



# FICHES TECHNIQUES

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

— JANVIER 2024 —

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

### TABLE DES MATIÈRES

- 1 - Introduction ..... 3
- 2 - Présentation de la technique d'IRM et des CEM associés ..... 4
- 3 - Effets et risques des champs électromagnétiques liés à l'IRM ..... 6
- 4 - Personnes pouvant être exposées aux CEM dans la salle d'IRM ..... 8
- 5 - Sécurité et réglementation pour la protection du public et des travailleurs ..... 9
- 6 - L'évaluation et la gestion des risques, en pratique ..... 13
- 7 - Cas des porteurs de dispositifs médicaux et d'autres accessoires potentiellement à risque ..... 16
- 8 - Conclusion ..... 18
- 9 - Pour en savoir plus ..... 19



Image © E. Museux

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

### 1 - INTRODUCTION

Apparue dans les années 80, l'Imagerie par Résonance Magnétique nucléaire (IRM) est utilisée pour le diagnostic et le suivi de nombreuses pathologies, et maintenant pour réaliser certaines interventions chirurgicales de précision. Actuellement, plus de 40 000 appareils d'IRM sont en service dans le monde. Cette technique présente l'avantage d'être non invasive et non ionisante contrairement à la radiographie ou au scanner dont le fonctionnement repose sur l'utilisation de rayons X.

En revanche c'est la principale source d'exposition des personnes à des champs magnétiques statiques intenses. Son principe de fonctionnement repose sur l'emploi d'un champ magnétique statique, de gradients de champs magnétiques (spatiaux et temporels) et d'un champ électromagnétique radiofréquence. Les consignes de sécurité doivent donc prendre en compte cette triple exposition concernant les effets directs et indirects de ces champs, d'ordre sanitaire ou sensoriel, selon les fréquences mises en jeu.

Notons que les champs magnétiques statiques, bien que de fréquence nulle sont englobés sous l'appellation champs électromagnétiques (CEM). Compte tenu de l'usage répandu de l'IRM et du nombre croissant de personnes équipées de dispositifs médicaux portés sur le corps ou implantés, la question de leur compatibilité avec les CEM rencontrés à l'occasion d'un examen IRM, ou à proximité de l'appareil, fait l'objet d'une attention particulière. Par ailleurs, la présence de ces équipements peut engendrer des artéfacts d'imagerie.

L'objectif de cette fiche est de faciliter l'évaluation et la prévention des risques inhérents à la technique d'IRM. Les risques pour les travailleurs, mais aussi pour les patients sont abordés, notamment les femmes enceintes et les porteurs d'implants médicaux.

En outre, l'IRM représente un modèle d'évaluation des risques électromagnétiques intéressant car il couvre diverses situations d'exposition à des CEM de différentes natures. Les notions exposées dans cette fiche peuvent donc, en partie, être transposées dans d'autres secteurs comme l'industrie et la recherche qui sont soumis à la même réglementation pour la protection des travailleurs.

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

### 2 - PRÉSENTATION DE LA TECHNIQUE D'IRM ET DES CEM ASSOCIÉS

#### Principe de fonctionnement de l'IRM

La résonance magnétique nucléaire (RMN) permet de distinguer sélectivement des signaux provenant de certains atomes du fait du comportement magnétique de leur noyau. Pour comprendre d'où vient le signal RMN, rappelons qu'un atome se compose d'un noyau autour duquel gravitent des électrons. Le noyau est constitué de nucléons (neutrons, et protons chargés positivement). Tous les atomes ne sont pas observables par RMN, seuls ceux dont le noyau dispose d'un spin (mouvement de rotation autour de leur axe) pouvant être orienté dans un champ magnétique le sont (par exemple : hydrogène, phosphore 31, carbone 13).

En pratique, la substance que l'on veut étudier est placée dans un champ magnétique très intense ( $B_0$ ) puis brièvement soumise à une onde électromagnétique (impulsion) de la gamme des radiofréquences (RF) pour exciter l'atome ciblé (fréquence dite de Larmor, ou fréquence de résonance, entre 10 à 400 MHz selon les cas). Cette fréquence est spécifique du noyau considéré et proportionnelle à l'intensité du champ magnétique statique  $B_0$  (par exemple 64 MHz pour l'hydrogène à 1,5 T). Très schématiquement, on peut imaginer les spins<sup>1</sup> comme des petits barreaux aimantés orientés dans le champ magnétique qui basculent sous l'effet du champ RF. Une fois la perturbation électromagnétique arrêtée, le retour des spins à leur état d'équilibre dans le champ statique induit un écho électromagnétique (phase de relaxation). Ce signal est capté par les antennes de la chaîne d'acquisition, puis traité. Il varie en fonction de l'environnement de l'atome et, du point de vue quantitatif, son intensité est proportionnelle à la densité de noyaux concernés dans le tissu ou l'échantillon analysé. Selon le traitement des signaux par transformées de Fourier, et selon le noyau atomique considéré, la technique donne lieu à l'obtention de spectres en deux dimensions, on parle alors de spectroscopie<sup>2</sup> par résonance magnétique nucléaire (RMN), ou bien à des images, on parle alors d'IRM (Fig. 1).

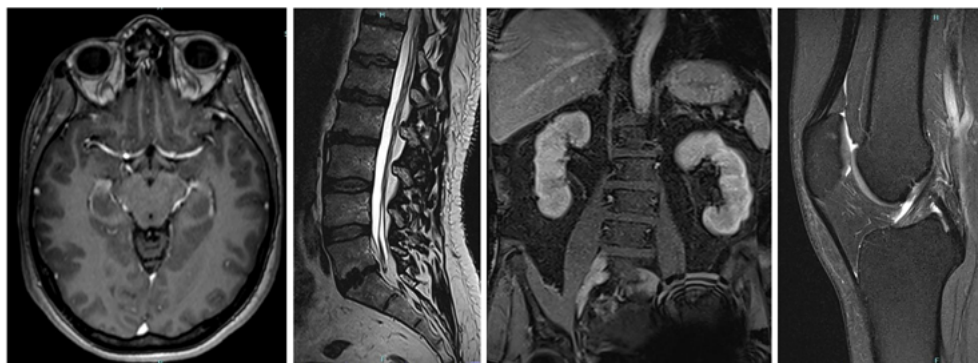


Figure 1 : exemples d'images obtenues par IRM, de gauche à droite : tête, rachis lombaire, abdomen, genou (© E. Museux).

<sup>1</sup> Spin : caractéristique d'une particule, au même titre que sa masse et sa charge électrique, qui joue un rôle important pour son comportement dans un champ magnétique.

