



Consensus Tunisien sur la pratique de l'imagerie par résonance magnétique chez les patients porteurs de prothèses intracardiaques

Document élaboré par la Société Tunisienne de Cardiologie et de Chirurgie Cardio-Vasculaire en collaboration avec la Société Tunisienne de Radiologie

Tunisian Consensus document on magnetic resonance imaging in patients with intracardiac devices

A report from the Tunisian Society of Cardiology and Cardiovascular Surgery in collaboration with the Tunisian Society of Radiology

Sana Ouali^{1,12}, Afef Ben Halima^{2,12}, Asma Zidi^{3,12}, Aymen Heraiech^{4,13}, Manel Ben Halima^{1,12}, Fathia Abidi^{3,12}, Emna Allouche^{5,12}, Mehdi Charfi^{6,12}, Imtine Ben Mrad^{7,12}, Selim Boudiche^{1,12}, Younes Arous^{8,12}, Khadija Mzoughi^{7,12}, Saoussen Antit^{9,12}, Chiraz Chammakhi^{10,12}, Meriem Drissa^{11,12}, Habib Ben Ahmed^{5,12}, Lilia Zakhama^{9,12}

1. Service des Explorations Fonctionnelles et de Réanimation Cardiologique, Hôpital La Rabta
2. Service de Cardiologie, Hôpital Abderrahman Mami, Ariana
3. Service de Radiologie, Institut Salah Azaiez
4. Service de Cardiologie, Hôpital Sahloul
5. Service de Cardiologie, Hôpital Charles Nicolle
6. Service de Radiologie, Hôpital des Forces intérieures, La Marsa
7. Service de Cardiologie, Hôpital Habib Thameur
8. Service de Radiologie, Hôpital Militaire de Tunis
9. Service de Cardiologie, Hôpital des Forces de sécurité intérieure, La Marsa
10. Service de Radiologie, Hôpital Habib Thameur
11. Service de Cardiologie adulte, Hôpital La Rabta
12. Faculté de Médecine de Tunis, Université Tunis El Manar, Tunisie.
13. Faculté de Médecine Ibn EL Jazzar de Sousse, Université de Sousse, Tunisie

RÉSUMÉ

Les patients porteurs de dispositifs cardiaques ferromagnétiques particulièrement les dispositifs électroniques cardiaques implantables à type de stimulateurs cardiaques ou de défibrillateurs automatiques implantables se voient souvent privés à tort de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) pour des raisons de sécurité.

Ce document de consensus est rédigé par un groupe de travail multidisciplinaire impliquant des rythmologues, des cardiologues interventionnels, des échographistes et des radiologues. Il a pour objectif d'établir des recommandations de bonne pratique pour optimiser la gestion des patients porteurs de dispositifs cardiaques et nécessitant un examen d'IRM, tout en garantissant la sécurité de ces patients et facilitant leur accès à l'IRM.

Mots Clés : Imagerie par résonance magnétique (IRM), dispositifs cardiaques, stimulateurs cardiaques, défibrillateurs automatiques implantables, prise en charge.

ABSTRACT

Patients with ferromagnetic cardiac devices, particularly cardiac implantable electronic devices (CIED) such as pacemakers or implantable cardioverter defibrillators, are often inappropriately deprived of magnetic resonance imaging (MRI) for safety reasons.

This consensus document is written by a multidisciplinary working group involving rhythmologists, interventional cardiologists, echocardiographers and radiologists.

Its objective is to establish good practice recommendations to optimize the management of patients with cardiac devices requiring MRI examination, while ensuring their safety and facilitating their access to MRI.

Key words: Magnetic resonance imaging, cardiac devices, Pacemakers, Implantable cardioverter defibrillators, management

Correspondance

Sana Ouali

Service des Explorations Fonctionnelles de Réanimation Cardiologique, Hôpital La Rabta

email : sana.ouali@fmt.utm.tn

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est devenue un outil de prise en charge diagnostique et thérapeutique incontournable dans plusieurs situations cliniques. Cependant, l'IRM chez les porteurs de certains dispositifs cardiaques ferromagnétiques peut comporter des risques. Pour cela, la procédure doit être bien codifiée et une collaboration étroite entre cardiologue et radiologue est obligatoire.

Ce consensus entre les sociétés savantes de cardiologie et de radiologie présente des lignes directrices pour optimiser la gestion des patients porteurs de dispositifs cardiaques et nécessitant un examen d'IRM. L'objectif est de garantir la sécurité des patients porteurs de dispositifs cardiaques et de faciliter leur accès à l'IRM.

Plusieurs termes sont utilisés :

- IRM safe : si le dispositif peut être introduit dans tout type d'IRM sans risques.
- IRM compatible ou « conditional » : si le dispositif peut être introduit dans un environnement IRM sans risques avec des conditions particulières.
- IRM non compatible ou « non-conditional » : si le dispositif n'a pas été déclaré IRM safe ou IRM compatible.

2. LES DISPOSITIFS ÉLECTRONIQUES CARDIAQUES IMPLANTABLES (CIED)

Lors d'un examen IRM, des champs électromagnétiques puissants sont utilisés pour créer l'image et sont susceptibles d'induire des effets potentiellement dangereux chez les patients porteurs de pacemakers (PM) et de défibrillateurs automatiques implantables (DAI).

2.1. Quels sont les risques théoriques encourus chez les porteurs de CIED lors d'une IRM?

a. Risque de déplacement du boîtier et des sondes

Le risque de déplacement du dispositif dans sa loge est théorique car le contenu ferromagnétique de ces CIED est si bas qu'il n'a souvent aucune conséquence clinique. Au pire le patient présente des sensations de vibrations ou de brûlures thoraciques (1).

De même, les sondes ne sont pas affectées par les champs magnétiques statiques car elles n'ont pas de matériaux ferromagnétiques, éliminant ainsi la possibilité de déplacement et de perte de capture ou de stimulation (2).

b. La déprogrammation ("Reset") en mode secours

Il s'agit d'un type spécifique de reprogrammation qui rétablit les réglages d'usine lorsque la tension de la batterie est inférieure à un niveau critique ou si des dommages des circuits sont détectés. Les paramètres auxquels l'appareil revient, sont différents selon les fabricants. De nombreux appareils se réinitialisent en mode inhibition pour la stimulation avec réinitialisation des thérapies anti-tachycardiques pour le DAI. Ceci peut être problématique si un courant induit est détecté sous forme d'activité cardiaque intrinsèque rapide et pourrait entraîner l'inhibition de la stimulation chez un patient stimulo-dépendant ou déclencher une thérapie inappropriée par le DAI par détection d'interférences électromagnétiques (3) partly because of the potential for «power-on reset» (PoR).

c. Déplétion transitoire de la batterie et détérioration définitive du DAI

Dans le cas du DAI, le noyau ferromagnétique du transformateur du circuit de charge devient saturé sous l'effet du champ magnétique allongeant le temps de charge des condensateurs pouvant déclencher une alerte de fin de vie du dispositif.

