



Canadian Association of Radiologists
L'Association canadienne des radiologistes

CONSENSUS CONJOINT DE LA SOCIÉTÉ
CANADIENNE DE RYTHMOLOGIE (CHRS) ET
DE L'ASSOCIATION CANADIENNE DES
RADIOLOGISTES (CAR) SUR L'UTILISATION DE
L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE EN
PRÉSENCE DE DISPOSITIFS CARDIAQUES
ÉLECTRONIQUES IMPLANTABLES

Consensus conjoint de la Société canadienne de rythmologie (CHRS) et de l'Association canadienne des radiologistes (CAR) sur l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique en présence de dispositifs cardiaques électroniques implantables

Atul Verma, M.D.¹, Andrew C.T. Ha, M.D.², Carole Dennie, M.D.³, Vidal Essebag, M.D., Ph. D.⁴, Derek V. Exner, M.D., M.H.P.⁵, Naeem Khan, M.D.⁶, Chris Lane, M.D.⁷, Jonathan Leipsic, M.D.⁸, Francois Philippon, M.D.⁹, Marcos Sampaio, M.D.³, Nicola Schieda, M.D.³, Colette Seifer, M.D.¹⁰, Alain Berthiaume, TRM³, Debra Campbell, IA¹¹, Santanu Chakraborty, M.D.³

1. Southlake Regional Health Centre, Newmarket, Ontario, Canada
2. Réseau universitaire de santé, Toronto, Ontario, Canada
3. L'Hôpital d'Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada
4. Centre universitaire de santé McGill, Montréal, Québec, Canada
5. Libin Cardiovascular Institute of Alberta, Calgary, Alberta, Canada
6. IWK Health Centre, Halifax, Nouvelle-Écosse, Canada
7. Royal Jubilee Hospital, Victoria, Colombie-Britannique, Canada
8. St Paul's Hospital, Vancouver, Colombie-Britannique, Canada
9. Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec, Québec, Québec, Canada
10. Hôpital St-Boniface, Winnipeg, Manitoba, Canada
11. Kingston General Hospital, Kingston, Ontario, Canada

Adresses de correspondance

Atul Verma, M.D., FRCPC
Directeur, Programme de rythmologie
Southlake Regional Health Centre
Université de Toronto
Bureau 602, 581, Davis Drive
Newmarket, Ontario, Canada L3Y 2P6
Tél. : 905-953-7917
Télé. : 905-953 0046
Courriel : atul.verma@utoronto.ca

Santanu Chakraborty, DMRD, FRCR
Professeur agrégé, Radiologie
Hôpital d'Ottawa
Université d'Ottawa
1053, avenue Carling
Ottawa, Ontario, Canada, K1Y 4E9
Tél. : 613-737-8571
Courriel : schakraborty@toh.on.ca

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4
RISQUES POTENTIELS DE L'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI	5
TECHNOLOGIE DES DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS	6
IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS — ÉLÉMENTS PARTICULIERS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION	8
Sélection des patients — qui est admissible à un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions?	8
Sondes abandonnées	8
Activateurs simplifiés pour programmer les DCEI en modes de stimulation et de défibrillation compatibles avec l'IRM sous certaines conditions	9
Examen d'IRM d'urgence	9
EXAMENS D'IMAGERIE CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS — PROCESSUS COLLABORATIF	10
Exigences relatives aux établissements pour la tenue d'examen d'IRM chez les patients porteurs de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions	10
Examen d'IRM chez les patients porteurs de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions —	
Rôle du service de radiologie et du centre de stimulation cardiaque	11
<i>Rôle du service de radiologie avant la tenue de l'examen d'IRM</i>	<i>11</i>
<i>Rôle du centre de stimulation cardiaque avant la tenue de l'examen d'IRM</i>	<i>12</i>
<i>Rôle du service de radiologie pendant l'examen d'IRM</i>	<i>14</i>
<i>Rôle du centre de stimulation pendant l'examen d'IRM</i>	<i>14</i>
<i>Rôle du service de radiologie après la tenue de l'examen d'IRM</i>	<i>14</i>
<i>Rôle du centre de stimulation après la tenue de l'examen d'IRM</i>	<i>14</i>
Exigences en matière de surveillance du patient dans le cadre d'un examen d'IRM en présence d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions	14
EXAMEN D'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI NON COMPATIBLES AVEC L'IRM — POINTS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION	16
Quels sont les risques?	16
Quels patients ne sont pas admissibles à un examen d'IRM?	16
Quelles sont les exigences ou les limites associées à l'examen d'IRM?	17
Quel protocole faut-il suivre pour la tenue d'examen en présence de systèmes de stimulation et de défibrillation non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions?	17
CONCLUSION	18
RECOMMANDATIONS — SOMMAIRE	19
TABLEAU 1. Définitions relatives aux dispositifs compatibles avec l'IRM sous certaines conditions	21
TABLEAU 2. Risques potentiels associés aux dispositifs cardiaques électroniques implantables (bas voltage et haut voltage)	22
TABLEAU 3. Modes de surveillance des patients porteurs de DCEI pendant l'examen d'IRM	23
RÉFÉRENCES	24