<sup>2</sup> Spectroscopie : désigne toute technique expérimentale ayant pour vocation la décomposition d'un phénomène physique sur une échelle d'énergie, ou relative à de l'énergie. Pour une explication simple de la spectroscopie RMN, voir <https://www.youtube.com/watch?v=oFDbKZxX7uQ>.

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

L'IRM utilise la résonance de l'hydrogène  $^1\text{H}$  présent en grande quantité dans l'organisme, notamment dans la molécule d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) qui est le constituant majeur du corps humain ( $\approx 70\%$ ). Il est possible d'obtenir des images en deux ou trois dimensions (2D, 3D) de tous les tissus du corps (Fig. 1). Pour cela, trois paires de bobines sont employées pour produire des gradients de champ magnétique (spatiaux et temporels) qui s'additionnent et se retranchent au champ statique  $B_0$ . Ceci permet le codage de l'image dans les trois directions de l'espace (Fig. 2).

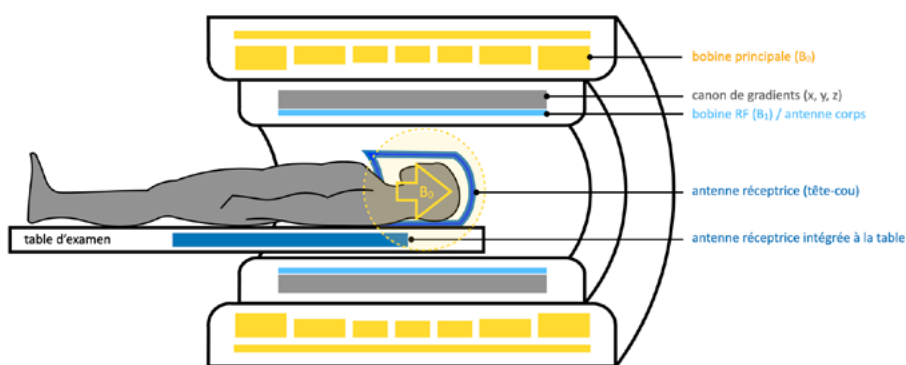


Figure 2 : représentation schématique de l'intérieur d'un équipement d'IRM (création J.-P. Dillenseger).

En outre des compromis doivent être faits entre la résolution spatiale et temporelle. Pour obtenir une imagerie « haute résolution », il est nécessaire de réaliser des acquisitions de quelques minutes. Il est possible d'obtenir des images plus rapidement, en quelques secondes, mais au détriment de la résolution (par exemple à  $128 \times 128$  pixels). Comme le rapport signal sur bruit est globalement proportionnel à la valeur du champ magnétique statique, les chercheurs et constructeurs développent des IRM utilisant des champs magnétiques de plus en plus intenses.

### Les champs électromagnétiques associés à l'IRM

Plus précisément, l'obtention d'images repose sur l'utilisation simultanée de 3 types de champs (tableau 1) détaillés ci-dessous.

|| **Un champ magnétique statique intense** (fréquence nulle),  $B_0$ , généré en permanence par un électroaimant supraconducteur dès la mise en service de l'appareil. Son intensité est de 1,5 tesla (T) ou 3 T dans la majorité des cas, et plus récemment 7 T (encore rare en clinique). Le CEA dispose d'un appareil de 11,7 T pour l'exploration humaine en recherche médicale. A titre de comparaison, 1,5 T représente environ 30 000 fois le champ magnétique terrestre qui est d'environ  $50 \mu\text{T}$  en France. Ce champ est homogène et très intense dans le tunnel où sont placés les patients ; son intensité diminue très rapidement en s'éloignant du tunnel.

Il existe aussi des appareils d'IRM ouverts, dotés d'aimants permanents constitués de métaux ferromagnétiques, moins contraignants mais très lourds et de puissance moindre.

<sup>3</sup> Pour des explications simples, voir l'animation « Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) » sur <http://www.toutestquantique.fr>, et le site <https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/supra/fr/applications-medical-irm-more.php>

Société Française de Radioprotection

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

|| **Un champ électromagnétique radiofréquence** (RF), à la fréquence de résonance de l'hydrogène qui dépend de l'intensité du champ magnétique statique, soit respectivement 64 MHz, 128 MHz ou 298 MHz pour des aimants de 1,5 T, 3 T ou 7 T. Lors de l'acquisition des images, il est émis de façon pulsée par des antennes dirigées vers la partie du corps examinée. Le patient est exposé au champ RF, mais le personnel très peu car les antennes sont directives et ce rayonnement ne traverse pas la paroi de l'aimant. A proximité de l'entrée du tunnel, le niveau d'exposition résiduel décroît très vite avec la distance pour devenir négligeable à 1 m.

|| **Des champs magnétiques variables** dans le temps, liés aux gradients de champs magnétiques utilisés pour le codage spatial des images (environ 100 Hz à 10 kHz) lors de l'acquisition des images.

L'équipement est toujours placé dans une cage de Faraday pour éviter les interférences avec des CEM externes susceptibles de perturber le signal.

Notons que les mouvements rapides d'une personne dans le champ magnétique statique autour de l'aimant, en particulier à l'entrée du tunnel, produisent une exposition équivalente à un champ variable.

Tableau 1 : fréquences utilisées en IRM

Champ magnétique statique	Gradients de champ magnétique	Champs électromagnétiques radiofréquences
0 Hz	0,1 - 10 kHz	64 MHz 128 MHz 298 MHz (42,6 MHz par tesla)

### 3 - EFFETS ET RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM

Les champs électromagnétiques peuvent avoir des effets directs, sensoriels ou sur la santé, et des effets indirects. La nature des effets dépend de la fréquence, ils apparaissent à partir d'une certaine intensité des champs électriques et/ou magnétiques (qui composent le champ électromagnétique) : on parle d'effets à seuil. Il s'agit d'effets aigus (instantanés), à ce jour aucun effet des CEM sur le long terme n'a été démontré. Les dangers et les risques diffèrent donc selon les situations d'exposition.

|| **Attraction et projection d'objets en champ magnétique statique** - Les champs magnétiques attirent les matériaux ferromagnétiques, en particulier l'acier et le fer. Ainsi, le premier danger à proximité d'un appareil d'IRM est lié à l'attraction violente d'objets par le champ statique, dit aussi « effet missile » ou « effet projectile ».

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

Outre des objets de la vie courante (téléphones portables, clés), il peut s'agir de lits, brancards ou fauteuils roulants sur lesquels sont transportés les patients, de chariots, de bouteilles de gaz médical, d'extincteurs ou de matériel d'entretien. Des objets portés par des accompagnants peuvent aussi présenter un danger (armes ou menottes d'un policier, épingles d'un foulard...). Des accidents parfois graves ont été répertoriés, entraînant des fractures voire des décès, comme celui d'un enfant tué par une bouteille de gaz<sup>4</sup>. Citons aussi le cas récent d'un homme tué par son pistolet au Brésil<sup>5</sup>. Les objets devant pénétrer dans une salle d'examen IRM doivent être conçus avec des matériaux amagnétiques tels que le titane, l'inox, l'aluminium, le cuivre, ou bien non métalliques tels que des plastiques, des céramiques...