L'appareil peut aussi tenter à plusieurs reprises de se charger et de se décharger et vider ainsi définitivement sa batterie (4).

d. Augmentation transitoire du seuil de stimulation

L'énergie haute fréquence délivrée lors de l'examen d'IRM est dissipée dans tout le corps, mais du fait de la présence de la sonde, l'énergie va se concentrer sur l'interface sonde/myocarde et sera convertie en chaleur. Ce phénomène peut causer un échauffement de cette interface pouvant entraîner une perte de capture par élévation du seuil de stimulation (5,6).

2.2. Quelle est l'incidence de ces complications dans la vraie vie ?

Aucun décès ni dysfonction de sondes ou arythmie ventriculaire n'ont été rapportés sur des registres internationaux à large échelle. Les effets potentiellement graves décrits ci-dessus restent théoriques. Cependant, quelques cas de déprogrammation en mode secours, de variations de seuils de stimulation, de détection et d'impédance ont été notés, sans conséquence clinique (7,8).

2.3. Quelles sont les règles de bonnes pratiques ?

Différentes sociétés savantes autorisent les patients

porteurs de CIED à passer un examen IRM. Plusieurs consensus ont été proposés (8–10).

Des règles de bonne pratique communes sont indiquées :

- Des patients correctement sélectionnés avec une indication formelle à l'IRM.
- Une organisation bien définie du circuit des patients, avec des référents bien identifiés.
- Une communication entre prescripteur, rythmologue et radiologue, est indispensable pour mieux cerner les indications et limiter les risques avec des procédures bien codifiées avant, pendant et après l'examen avec des patients. (Annexe 1 et figure 1)
- Réaliser l'examen avec une machine IRM idéalement 1,5 T
- Faire une radiographie de thorax avant l'examen

- Une check-list d'éléments à ne pas oublier afin de minimiser les risques de complications et d'améliorer la sécurité des patients (Annexe 2).

a. Information du patient/consentement éclairé pour les porteurs de CIED.

Le patient doit être spécifiquement informé des circonstances et risques suivants :

- L'examen IRM d'un patient porteur d'un CIED «IRM non compatible» se fait sur la base d'une décision prise au cas par cas par le médecin prescripteur.
- L'examen IRM d'un patient porteur d'un système d'un CIED présente des risques potentiels hypothétiques d'endommagement du système CIED pouvant nécessiter un remplacement.

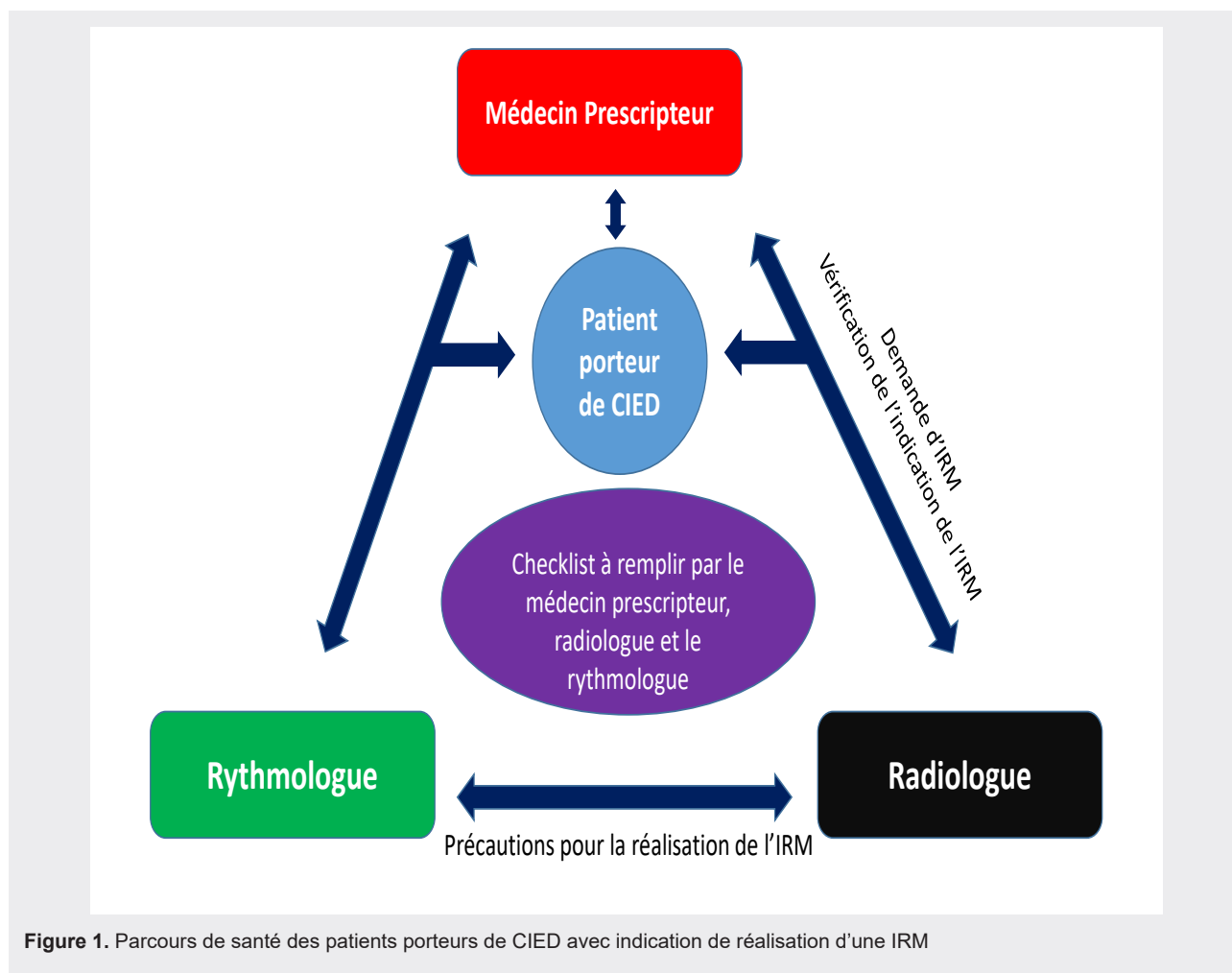


Figure 1. Parcours de santé des patients porteurs de CIED avec indication de réalisation d'une IRM

b. Programmation du dispositif :

