr.

- Guides non contraignants de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE « Champs électromagnétiques ».

Disponibles sur www.ec.europa.eu/social.

Volume 1 : Guide pratique

Volume 2 : Études de cas

Volume 3 : Guide à l'intention des PME

- Décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.

- Outil OSERAY (outil simplifié d'évaluation des risques dus aux rayonnements électromagnétiques).

Disponible sur www.inrs.fr.



Figure 2. Exemple de signalétiques au niveau de l'accès à la salle d'examen

Référents : Groupe RNI Carsat-Cramif/INRS

C. Bissierix, Carsat Auvergne ■ P. Laurent, Carsat Centre-Ouest ■ A. Deleau, Carsat Languedoc-Roussillon ■ J. Fortuné, Carsat Centre ■ L. Hainoz, Cram Île-de-France ■ G. Le Berre, Carsat Bretagne ■ S. Tirlemont, Carsat Nord-Picardie ■ N. Morais, Carsat Midi-Pyrénées ■ B. Gallin, Carsat Nord-Est ■ M. Bouldi, A. Bourdieu, M. Donati, L. Hammen, P. Moureaux, INRS

Contacts : L. Hammen, INRS

P. Moureaux, INRS

Services Prévention des Carsat, Cramif et CGSS