ⓘ **Effets sensoriels en champ magnétique statique** – Un goût métallique dans la bouche, des sensations de vertiges ou des phosphènes (effet visuel de scintillement) peuvent se produire lors des déplacements (> 1 m/s) à partir de 2 T. Leur intensité est moindre si les déplacements sont lents. Des effets cognitifs passagers peuvent survenir lors de mouvements au-delà de 8 T (orientation, concentration). Ces effets sont réversibles et cessent dès que la personne n'est plus exposée. Ils pourraient augmenter le risque accidentel chez des personnes sujettes par ailleurs à des nausées et vertiges.

ⓘ **Effet d'échauffement en hautes fréquences** – Aux gammes de fréquences RF utilisées en IRM, et plus généralement à partir de 0,1 MHz, l'absorption des ondes dans le corps entraîne un échauffement à partir d'un certain niveau d'exposition (qui dépend notamment de la puissance d'émission et de la distance de la source). Plus la fréquence est élevée, moins l'absorption est profonde. Jusqu'à 6 GHz, l'indicateur de référence pour caractériser la quantité d'énergie absorbée par les tissus est le débit d'absorption spécifique (DAS, ou SAR en anglais) exprimé en Watt par unité de masse (W/kg).

ⓘ **Induction de courants électriques par les champs magnétiques variables, en basses fréquences** – Ces courants induits dans le corps provoquent la stimulation des tissus excitables notamment des nerfs périphériques. Ces effets apparaissent à partir d'un certain niveau du champ électrique interne induit à l'intérieur du corps, en volt par mètre (V/m). En IRM des picotements, douleurs ou contractions peuvent être ressentis par les patients, mais pas par les personnes situées à l'extérieur du tunnel.

ⓘ **Echauffement de matériaux conducteurs par couplage inductif** aux fréquences utilisées en IRM, pouvant entraîner des brûlures chez les patients, notamment en présence d'objets en matériaux conducteurs de forme circulaire. Des boucles de courants induits peuvent aussi se former dans le corps du patient, si les mains sont jointes par exemple, et provoquer des brûlures aux points de contact. Les brûlures représentent la seconde cause d'incidents en IRM après l'effet projectile, et la principale cause de blessure pour les patients<sup>6</sup>.

**Remarques** : d'autres problématiques peuvent survenir lors d'un examen IRM, par exemple les gradients de champs génèrent des bruits intenses et des vibrations perceptibles par le patient. L'immobilité et le confinement dans le tunnel peuvent aussi être stressants.

<sup>4</sup> <https://camrt-bpg.ca/wp-content/uploads/2022/06/MR-Prevention-of-Projectile-Accidents-Examples-French.pdf>

<sup>5</sup> Mis en action par un IRM, un pistolet tue son propriétaire, 10 février 2023 sur lematin.ch. <https://www.lematin.ch/story/mis-en-action-par-un-irm-un-pistolet-tue-son-propretaire-896103796800>

<sup>6</sup> Voir par exemple « Un adolescent de 13 ans perd son pouce au cours d'une IRM », 5 août 2015, sur 20 minutes.fr

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

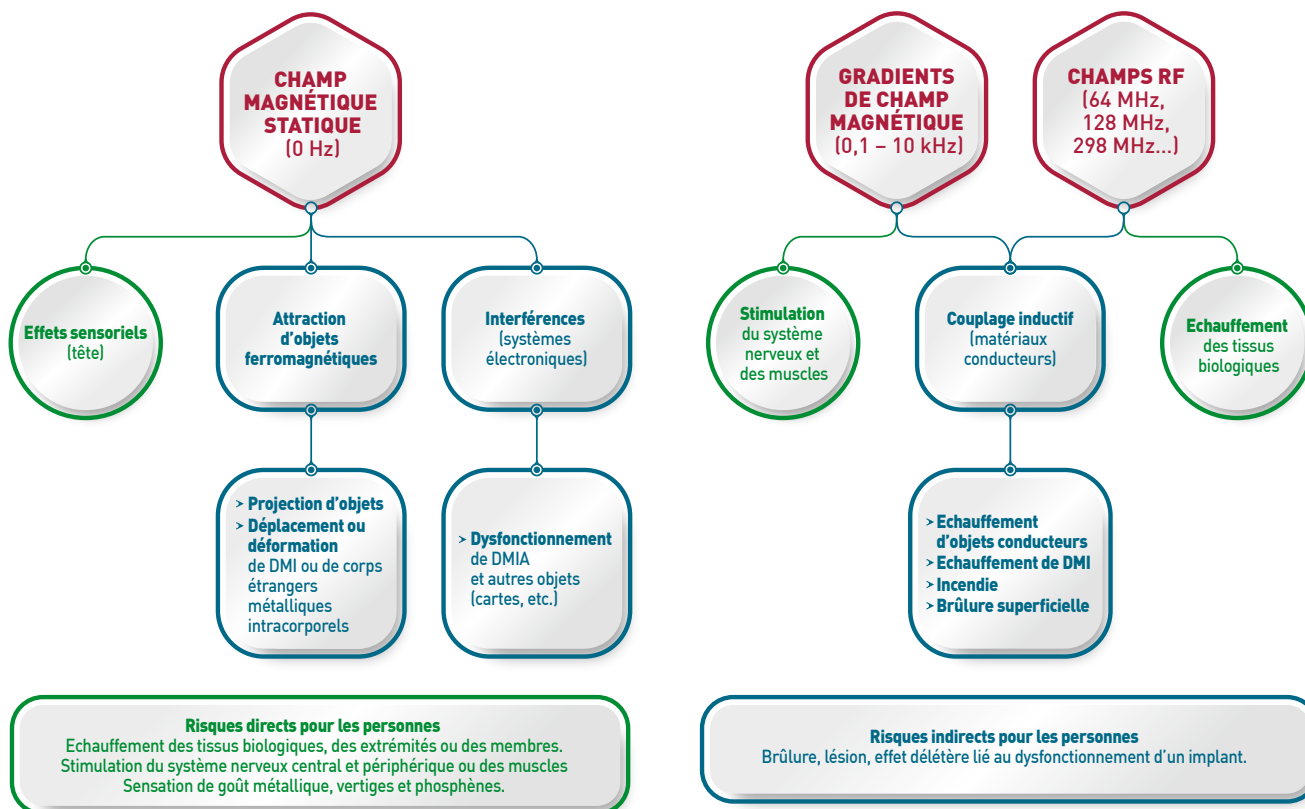


Figure 3 : vue d'ensemble des effets et des risques liés aux champs électromagnétiques utilisés en IRM pour les patients et les travailleurs - En bleu : effets indirects, en vert : effets directs (création E. Museux et A. Perrin).