- Dispositif IRM non compatible (Figure 2 et 3)

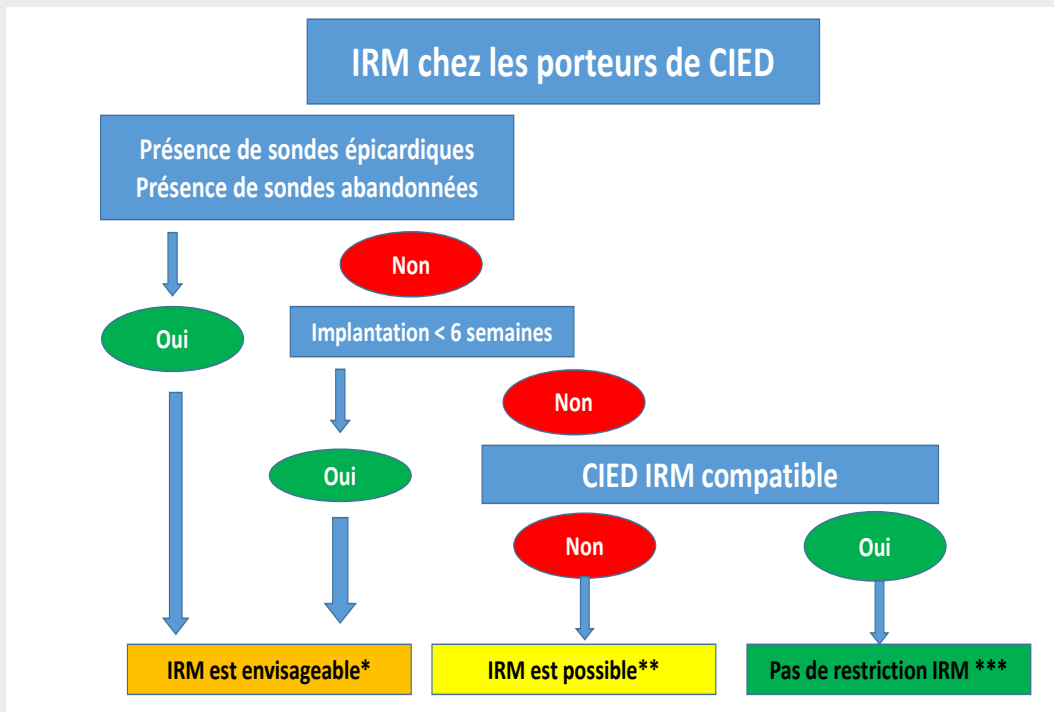


Figure 2. Algorithme décisionnel de l'indication de l'IRM chez les porteurs de CIED

* : au cas par cas : l'apport de l'IRM dépasse le risque éventuel encouru (peu de preuve mais possible selon études vraie vie

** : au cas par cas : pas de technique d'imagerie alternative

*** : l'indication de l'IRM doit être, dans tous les cas, formelle

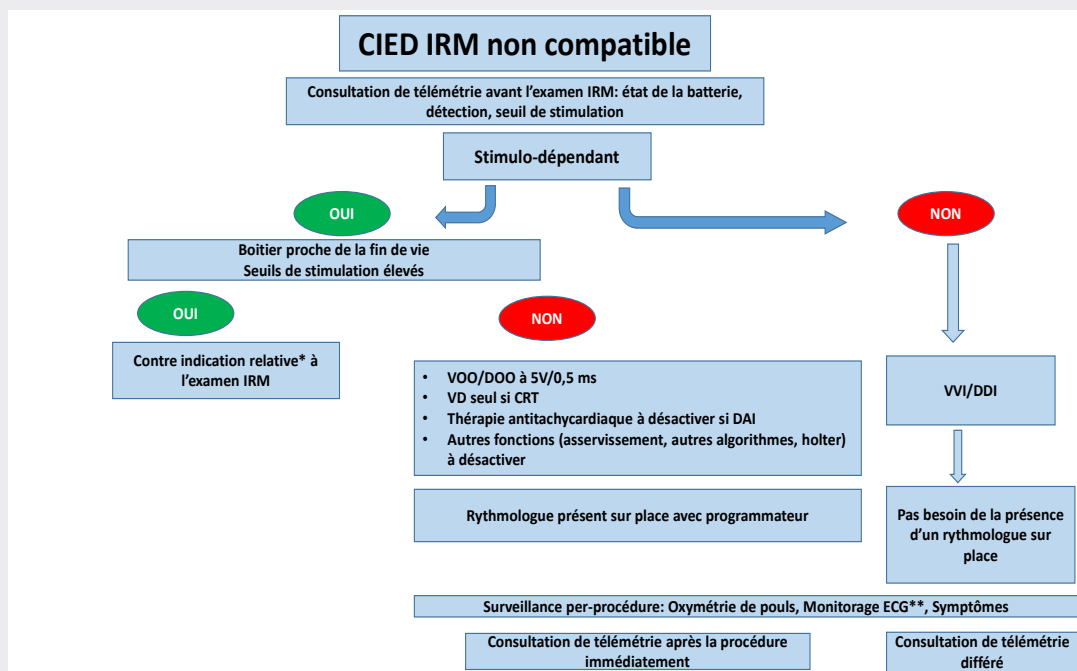


Figure 3. Protocole de réalisation CIED IRM non compatible

* : discuter le changement de boîtier et/ou les sondes avant l'examen de l'IRM si l'indication est formelle

** : le tracé ECG sera parasité pendant l'application des champs magnétiques mais le monitoring ECG pendant les pauses d'application est de grand intérêt.

Les règles de programmation du dispositif IRM non compatible sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Recommandations concernant la reprogrammation et la surveillance chez les patients porteurs d'un CIED IRM non compatible avant une imagerie par résonance magnétique.