### 4 - PERSONNES POUVANT ÊTRE EXPOSÉES AUX CEM DANS LA SALLE D'IRM

En plus du patient, le personnel intervenant à proximité de l'appareil d'IRM et des personnes accompagnant le patient peuvent être exposés à des niveaux de champs plus ou moins intenses. Les personnes suivantes sont donc concernées par le risque électromagnétique (non exhaustif) :

- assistant technique médical (manipulateur en radiologie),
- radiologue,
- professionnels de santé en provenance d'autres services,
- agents d'entretien,
- techniciens, personnels de maintenance du fabricant,
- personne accompagnant un patient (claustrophobe, enfant...).

Les uns relèvent du public et les autres sont présents dans le cadre de leur activité professionnelle de façon régulière ou ponctuelle.

Société Française de Radioprotection

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

### 5 - SÉCURITÉ ET RÉGLEMENTATION POUR LA PROTECTION DU PUBLIC ET DES TRAVAILLEURS

#### Principe de la réglementation pour la protection contre les effets des CEM

La réglementation protège contre les effets sanitaires et sensoriels des CEM entre 0 et 300 GHz, et contre les effets indirects. Elle fixe des valeurs limites à ne pas dépasser pour le public (recommandation européenne de 1999 et décret n°2002-775 du 3 mai 2002) et pour les travailleurs (décret n° 2016-1074 du 3 août 2016, en transposition de la directive 2013/35/UE). Le décret n° 2016 -1074 modifiant le Code du travail est applicable depuis janvier 2017. Dans ces textes, les seuils sont exprimés en termes de :

- restrictions de base (pour le public) ou valeurs limites d'exposition (VLE, pour les professionnels), qui sont des valeurs internes au corps (champ électrique induit, DAS, induction magnétique...),
- niveaux de référence (public) ou valeurs déclenchant l'action (VA, travailleurs), qui sont des valeurs directement mesurables dans l'environnement et au poste de travail, déterminées de façon à ce que les restrictions de base ou les VLE ne soient jamais dépassées.

Ces valeurs sont fondées sur l'état des connaissances scientifiques d'après les lignes directrices proposées par la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (ICNIRP, groupe d'experts internationaux qui fait référence pour l'OMS).

#### Pour les travailleurs

Il existe d'une part des VLE relatives aux effets sur la santé, et d'autre part, entre 0 Hz et 400 Hz, des VLE plus faibles relatives aux effets sensoriels. Les VLE relatives aux effets sensoriels peuvent être dépassées sous certaines conditions (Art. R. 4453-20 à 26). Les VLE sont définies à l'intérieur du corps humain et ne sont pas directement mesurables, sauf pour le champ magnétique statique.

Les VA sont des valeurs mesurables à l'emplacement du travailleur, définies pour les fréquences (f) entre 1 Hz et 300 GHz. Le respect des VA garantit le respect des VLE (voir la fiche technique SFRP « Évaluer l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques »). Les seuils pour le public seront fournis à titre de comparaison pour les champs statiques et RF.

#### ⓘ Seuils réglementaires pour le champ magnétique statique ( $0 \leq f < 1\text{Hz}$ )

Concernant les effets biophysiques directs, comme le champ magnétique statique traverse le corps, la valeur interne au corps est mesurable à l'extérieur (à l'emplacement du travailleur). Par conséquent VA et VLE sont confondues : 40 mT pour le public et 8 T pour les travailleurs (VLE santé, corps entier). Les VLE « effets sensoriels » sont de 2 T pour l'exposition localisée de la tête, et 8T pour celle des membres. Concernant les effets biophysiques indirects, une VA de 3 mT prévient le risque d'attraction et de projection, et une VA de 0,5 mT protège contre les risques d'interférences avec les dispositifs médicaux implantés actifs (DMIA).

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

Ces valeurs sont rassemblées dans le tableau 2.

Seuils réglementaires					
	VLE contre les effets directs (pro) Restrictions de base (public)			VA contre les effets indirects	
	Effets sensoriels		Effets sanitaires	Attraction et projection	Interférences avec les DMIA
	Tête	Membres	Corps entier		
<b>Professionnels</b>	2 T	8 T	8 T	3 mT	0,5 mT
<b>Public</b>	-	-	40 mT	-	-

Tableau 2 : récapitulatif des seuils autorisés pour la protection contre les effets directs et indirects en champ magnétique statique (0-1 Hz) pour les travailleurs (pro) et pour le public.

Dans le cas particulier de l'IRM, la VLE « effets sur la santé » en champ magnétique statique peut être dépassée, sur dérogation, pour les personnels intervenant à proximité de l'appareil (décret n° 2016-1074, article 1, section 9). Cette situation est rencontrée principalement près de l'entrée du tunnel.

### ⓘ Seuils réglementaires dans la gamme des champs radiofréquences (plage 10 MHz - 400 MHz)

La gamme des radiofréquences est vaste (environ 10 MHz à 300 GHz). Aux fréquences utilisées en IRM (< 6 GHz), les VLE sont exprimées en termes de «DAS localisé» pour les membres, la tête et le tronc (moyenne sur 10 g), et de «DAS corps entier» reflétant l'exposition moyenne de l'ensemble du corps. Pour le public, il s'agit des restrictions de base dont la valeur est 5 fois inférieure aux seuils professionnels. Ces limites protègent contre les effets sanitaires (effets thermiques) ; il n'y a pas d'effet sensoriel connu des RF.

Les valeurs mesurables correspondantes, valeurs déclenchant l'action (VA) ou niveaux de référence pour le public, sont exprimées en champ électrique et champ magnétique. Les deux composantes du champ étant couplées dans cette gamme du spectre, elles évoluent de la même manière. En champ lointain autour de l'aimant, il suffit de mesurer l'une des deux, généralement le champ électrique en volt par mètre. L'absorption de l'énergie dans les tissus biologiques dépend de nombreux paramètres, dont la fréquence, ces seuils en V/m varient donc selon la fréquence considérée.

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

Les valeurs fixées pour la plage 10 à 400 MHz qui comprend les fréquences utilisées en IRM figurent dans le tableau 3.

Seuils réglementaires					
	VLE (pro) Restriction de base (public)			VA (pro) Niveaux de référence (public)	
	DAS tête et tronc	DAS membres	DAS corps entier	Champ électrique	Champ magnétique
<b>Professionnels</b>	10 W/kg	20 W/kg	0,4 W/kg	61 V/m	0,2 µT
<b>Public</b>	2 W/kg	4 W/kg	0,08 W/kg	28 V/m	0,092 µT

Tableau 3 : valeurs limites d'exposition en champ RF aux fréquences utilisées en IRM pour les travailleurs et pour le public (plage 10 – 400 MHz).

### Seuils réglementaires pour les fréquences correspondant aux gradients de champs pour le codage spatial ( $1 \leq f < 100$ kHz)

Il existe des VLE exprimées en champ électrique interne (V/m) pour protéger contre les effets sanitaires (non thermiques à ces fréquences) et contre les « effets sensoriels » pour l'exposition localisée de la tête. Les VA correspondantes, VA hautes concernant les effets sur la santé et VA basse pour les effets sensoriels, sont exprimées en champ électrique et en champ magnétique externes mesurables au poste de travail. Ces valeurs sont différentes selon les plages de fréquences considérées entre 1 Hz et 100 kHz. Il existe aussi une limite unique pour l'exposition des membres. Pour simplifier la présentation, seuls les VA figurent dans le tableau 4.

Société Française de Radioprotection

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

Fréquence (f)	Champ électrique (en V/m)		Champ magnétique (en µT)	
	VA haute	VA haute	VA basse	Exposition localisée des membres
1 Hz ≤ f < 8 Hz	20 000	200 000/f <sup>2</sup>	300 000/f	900 000/f
8 Hz ≤ f < 25 Hz		25 000/f		
25 Hz ≤ f < 50 Hz		1 000		
50 Hz ≤ f < 300 Hz	1 000 000/f	300 000/f		
300 Hz ≤ f < 1,64 kHz		300 000/f		
1,64 kHz ≤ f < 3 kHz	610	100	100	
3 kHz ≤ f < 100 kHz		100	100	

f est la fréquence en Hz

Tableau 4 : valeurs déclenchant l'action aux fréquences correspondant aux gradients de champs pour le codage spatial.

### ⓘ Cas des travailleurs à risque particulier

Sont considérés comme travailleurs à risques particuliers :

- les employés de moins de 18 ans pour qui les VLE « effets sensoriels » ne peuvent en aucun cas être dépassées ;
- les femmes enceintes pour qui « l'exposition est maintenue à un niveau aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre », à un niveau compatible avec la réglementation du public dans le cadre de leur travail. Notons toutefois qu'aucun effet particulier des CEM n'est attendu pour les femmes enceintes ou allaitantes, ni pour les fœtus aux niveaux d'exposition autorisés pour les travailleurs ;
- les porteurs de dispositifs médicaux (DM), implantés ou non, actifs ou non, pour qui le médecin du travail détermine l'aptitude à l'issue d'une évaluation du risque spécifique.

### Pour les patients

Il n'y a pas de limite d'exposition pour les patients dans la réglementation. Toutefois, l'exposition RF est limitée pour ne pas entraîner une élévation de température du corps dépassant 0,5°C durant l'examen. Il est important de ne pas trop couvrir le patient et de maintenir une bonne ventilation dans la salle.

Société Française de Radioprotection

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

Il n'y a pas de conséquence connue, ni de contre-indication à l'examen IRM pour les femmes enceintes et les fœtus, ni pour les enfants. Néanmoins, en cas de grossesse, l'attitude habituelle des radiologues est de minimiser l'exposition de la patiente par précaution. Dans tous les cas, c'est la balance bénéfice – risque qui doit être analysée par le radiologue qui réalise l'examen (voir liens utiles).

### 6 - L'ÉVALUATION ET LA GESTION DES RISQUES, EN PRATIQUE

#### Pour les professionnels

L'évaluation des risques est de la responsabilité de l'employeur qui désigne un salarié compétent ou s'appuie sur un organisme externe spécialisé. Elle est réalisée en fonction des niveaux d'exposition, obtenus à partir de données documentaires, et si nécessaire par des mesures, des calculs et des simulations numériques. Le résultat de l'évaluation est communiqué au médecin du travail et au service de prévention et de santé au travail (SPST). Le personnel concerné reçoit une information et une formation de base sur les risques électromagnétiques et des notices de postes doivent être rédigées. Toutes ces données sont intégrées au document unique d'évaluation des risques (DUER).

Un dépassement des VLE pour les effets sensoriels est possible, s'il est temporaire et en l'absence d'alternative, mais il est interdit pour les moins de 18 ans. Ceci nécessite d'informer le médecin du travail ainsi que les représentants des personnels, de dispenser une formation renforcée et de mettre à disposition un dispositif de signalement des symptômes éventuels. Un dépassement des VLE relatives aux effets sur la santé apporte des contraintes fortes nécessitant une autorisation de la Direction régionale de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités (DREETS, qui a remplacé la DIRECCTE mentionnée dans le décret 2016-1074), une attestation de l'absence de contre-indication médicale de la part du médecin du travail et une habilitation nominative de l'employeur pour les salariés concernés. Les travailleurs concernés par les champs électromagnétiques sont invités à faire part au médecin du travail d'effets indésirables éventuels attribués aux CEM, ainsi que d'un changement de situation justifiant des mesures adaptées (projet de grossesse, pose d'un dispositif médical implanté ou non).

La gestion du risque inclut l'information et la surveillance des personnes non habituées à l'environnement IRM et pouvant être amenées à entrer ponctuellement en salle d'IRM.

Différentes formations relatives à la gestion des risques liés à l'IRM sont proposées par des organismes publics et privés. La Société Française de Radiologie développe une gamme de formations depuis une courte vidéo d'information en accès libre qui intéressera le public comme les professionnels, jusqu'aux enseignements les plus pointus destinés aux étudiants appelés à travailler dans ce domaine (voir liens utiles).

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRFP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

En définitive, ce cadre réglementaire propose une approche graduée de la gestion des risques en milieu professionnel (Fig. 4)