Statut du patient	Mode IRM	Programmation pré-IRM	Monitoring pendant l'IRM	Reprogrammation post IRM
Patient stimulo-dépendant	D00, V00 à 5V/0.5ms Désactiver les algorithmes : asservissement, hystérésis	Le même jour que l'IRM	Présence d'un cardiologue obligatoire	Immédiatement et après l'IRM
Patient non stimulo-dépendant	VVI, DDI	Dans les 48 heures avant l'IRM	Personnel médical qualifié présent, cardiologue disponible en cas d'urgence	Immédiatement et après l'IRM
Patient porteur de CRT non stimulo-dépendant	Programmer stimulation VD seule (VVI ou DDI)	Dans les 48 heures avant l'IRM	Personnel médical qualifié présent, cardiologue disponible en cas d'urgence	Immédiatement et après l'IRM
Patient porteur de CRT stimulo-dépendant	D00, V00 à 5V/0.5ms Désactiver les algorithmes : asservissement, hystérésis	Le même jour que l'IRM	Présence d'un cardiologue obligatoire	Immédiatement et après l'IRM
Patient porteur de DAI	Désactiver les thérapies	Le même jour que l'IRM	Présence d'un cardiologue obligatoire	Immédiatement et après l'IRM

CRT : stimulation par thérapie de resynchronisation cardiaque, DAI : Défibrillateur automatique implantable, DOO : mode de stimulation double chambre asynchrone, VOO : mode de stimulation asynchrone ventriculaire

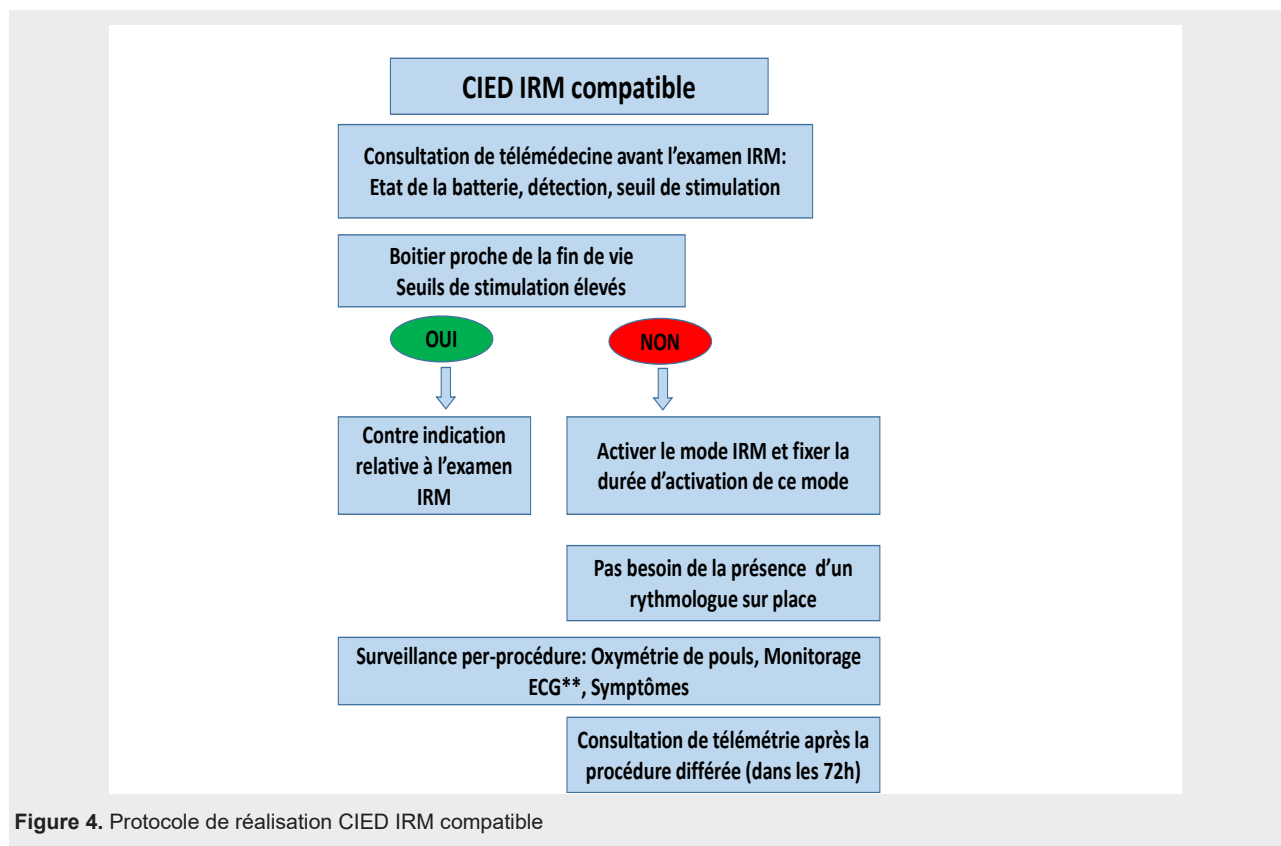


Figure 4. Protocole de réalisation CIED IRM compatible

* : discuter le changement de boitier et/ou les sondes avant l'examen de l'IRM si l'indication est formelle

** : le tracé ECG sera parasité pendant l'application des champs magnétiques mais le monitoring ECG pendant les pauses d'application est de grand intérêt.

Les CIED IRM compatibles ont été conçus pour limiter les risques potentiels des champs magnétiques sur le matériel et le patient. Une diminution du nombre de composants ferromagnétiques, une protection des circuits internes d'alimentation et du hardware ont permis d'atténuer la sensibilité aux champs magnétiques et d'éviter le passage en mode secours.

Un CIED est considéré comme IRM compatible, lorsque à la fois le boîtier et les sondes sont IRM compatibles et appartiennent à la même marque avec des spécificités requises pour chaque fabricant. La présence d'éventuels composants IRM non compatibles telles que les sondes abandonnées, fracturées ou épiscopales rendent le CIED IRM non compatible. Un système combinant des composants de différents fabricants, même si chaque composant est IRM compatible, peut être considéré comme IRM compatible non garanti «MR-conditional non-guaranteed CIEDs» (11). Néanmoins, les dispositifs implantés par voie trans-veineuse et dans la région prépectorale sont considérés IRM compatibles. Une programmation manuelle en mode IRM est nécessaire avant l'examen. Une reprogrammation en mode de stimulation habituelle doit être envisagée après l'imagerie. Les nouvelles générations permettent un switch automatique lorsque le champ magnétique est détecté (10,12,13). Il est impératif d'identifier tous les composants du système et de vérifier s'ils ont le label « IRM compatible » selon le constructeur. Une programmation avant et une reprogrammation après l'IRM sont recommandées.

c. Surveillance pendant l'examen

Un élément de sécurité déterminant dans la gestion procédurale des patients porteurs de CIED est une surveillance adéquate des fonctions vitales afin de détecter et de traiter précocement d'éventuelles complications, en particulier la survenue de tachycardies et de bradyarythmies.