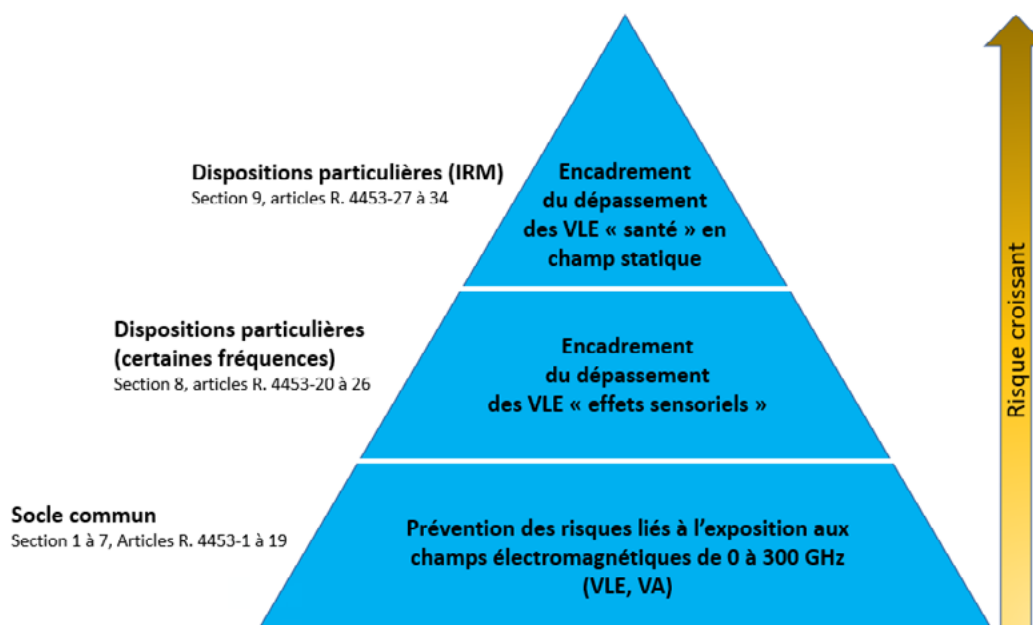


Figure 4 : progressivité du cadre réglementaire selon l'exposition, suivant le décret n°2016-1074, article 1 (schéma inspiré d'une infographie de la Direction générale du travail).

### La signalétique sur site

Des mesures de champ magnétique autour de l'appareil permettent de cartographier l'intensité du champ présent dans la salle d'examen et en dehors (Fig. 5) ; notons que les murs n'arrêtent pas le champ magnétique. L'INRS précise que « la ligne de champ statique à 0,5 mT doit être circonscrite dans le local de l'IRM et ne pas déborder dans les locaux attenants, notamment si ceux-ci sont accessibles au public du fait du risque de perturbation des dispositifs médicaux implantés »<sup>7</sup>.

L'analyse des lignes isochamps permet de mettre en œuvre des mesures de prévention facilement : marquage au sol, éloignement, restriction d'accès, en plus de l'affichage à l'entrée de la salle (Fig.6). Par précaution, certains constructeurs proposent un marquage au sol représentant la limite de 20 mT, considérée comme une sécurité pour l'utilisation d'équipements dits « amagnétiques » (qui ne le sont parfois pas complètement), utilisés par exemple pour la surveillance et la ventilation de patients venant d'un service de réanimation, mais il ne s'agit pas d'un seuil réglementaire.

<sup>7</sup> INRS, dossier champs électromagnétiques, sur [inrs.fr](https://www.inrs.fr/risques/champs-electromagnetiques/reduire-risques.html#0fe9aa1d-dc1a-4826-8364-5e10ee0b5a73)  
<https://www.inrs.fr/risques/champs-electromagnetiques/reduire-risques.html#0fe9aa1d-dc1a-4826-8364-5e10ee0b5a73>

Société Française de Radioprotection

# FICHES TECHNIQUES DE LA



## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

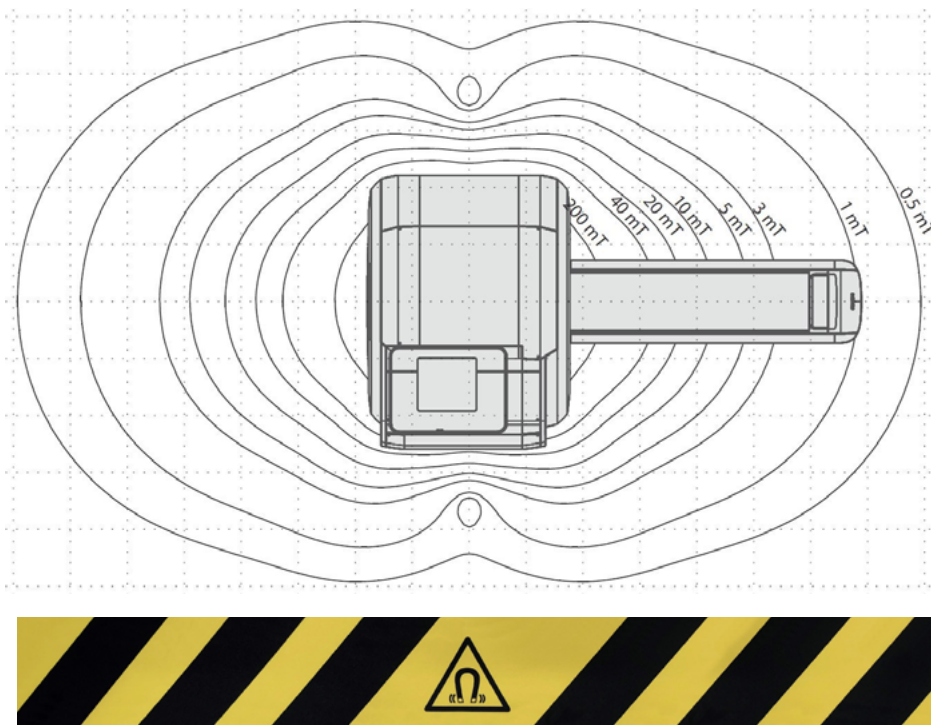


Figure 5 : exemple de courbes de champs magnétiques autour d'un appareil IRM 1,5 T (échelle : carreaux d'un mètre de côté - Source : Siemens) et exemple de bande adhésive pour marquage au sol (© P. Staebler)



Figure 6 : exemples de panneaux de signalisation à l'entrée de la salle d'IRM (© E. Museux)

Société Française de Radioprotection

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

### 7 - CAS DES PORTEURS DE DISPOSITIFS MÉDICAUX ET D'AUTRES ACCESSOIRES POTENTIELLEMENT À RISQUE

#### Les dispositifs médicaux actifs (DMIA)

Il s'agit des implants cardiaques, pacemakers et défibrillateurs, des neurostimulateurs, des implants cochléaires, ou encore des pompes à médicaments (insuline en particulier) qui fonctionnent avec une source d'énergie et de l'électronique. Ils sont donc sensibles aux interférences avec les CEM et peuvent être déprogrammés ou dysfonctionner. Ces équipements peuvent en outre contenir des composants ferromagnétiques ou conducteurs (voir dispositifs passifs).

Les implants cardiaques ont été les plus étudiés car ils sont très répandus dans le monde. Aujourd'hui 4 millions de personnes en sont équipées, dont 500 000 porteurs de stimulateurs en France où environ 70 000 pacemakers et 15 000 défibrillateurs sont implantés chaque année (Fig. 7). Trois marquages sont définis de façon normative (norme ASTM F2503 1) :

- « MR Safe » indique que le dispositif est compatible avec tout type d'IRM sans risque,
- « MR Unsafe » indique qu'il engendre un risque s'il est introduit dans l'IRM,
- « MR Conditional » indique qu'il peut être introduit dans l'IRM sous des conditions précises spécifiées par le fabricant (par exemple passage en « mode IRM » par le cardiologue, conduisant un pacemaker en mode asynchrone dans lequel il stimule le cœur sans tenir compte du rythme cardiaque du patient).

Tous les dispositifs cardiaques commercialisés de nos jours sont compatibles IRM, mais attention, toutes les sondes ne le sont pas (selon leur longueur ou la compatibilité entre elles).



Figure 7 : représentation d'un défibrillateur cardiaque avec sondes (source : Medtronic)

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

Actuellement, les accidents les plus graves sont liés aux interférences avec des pompes à médicament dont le dysfonctionnement peut entraîner un surdosage potentiellement fatal (insuline par exemple). Les pompes externes sont plus vulnérables aux CEM. Enlever le réservoir n'est pas forcément suffisant, du produit résiduel pouvant rester dans les parties internes. Par ailleurs, la pompe peut se magnétiser, surtout après plusieurs passages en IRM, et dysfonctionner par la suite. Des systèmes compatibles IRM apparaissent sur le marché et sont appelés à se développer.

### Les dispositifs médicaux passifs

Les DM passifs sont les prothèses, vis, plaques, stents, clips vasculaires, valves de dérivation, matériel d'orthodontie, mais aussi les boîtiers et sondes de DM actifs... L'évaluation du risque est moins compliquée qu'avec les DMIA. En champ magnétique statique, les DM ferromagnétiques sont susceptibles d'être déplacés. L'effet est moindre pour les dispositifs implantés dans des tissus osseux par rapport à ceux qui se trouvent dans des tissus mous. En champs variables, l'échauffement des composants métalliques conducteurs peut entraîner des lésions des tissus biologiques. Le titane et le carbone sont de plus en plus utilisés, par rapport au cobalt et aux aciers utilisés auparavant. Toutefois, le titane est amagnétique mais conducteur, un implant en titane génère moins d'artefacts sur les images mais n'est a priori pas plus sûr qu'un implant en acier inoxydable. Les métaux les plus conducteurs sont le cuivre et le nickel.

La présence de sondes (volontairement) abandonnées n'ayant pu être retirées lors du renouvellement d'un DMIA représente une contre-indication absolue à l'examen IRM car elles sont susceptibles de créer des boucles de courant.

Parmi les dispositifs répandus, la question de la compatibilité des stérilets est fréquemment posée. Ceux-ci sont soit hormonaux, entièrement en plastique, soit au cuivre comportant donc une petite partie en métal non ferromagnétique. Bien que le cuivre soit conducteur, les radiologues n'ont jamais signalé de problème avec ces dispositifs. De même, les implants dentaires, les plombages, le matériel d'orthodontie ou les prothèses orthopédiques posées depuis plus de 48h de représentent pas une contre-indication pour l'examen IRM. En revanche les patchs (ou timbres) cutanés délivrant des substances actives peuvent comporter une couche d'aluminium et doivent être retirés avant l'examen IRM pour limiter le risque de brûlure..

Dans tous les cas, connaître la nature des matériaux utilisés est crucial. Il est utile de prendre en compte l'ensemble des expositions et leurs effets possibles.

### Autres objets potentiellement à risque

En dehors des DM, la présence de tout objet ou corps étranger métallique présent dans ou sur le corps est à considérer. Notamment chez les patients, il peut s'agir d'éclats (en particulier oculaires), de projectiles, d'objets insérés dans des orifices (par exemple, un boulon a été trouvé dans l'oreille d'un enfant...), de maquillage avec poudre métallique, de piercing ou bijoux, surtout s'ils sont en forme de boucle, ou encore de tatouages dont les encres peuvent contenir des particules métalliques.

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

### L'analyse du risque pour les porteurs de DM

Déterminer la compatibilité IRM des DM n'est pas toujours simple faute de base de données dédiée officielle. L'analyse se fait au cas par cas, qu'il s'agisse d'un patient ou d'un travailleur. A ce jour, on ne connaît aucun implant passif posant un problème pour les travailleurs en IRM. Le risque est plus important pour le patient qui subit une forte exposition au CEM.

Des informations sur la compatibilité et l'immunité des DM passifs et actifs peuvent être recherchées dans les fiches techniques et sur Internet, de préférence sur le site du constructeur de l'implant. La Société française de cardiologie (SFC) propose un outil centralisé d'information sur la compatibilité IRM des implants cardiaques, mis à jour régulièrement (voir liens utiles). La mise en place d'une base de données européenne des dispositifs médicaux implantables (EUDAMED) devrait à terme faciliter la détection d'une éventuelle incompatibilité.

Pour autant, selon une enquête réalisée pour les Journées Francophones de Radiologie 2022 par P.E. Zorn, 70% des radiologues ne sont pas à l'aise pour prendre en charge un patient porteur de DMI. L'analyse individuelle pour chaque patient s'avère très chronophage. Et bien que 74% des DMI soient compatibles IRM, l'examen IRM a été refusé pour 25% des patients qui en portent.

## 8 - CONCLUSION

Avec environ 2,7 millions d'examens réalisés chaque année en France et un nombre très faible d'accidents graves, la technique d'IRM s'avère sûre. Pour les professionnels, le respect du code du travail garantit l'absence de risque pour la santé. Il n'y a pas d'interdiction systématique pour les porteurs de DM, la décision de l'aptitude du salarié à son poste de travail revient au médecin du travail. Contrairement à des idées reçues, les niveaux de référence d'exposition du public aux CEM sont dépassés dans la salle d'IRM, dans un périmètre relativement restreint autour de l'appareil et la VLE professionnelle en champ magnétique statique pour les effets sensoriels est dépassée uniquement pour les appareils d'IRM 3T à proximité du tunnel (et bien sûr à l'intérieur). En outre, des périmètres plus larges sont établis pour les effets indirects avec d'une part la zone d'exclusion pour les porteurs d'un dispositif médical sensible aux CEM (0,5 mT en champ statique) pour qui, en pratique, l'accès à la salle est déconseillé, et d'autre part la zone à risque d'effet projectile (3 mT en champ statique). Pour les patients, la technique d'IRM est une méthode d'imagerie sans risque connu à condition d'observer la plus grande vigilance quant à la présence de corps étrangers métalliques et de dispositifs médicaux implantés ou non.

Les incidents et accidents recensés en IRM sont majoritairement dus aux effets biophysiques indirects liés à l'attraction violente d'objets ainsi qu'aux brûlures et sont, pour la plupart, évitables. Ils résultent souvent d'erreurs par méconnaissance des risques et des mesures de prévention contre les effets des CEM.