- Surveillance continue de l'oxymétrie de pouls.
- Surveillance ECG supplémentaire via un ECG compatible à l'IRM doit être obtenu pendant les pauses d'imagerie par résonance magnétique.
- La disponibilité sur site d'un défibrillateur externe.
- En cas d'urgence, toute intervention pour les patients nécessitant l'utilisation d'un défibrillateur externe ou d'un programmateur ou d'un autre équipement d'urgence avec des composants ferromagnétiques doit être effectuée en dehors de la salle d'examen IRM.

- Dans le cas où les dispositifs sont IRM compatibles la présence d'un rythmologue ou d'un cardiologue ayant une expérience dans la programmation des dispositifs n'est pas obligatoire.

- Règles générales pour les examens d'IRM chez les patients porteurs de CIED :

- Raccourcir le temps d'acquisition et limiter le protocole de séquences à la question clinique posée.

- Réduire le temps d'écho et utiliser des séquences spin écho rapide pour améliorer la qualité des images.

2.4. Cas particuliers

a. Implantation récente < 6 semaines

Le but d'une période d'attente après l'implantation est de permettre l'obtention de seuils de stimulation stables et d'éviter les défauts de capture en cas d'échauffement de l'interface sonde/ myocarde.

Aucune complication majeure, ni élévation des troponines ni modification des seuils n'ont été rapportées en cas de pratique d'un examen d'IRM urgent après implantation récente d'un dispositif (14).

b. Sondes épiscopales ou abandonnées

Elles sont exclues des études en raison d'un possible échauffement imprévisible.

Quelques études observationnelles indiquent un risque faible de l'IRM chez les patients ayant des sondes abandonnées (15,16).

c. Examens IRM successives

La réalisation en série d'examen IRM y compris thoraciques n'a pas entraîné de changements significatifs des paramètres des sondes ni du boîtier (17,18).

d. IRM thoracique et cardiaque

La réticence à la réalisation d'une IRM cardiaque chez un porteur de CIED serait expliquée par le fait que l'excès d'énergie à proximité de la prothèse pourrait entraîner des complications plus sévères.

Là aussi, la plupart des études incluant des IRM thoracique et cardiaque ont eu un profil de sécurité équivalent à celui d'une IRM extra thoracique (19).

3. LES RISQUES ENCOURUS PAR LES PATIENTS PORTEURS DE PROTHÈSES VALVULAIRES

3.1 L'IRM peut-elle être réalisée chez les patients porteurs de prothèses valvulaires cardiaques ?

Les patients porteurs de prothèses valvulaires (biologiques, mécaniques, anneaux, prothèse TAVI) peuvent bénéficier d'une IRM à 1,5 T/64 MHz ou 3 T/128 MHz quelle que soit la valeur du champ magnétique (20,21).

L'armature métallique peut toutefois entraîner des artefacts. La qualité de l'image dépend de la composition ferromagnétique de la prothèse (22).

3.2. Quels sont les risques encourus par les patients porteurs de prothèses valvulaires cardiaques ?

Les forces exercées sur les prothèses cardiaques lors de la réalisation d'une IRM entre 1.5 et 3T sont moindres que celles exercées par les forces de gravité ou les contractions cardiaques ou le flux sanguin pulsatile (23). Les changements de température des impulsions de radiofréquence sont également considérés comme minimes (24).

Aucun événement indésirable n'a été signalé en rapport avec la réalisation de l'IRM jusqu'à 3 T chez les patients porteurs de prothèses valvulaires cardiaques.

a. Les prothèses valvulaires mécaniques

Les prothèses valvulaires mécaniques sont composées d'une variété de métaux (alliage de titane, chrome-cobalt, nitinol, acier inoxydable...). De nombreuses études se sont intéressées aux prothèses valvulaires mécaniques à bille de Starr Edwards, à disque basculant et à doubles ailettes. Aucun effet indésirable n'a été observé lors de la réalisation de l'IRM entre 1.5 et 3 T chez les porteurs de ces prothèses (23,25–30).

Elles sont étiquetées IRM safe ou IRM compatibles.

b. Les bioprothèses

Les bioprothèses sont principalement composées de matériaux non métalliques (généralement tissus porcins ou péricarde bovin) mais peuvent contenir de petites quantités de métal utilisées pour les anneaux d'échafaudage. Aucun effet indésirable n'a été observé lors de la réalisation de l'IRM entre 1.5 et 3 T chez les porteurs de bioprothèses (23,25–27,29–31).

Elles sont étiquetées IRM safe ou IRM compatibles.

c. Les anneaux tricuspides

Certains anneaux d'annuloplastie ne contiennent pas de métal, tandis que d'autres peuvent être composés en partie de titane, chrome cobalt et autres matériaux métalliques. Aucun effet indésirable n'a été observé lors de la réalisation de l'IRM entre 1.5 et 3 T chez les porteurs d'anneaux tricuspides (23,32).

Ils sont étiquetés IRM safe ou IRM compatibles.

d. Les bioprothèses aortiques implantées par voie percutanée

De même que les bioprothèses, celles implantées par voie percutanée ne sont associées à aucun effet indésirable lors de la réalisation de l'IRM entre 1.5 et 3 T (32,33).

Elles sont étiquetées IRM safe ou IRM compatibles.

e. Les clips valvulaires:

L'IRM cardiaque est également faisable et sans risque chez les patients ayant eu une plastie percutanée mitrale (Mitraclip) (34–36).

Ils sont étiquetés IRM compatibles.

3.3. Dans quel délai post-implantation l'IRM peut-elle être réalisée ?

L'IRM peut être réalisée immédiatement après l'implantation de prothèses valvulaires cardiaques ou annuloplasties (20).

4. DISPOSITIFS DE FERMETURE DE DÉFECTS SEPTAUX ET DE L'AURICULE GAUCHE

Douze différents dispositifs de fermeture de défaut septal ont été étudiés in vitro par Shellock et al.(37). Les interactions ferromagnétiques, le torque du dispositif, le réchauffement et les artefacts étaient tous liés au type et à la quantité de métal utilisé dans les prothèses (acier inoxydable ferromagnétique vs nickel, cobalt, chrome et alliage de molybdène non ferromagnétiques)(37,38).

Même pour les dispositifs ferromagnétiques, seules des forces de translation et un échauffement mineurs ont été notés. L'IRM des dispositifs de fermeture septale est considérée comme sûre. Cependant, s'il existe une incertitude sur la qualité d'amarrage d'un dispositif de fermeture septale de type ferromagnétique, l'IRM doit être évitée devant le risque potentiel de luxation et de migration du dispositif.

Enfin, un délai de 6 semaines après l'implantation est suggéré pour permettre l'endothélialisation et la fixation ferme du dispositif de fermeture avant l'IRM (39).

Vis-à-vis des dispositifs de fermeture de l'auricule gauche, et à l'instar des occluders intra-cardiaques non ferromagnétiques à base de nitinol, l'IRM était sûre dans l'étude pilote de Mohrs et al. (40) en respectant le délai de 6 semaines recommandé afin d'assurer la fixation de la prothèse au tissu endocardique (38)

5. IRM ET STENTS CORONAIRES

La plupart des stents coronaires sont constitués de matériaux ayant peu ou pas de propriétés ferromagnétiques, tels que le titane, l'acier inoxydable ou le nitinol. Des études in vitro et in vivo ont montré une interférence ferromagnétique faible sans mouvement du stent pendant l'IRM (41,42). Un faible échauffement du stent (<1°C) a été décrit in vitro à 3,0-T, mais in vivo, cet effet est probablement annulé par l'effet de dissipation thermique par le flux sanguin (43).

Ainsi, dans la revue de Symons et al. (44), l'IRM est décrite comme étant sûre chez les patients porteurs d'endoprothèses coronaires. Dans plusieurs études, l'IRM a été réalisée sans complications au cours de la première semaine après implantation de stent, malgré qu'un délai minimal de 8 semaines soit recommandé par les fabricants après pose de stent (44,45). Les études de suivi à long terme n'ont pas montré d'augmentation du risque de thrombose tardive de stent, quel que soit le type de stent conventionnel ou actif (46,47).

Résumé

- Les contre-indications de l'IRM évoluent au gré des progrès des dispositifs implantables.
- Il est possible de faire passer une IRM à un patient porteur d'un CIED marqué comme « IRM compatible »
- Si l'IRM est incontournable chez un patient porteur d'un CIED non compatible, la présence d'un stimulateur est indispensable
- Toutes les prothèses valvulaires cardiaques, exceptées les plus anciennes, sont compatibles à l'IRM.
- Les stents intravasculaires, les filtres et les systèmes d'occlusion sont compatibles à l'IRM.

RÉFÉRENCES

1. Luechinger R, Duru F, Scheidegger MB, Boesiger P, Candinas R. Force and Torque Effects of a 1.5-Tesla MRI Scanner on Cardiac Pacemakers and ICDs. *Pacing Clin Electrophysiol* [Internet]. 2001 Feb 1 [cited 2021 Dec 19];24(2):199–205. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1460-9592.2001.00199.x>
2. Irnich W. Risks to pacemaker patients undergoing magnetic resonance imaging examinations. *Europace* [Internet]. 2010 [cited 2021 Dec 19];12(7):918–20. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20488860/>
3. Higgins J V., Sheldon SH, Watson RE, Dalzell C, Acker N, Cha YM, et al. "Power-on resets" in cardiac implantable electronic devices during magnetic resonance imaging. *Hear Rhythm* [Internet]. 2015 Mar 1 [cited 2021 Dec 19];12(3):540–4. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25460173/>
4. Maffè S, Paffoni P, Perucca A, Signorotti F, Dellavesa P, Parravicini U. Pseudo "end of life" indication after electromagnetic field exposure: an unusual effect of magnetic resonance imaging on implanted cardioverter defibrillator. *Int J Cardiol* [Internet]. 2012 Apr 19 [cited 2021 Dec 19];156(2). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21906826/>
5. Achenbach S, Moshage W, Diem B, Biebler T, Schibgilla V, Bachmann K. Effects of magnetic resonance imaging on cardiac pacemakers and electrodes. *Am Heart J* [Internet]. 1997 [cited 2021 Dec 19];134(3):467–73. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9327704/>
6. Luechinger R, Zeijlemaker VA, Pedersen EM, Mortensen P, Falk E, Duru F, et al. In vivo heating of pacemaker leads during magnetic resonance imaging. *Eur Heart J* [Internet]. 2005 Feb [cited 2021 Dec 19];26(4):376–83. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15618060/>
7. Russo RJ, Costa HS, Silva PD, Anderson JL, Arshad A, Biederman RWW, et al. Assessing the Risks Associated with MRI in Patients with a Pacemaker or Defibrillator. *N Engl J Med* [Internet]. 2017 Feb 23 [cited 2021 Dec 19];376(8):755–64. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28225684/>
8. Nazarian S, Hansford R, Rahsepar AA, Weltin V, McVeigh D, Gucuk Ipek E, et al. Safety of Magnetic Resonance Imaging in Patients with Cardiac Devices. *N Engl J Med* [Internet]. 2017 Dec 28 [cited 2021 Dec 19];377(26):2555–64. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29281579/>
9. Sommer T, Bauer W, Fischbach K, Kolb C, Luechinger R, Wiegand U, et al. MR Imaging in Patients with Cardiac Pacemakers and Implantable Cardioverter Defibrillators. *Rofo* [Internet]. 2017 Jan 31 [cited 2021 Dec 19];189(3):204–17. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28201839/>
10. Aktaa S, Abdin A, Arbelo E, Burri H, Vernooy K, Blomström-Lundqvist C, et al. European Society of Cardiology Quality Indicators for the care and outcomes of cardiac pacing: developed by the Working Group for Cardiac Pacing Quality Indicators in collaboration with the European Heart Rhythm Association of the European Society of Cardiology. *Europace*