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

Cela concerne les personnels du service d'IRM ou d'autres services, puéricultrices, anesthésistes, étudiants, manipulateurs, parents, agents d'entretien et autres corps de métier de passage, etc. De même pour les patients, où les risques proviennent avant tout d'effets indirects mal anticipés.

On ne peut donc qu'insister sur l'importance de l'information du public et des professionnels, et des formations indispensables de tous les professionnels amenés à intervenir dans une salle d'IRM, dont le niveau doit être adapté aux enjeux.

### 9 - POUR EN SAVOIR PLUS, LIENS UTILES

#### Sociétés savantes et institutions

- Société française de radiologie & d'imagerie médicale (SFR), active sur les questions liées à la sécurité IRM : <https://www.radiologie.fr/la-sfr>
- Fédération Nationale des Médecins Radiologues (FNMR) : <https://www.mon-radiologue.fr/>
- Société française de radioprotection, section Rayonnements non ionisants (SFRP, section RNI) : <https://sfrp.asso.fr/rayonnements-non-ionisants/>
- Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) : <https://www.icnirp.org/>
- Institut National de Recherche et de sécurité (INRS) : [Champs électromagnétiques. Ce qu'il faut retenir - Risques - INRS](#)

#### Documents, outils, informations

- HAS, [Évaluation de la compatibilité IRM des dispositifs médicaux implantables par la CNEDiMIS](#) - Mis en ligne le 18 nov. 2021
- INRS, [Oseray - Outil simplifié d'évaluation des risques dus aux rayonnements électromagnétiques et fiche ED 4209](#) (L'imagerie par résonance magnétique).
- CARSAT : pas de site de référence pour les risques professionnels. En cas de besoin, l'INRS dirige vers le centre de mesures physiques d'une CARSAT locale.
- SFC, [IRM compatibilité](#) - dispositifs électroniques cardiaques implantables.
- SFR, vidéo d'information : [Sécurité IRM- informer les patients et les professionnels de santé](#)
- [www.mrisafety.com](http://www.mrisafety.com)
- Journée technique « Prévention des risques des champs magnétiques intenses : IRM - industrie - recherche » Paris, le 6 avril 2023, organisée par la section RNI de la SFRP en partenariat avec la Société française de radiologie & d'imagerie médicale (SFR) et la Société Française de Santé au Travail (SFST). <https://sfrp.asso.fr/les-manifestations/prevention-des-risques-des-champs-magnetiques-intenses-i-r-m-industrie-recherche/>
- Delmas A, Dessale C, Pasquier C, Vetter D, Vuissoz P-A, Felblinger J. 2017. Décret n° 2016-1074 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux champs électromagnétiques. Application à l'imagerie par résonance magnétique. Radioprotection 52(3): 189-197. [https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/full\\_html/2017/03/radiopro160101/radiopro160101.html](https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/full_html/2017/03/radiopro160101/radiopro160101.html)
- IRM et femmes enceintes - Lenoir M., 2021, Recommandations du GRRIF, de la SFIPP et de la SIFEM. <https://sfip-radiopediatrie.org/2021/01/13/recommandations-du-grrif-de-la-sfipp-et-de-la-sifem/>
- Delfino JG, Krainak DM, Flesher SA, Miller DL. MRI-related FDA adverse event reports: A 10-yr review. Med Phys. 2019 Dec;46(12):5562-5571. doi: 10.1002/mp.13768. Epub 2019 Oct 8. PMID: 31419320. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mp.13768>
- Shah A, Aran S (October 19, 2023) A Review of Magnetic Resonance (MR) Safety: The Essentials to Patient Safety. Cureus 15(10): e47345. DOI 10.7759/cureus.47345. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10657250/pdf/cureus-0015-00000047345.pdf>
- American college of radiology, ACR Manual on MR Safety, 2020. <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/MR-Safety/Manual-on-MR-Safety.pdf>
- Nouvelle version à venir : <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/MR-Safety/Manual-on-MR-Safety.pdf>
- ICNIRP, MRI equipment - Static Fields, HF and LF sur ICNIRP.org. <https://www.icnirp.org/en/applications/mri/index.html>

# FICHES TECHNIQUES DE LA SFRFP

Société Française de Radioprotection

## PRÉVENTION DES RISQUES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES LIÉS À L'IRM POUR LES TRAVAILLEURS ET LES PATIENTS

FICHE RÉDIGÉE PAR ANNE PERRIN ET EMMANUEL MUSEUX

### Législation et normes

- *Recommandation du Conseil Européen, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) - Conseil des Communautés européennes. Journal officiel de l'Union européenne n° L 199 du 30/07/1999. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A31999H0519>*
- *Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L. 32 du code des postes et télécommunications et 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. JORF n°105 du 5 mai 2002. Sur [legifrance.gouv.fr](https://www.legifrance.gouv.fr): <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000226401>*
- *Directive 2013/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) et abrogeant la directive 2004/40/CE. Journal officiel de l'Union européenne n° L 179 du 29 juin 2013. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0035&from=FR>*
- *Décret n° 2016-1074 du 3 août 2016 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux champs électromagnétiques. Journal Officiel de la République Française (JORF) du 6 août 2016\*. Sur [legifrance.gouv.fr](https://www.legifrance.gouv.fr): <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT0000032974358>*  
 \*Rectificatif Art R.4453-4 paru au JORF du 8 avril 2017 : <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=ddn0ByGdOgwrcfRNOfeTNHsp3U0FGUobnL-cBCjs28=>
- *Arrêté du 5 décembre 2016 relatif aux grandeurs physiques que représentent les valeurs limites d'exposition professionnelle et les valeurs déclenchant l'action décrivant l'exposition à des champs électromagnétiques en milieu de travail. JORF du 10 décembre 2016. Sur [legifrance.gouv.fr](https://www.legifrance.gouv.fr): <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033560110>*
- *Commission européenne, Direction générale de l'emploi, des affaires sociales et de l'inclusion, Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE « Champs électromagnétiques ». Volume 1, Guide pratique – Publications Office, 2016, <https://data.europa.eu/doi/10.2767/15628>*
- *Commission européenne, Direction générale de l'emploi, des affaires sociales et de l'inclusion, Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE «Champs électromagnétiques». Volume 2, Études de cas – Publications Office, 2016, <https://data.europa.eu/doi/10.2767/724246>*
- *Décret n° 2021-1091 du 18 août 2021 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants et non ionisants. JORF du 20 août 2021. Sur [legifrance.gouv.fr](https://www.legifrance.gouv.fr)*
- *Normes pour la sécurité des dispositifs médicaux en environnement IRM : EN 60601-1-2:2015+A1:2021 et ISO/TS 10974:2018*