- [Internet]. 2021 Aug 29 [cited 2021 Dec 19]; Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34455442/>
11. Gandjbakhch E, Dacher JN, Taieb J, Chauvin M, Anselme F, Bartoli A, et al. Joint Position Paper of the Working Group of Pacing and Electrophysiology of the French Society of Cardiology and the French Society of Diagnostic and Interventional Cardiac and Vascular Imaging on magnetic resonance imaging in patients with cardiac electronic implantable devices. *Arch Cardiovasc Dis* [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2021 Dec 19];113(6–7):473–84. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32473997/>
 12. Almeida AG, António N, Saraiva C, Ferreira AM, Reis AH, Marques H, et al. Consensus document on magnetic resonance imaging in patients with cardiac implanted electronic devices. *Rev Port Cardiol* [Internet]. 2021 Jan 1 [cited 2021 Dec 19];40(1):41–52. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33342713/>
 13. Lebel K, Mondesert B, Robillard J, Pham M, Terrone D, Tan S. 2020 MR Safety for Cardiac Devices: An Update for Radiologists [Formula: see text]. *Can Assoc Radiol J* [Internet]. 2021 Nov 1 [cited 2021 Dec 19];72(4):814–30. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33231493/>
 14. Friedman HL, Acker N, Dalzell C, Shen WK, Asirvatham SJ, Cha YM, et al. Magnetic resonance imaging in patients with recently implanted pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* [Internet]. 2013 Sep [cited 2021 Dec 19];36(9):1090–5. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23826621/>
 15. Higgins J V., Gard JJ, Sheldon SH, Espinosa RE, Wood CP, Felmlee JP, et al. Safety and outcomes of magnetic resonance imaging in patients with abandoned pacemaker and defibrillator leads. *Pacing Clin Electrophysiol* [Internet]. 2014 Oct 1 [cited 2021 Dec 19];37(10):1284–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24809591/>
 16. Padmanabhan D, Kella DK, Mehta R, Kapa S, Deshmukh A, Mulpuru S, et al. Safety of magnetic resonance imaging in patients with legacy pacemakers and defibrillators and abandoned leads. *Hear Rhythm* [Internet]. 2018 Feb 1 [cited 2021 Dec 19];15(2):228–33. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29045806/>
 17. Naehle CP, Strach K, Thomas D, Meyer C, Linhart M, Bitaraf S, et al. Magnetic resonance imaging at 1.5-T in patients with implantable cardioverter-defibrillators. *J Am Coll Cardiol* [Internet]. 2009 Aug 4 [cited 2021 Dec 19];54(6):549–55. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19643318/>
 18. Junttila MJ, Fishman JE, Lopera GA, Pattany PM, Velazquez DL, Williams AR, et al. Safety of serial MRI in patients with implantable cardioverter defibrillators. *Heart* [Internet]. 2011 Nov [cited 2021 Dec 19];97(22):1852–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21873440/>
 19. Buendía F, Cano Ó, Sánchez-Gómez JM, Igual B, Osca J, Sancho-Tello MJ, et al. Cardiac magnetic resonance imaging at 1.5 T in patients with cardiac rhythm devices. *Europace* [Internet]. 2011 Apr [cited 2021 Dec 19];13(4):533–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21227955/>
 20. Levine GN, Gomes AS, Arai AE, Bluemke DA, Flamm SD, Kanal E, et al. Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: an American Heart Association scientific statement from the Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology, and the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention: endorsed by the American College of Cardiology Foundation, the North American Society for Cardiac Imaging, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation* [Internet]. 2007 Dec [cited 2021 Dec 19];116(24):2878–91. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18025533/>
 21. MRI Safety Home [Internet]. [cited 2021 Dec 19]. Available from: <http://www.mrisafety.com/>
 22. Shellock FG, Morisoli SM. Ex vivo evaluation of ferromagnetism, heating, and artifacts produced by heart valve prostheses exposed to a 1.5-T MR system. *J Magn Reson Imaging* [Internet]. 1994 [cited 2021 Dec 19];4(5):756–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7981523/>
 23. Shellock FG. Prosthetic heart valves and annuloplasty rings: assessment of magnetic field interactions, heating, and artifacts at 1.5 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson* [Internet]. 2001 [cited 2021 Dec 19];3(4):317–24. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11777223/>
 24. Hassler M, Le Bas JF, Wolf JE, Contamin C, Waksman B, Coulomb M. Effects of magnetic fields used in MRI on 15 prosthetic heart valves. *J Radiol* [Internet]. 1986 [cited 2021 Dec 19];67(10):661–6. Available from: http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:18031855
 25. Randall PA, Kohman LJ, Scalzetti EM, Szeverenyi NM, Panicek DM. Magnetic resonance imaging of prosthetic cardiac valves in vitro and in vivo. *Am J Cardiol* [Internet]. 1988 Nov 1 [cited 2021 Dec 19];62(13):973–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3177245/>
 26. Soulen RL, Budinger TF, Higgins CB. Magnetic resonance imaging of prosthetic heart valves. *Radiology* [Internet]. 1985 [cited 2021 Dec 19];154(3):705–7. Available from:

- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3969474/>
27. Edwards M-B, Taylor KM, Shellock FG. Prosthetic Heart Valves: Evaluation of Magnetic Field Interactions, Heating, and Artifacts at 1.5 T. *J Magn Reson Imaging*. 2000;12:363–9.
 28. Condon B, Hadley DM. Potential MR Hazard to Patients With Metallic Heart Valves: The Lenz Effect. *Imaging*. 2000;12:171–6.
 29. Pruefer D, Kalden P, Schreiber W, Dahm M, Buerke M, Thelen M, et al. In vitro investigation of prosthetic heart valves in magnetic resonance imaging: evaluation of potential hazards. *J Heart Valve Dis [Internet]*. 2001 May 1 [cited 2021 Dec 19];10(3):410–4. Available from: <https://europepmc.org/article/med/11380110>
 30. Prasad SK, Pennell DJ. Safety of cardiovascular magnetic resonance in patients with cardiovascular implants and devices. *Heart [Internet]*. 2004 Nov [cited 2021 Dec 19];90(11):1241–4. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15486111/>
 31. Maragiannis D, Jackson MS, Flores-Arredondo JH, Autry K, Schutt RC, Alvarez PA, et al. Functional Assessment of Bioprosthetic Aortic Valves by CMR. *JACC Cardiovasc Imaging [Internet]*. 2016 Jul 1 [cited 2021 Dec 19];9(7):785–93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27184505/>
 32. Myers PO, Kalangos A, Panos A. Safety of magnetic resonance imaging in cardiac surgery patients: annuloplasty rings, septal occluders, and transcatheter valves. *Ann Thorac Surg [Internet]*. 2012 Mar [cited 2021 Dec 19];93(3):1019. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22365008/>
 33. Saeedi M, Thomas A, Shellock FG. Evaluation of MRI issues at 3-Tesla for a transcatheter aortic valve replacement (TAVR) bioprosthesis. *Magn Reson Imaging [Internet]*. 2015 May 1 [cited 2021 Dec 19];33(4):497–501. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25620522/>
 34. Krumm P, Zuern CS, Wurster TH, Mangold S, Klumpp BD, Henning A, et al. Cardiac magnetic resonance imaging in patients undergoing percutaneous mitral valve repair with the MitraClip system. *Clin Res Cardiol [Internet]*. 2014 [cited 2021 Dec 19];103(5):397–404. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24477865/>
 35. Hamilton-Craig C, Strugnell W, Gaikwad N, Ischenko M, Speranza V, Chan J, et al. Quantitation of mitral regurgitation after percutaneous MitraClip repair: comparison of Doppler echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging. *Ann Cardiothorac Surg [Internet]*. 2015 [cited 2021 Dec 19];4(4):341–51. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26309843/>
 36. Gajjar K, Kashyap K, Badlani J, Williams RB, Biederman RWW. A review of the pivotal role of cardiac MRI in mitral valve regurgitation. *Echocardiography [Internet]*. 2021 Jan 1 [cited 2021 Dec 19];38(1):128–41. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33270944/>
 37. Shellock FG, Morisoli SM. Ex vivo evaluation of ferromagnetism and artifacts of cardiac occluders exposed to a 1.5-T MR system. *J Magn Reson Imaging [Internet]*. 1994 [cited 2021 Dec 19];4(2):213–5. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8180463/>
 38. Bock M, Mohrs OK, Voiglaender T, Kauczor HU, Semmler W. [MRI safety aspects and artifacts of atrial septal defect and patent foramen ovale occluders at 1.5 tesla: a phantom study]. *Rofo [Internet]*. 2006 Mar [cited 2021 Dec 19];178(3):272–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16508833/>
 39. Symons R, Zimmerman SL, Bluemke DA. CMR and CT of the Patient With Cardiac Devices: Safety, Efficacy, and Optimization Strategies. *JACC Cardiovasc Imaging [Internet]*. 2019 May 1 [cited 2021 Dec 19];12(5):890–903. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31072517/>
 40. Mohrs OK, Wunderlich N, Petersen SE, Pottmeyer A, Kauczor HU. Contrast-enhanced CMR in patients after percutaneous closure of the left atrial appendage: a pilot study. *J Cardiovasc Magn Reson [Internet]*. 2011 [cited 2021 Dec 19];13(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21726450/>
 41. Scott NA, Pettigrew RI. Absence of movement of coronary stents after placement in a magnetic resonance imaging field. *Am J Cardiol [Internet]*. 1994 May 1 [cited 2021 Dec 19];73(12):900–1. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8184819/>
 42. Hug J, Nagel E, Bornstedt A, Schnackenburg B, Oswald H, Fleck E. Coronary arterial stents: safety and artifacts during MR imaging. *Radiology [Internet]*. 2000 [cited 2021 Dec 19];216(3):781–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10966711/>
 43. Shellock FG, Forder JR. Drug eluting coronary stent: in vitro evaluation of magnet resonance safety at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson [Internet]*. 2005 [cited 2021 Dec 19];7(2):415–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15881523/>
 44. Symons R, Pontone G, Schwitter J, Francone M, Iglesias JF, Barison A, et al. Long-Term Incremental Prognostic Value of Cardiovascular Magnetic Resonance After ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: A Study of the Collaborative Registry on CMR in STEMI. *JACC Cardiovasc Imaging*

- [Internet]. 2018 Jun 1 [cited 2021 Dec 19];11(6):813–25. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28823746/>
45. Gerber TC, Fasseas P, Lennon RJ, Valeti VU, Wood CP, Breen JF, et al. Clinical safety of magnetic resonance imaging early after coronary artery stent placement. *J Am Coll Cardiol* [Internet]. 2003 Oct 1 [cited 2021 Dec 19];42(7):1295–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14522498/>
 46. Porto I, Selvanayagam J, Ashar V, Neubauer S, Banning AP. Safety of magnetic resonance imaging one to three days after bare metal and drug-eluting stent implantation. *Am J Cardiol* [Internet]. 2005 Aug 1 [cited 2021 Dec 19];96(3):366–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16054459/>
 47. Syed MA, Carlson K, Murphy M, Ingkanisorn WP, Rhoads KL, Arai AE. Long-term safety of cardiac magnetic resonance imaging performed in the first few days after bare-metal stent implantation. *J Magn Reson Imaging* [Internet]. 2006 Nov [cited 2021 Dec 19];24(5):1056–61. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17036357/>

Annexe 1. Checklist à remplir par le médecin prescripteur, radiologue et le rythmologue avant la réalisation d'une IRM chez le patient porteur de CIED.



STCCCV
Société Tunisienne de Cardiologie
& de Chirurgie Cardio-Vasculaire



STR
Société Tunisienne
de Radiologie

**Demande spécifique d'IRM chez un patient porteur d'un
Pace Maker ou d'un Défibrillateur Automatique Implantable**

Nom : Prénoms

Date de Naissance N° Tél

Médecin prescripteur : Date, signature et cachet

IRM :

Indication :
.....
.....

Médecin Cardiologue-Rythmologue : Date, signature et cachet

Matériel implanté (Joindre OBLIGATOIREMENT la référence du matériel)

Pace maker :

Défibrillateur :

Sondes abandonnées/ épiscopiques

Compatible Non compatible

Date d'implantation :

Nécessité d'une programmation avant et après IRM : Oui Non

Nécessité de la présence du cardiologue durant l'examen : Sur place Joignable

Médecin Radiologue : Date, signature et cachet

Alternative radiologique proposée

Annexe 2: La check liste à respecter par le rythmologue en cas d'indication d'IRM:

	OUI	NON
Tout le système est IRM compatible (boîtier et sondes)		
Implanté depuis plus de 6 semaines (date de l'implantation) : (...../..... /.....)		
Intégrité des sondes vérifiée		
Le système est implanté dans la région thoracique		
Interrogation & reprogrammation du dispositif avant l'IRM		
Les seuils de stimulation sont corrects		
La batterie n'a pas atteint le seuil de remplacement électif		
Pas de sondes abandonnées ou sondes épicaudiques		