INTRODUCTION

L'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) est habituellement considérée comme une contre-indication chez les patients portant un dispositif cardiaque électronique implantable (DCEI) tel qu'un stimulateur cardiaque ou un défibrillateur interne. Les appareils d'IRM produisent en effet des champs magnétiques qui peuvent interférer avec les composantes métalliques des DCEI et poser certains risques, comme le déplacement ou le détachement des composantes du dispositif, la génération de courants d'énergie susceptibles d'endommager le dispositif et/ou le myocarde, le dysfonctionnement du dispositif en raison d'une surdétection ou d'une sous-détection attribuable à un artefact magnétique et, en de rares occasions, l'induction d'arythmies potentiellement mortelles[1]. Bien que la pratique d'examens d'IRM chez les patients porteurs de DCEI soit associée à un faible risque d'événement indésirable potentiellement mortel, l'éventualité de séquelles graves a pour conséquence d'empêcher la plupart de ces patients d'accéder à ce type d'examen.

On estime que chez les patients porteurs de DCEI, la probabilité qu'un examen d'IRM soit indiqué après la mise en place du dispositif est de 50 à 75 %[2]. Même si d'autres modalités d'imagerie sont offertes, par exemple la tomodensitométrie, elles ne présentent pas toujours la même qualité de détail ni la même précision diagnostique que l'IRM. Bien que des examens d'IRM aient déjà été réalisés en toute sécurité chez certains porteurs de DCEI dans des centres hautement spécialisés en imagerie, cette pratique n'est pas répandue. Pour résoudre cette limitation, les fabricants ont modifié la conception et la programmation des DCEI dans le but de minimiser les éventuels risques associés aux examens d'IRM. Ainsi, on peut maintenant utiliser des systèmes de DCEI compatibles avec l'IRM (que l'on dit « compatibles avec l'IRM sous certaines conditions » ou « MR conditional ») à des fins cliniques, et s'attendre à ce que de nouvelles technologies de ce type soient disponibles au fil du temps. (**Tableau 1**)

Or malgré la mise en marché de ces DCEI compatibles avec l'IRM, les médecins hésitent encore à réaliser des examens d'IRM chez ces patients en raison des inquiétudes qu'ils entretiennent toujours au sujet des risques. De plus, il peut s'avérer difficile d'identifier sans erreur les patients dont l'ensemble du système est compatible avec l'IRM sous certaines conditions. Le présent consensus a donc pour objectif de présenter une démarche clinique selon laquelle les spécialistes en stimulation cardiaque et en imagerie travailleront en étroite collaboration pour faciliter la réalisation d'examens d'IRM chez les patients porteurs de systèmes de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions. Un aperçu des risques, des limitations et des renseignements sur la technologie sera présenté. Enfin, on abordera la question des examens d'IRM chez les patients dont le système de DCEI ne présente pas de compatibilité conditionnelle avec l'IRM, une pratique pour l'instant réservée à des patients choisis avec grand soin et réalisée dans des centres hautement spécialisés en IRM. Des études sont en cours pour évaluer la sécurité des DCEI dont les éléments de conception, au départ, ne prévoyaient pas l'exposition à un environnement d'IRM. Ces produits sont généralement qualifiés de produits « d'ancienne génération ». C'est le terme que nous emploierons pour les désigner dans le cadre du présent document.

RISQUES POTENTIELS DE L'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI

La présence d'un système de DCEI est habituellement considérée comme une contre-indication à la réalisation d'un examen d'IRM. L'appareil d'IRM génère en effet un champ magnétique statique puissant ainsi qu'un champ magnétique à gradient variable et des champs de radiofréquence pulsés dans le but de produire des images. Les risques associés à l'IRM chez les patients porteurs de DCEI proviennent de trois sources : le champ magnétique statique, les gradients de champ magnétique et les champs de radiofréquence[5,6]. Ces sources peuvent avoir plusieurs effets sur le DCEI, notamment un effet de traction, d'échauffement, de rotation, de vibration et d'électrostimulation (**Tableau 2**).

Le champ magnétique statique peut interagir avec les composantes ferromagnétiques du DCEI et générer des forces inattendues capables de causer le déplacement, voire le détachement des sondes. Il peut également activer le capteur magnétique du DCEI de façon fortuite, et ainsi déclencher une stimulation asynchrone par commutation en mode sous aimant (stimulateurs cardiaques) ou inhiber la fonction thérapeutique des défibrillateurs implantables. Le champ statique peut aussi causer la fermeture du commutateur à lames (reed switch) de certains dispositifs (et dès lors inhiber la fonction thérapeutique de l'appareil) ou donner lieu à une sous-détection ou à une surdétection attribuable aux artefacts perçus par le DCEI. Les gradients de champ magnétique sont des champs magnétiques qui varient constamment et qui ont le potentiel d'induire des courants électriques. En s'accumulant aux extrémités des sondes de stimulation, la tension induite par ces courants peut entraîner une sous-détection ou une surdétection des potentiels myocardiques. Les courants induits par le champ radiofréquence peuvent eux aussi entraîner une surdétection susceptible d'inhiber la stimulation ou de mener à une fausse détection d'arythmie ventriculaire, ce qui pourrait altérer la fonction thérapeutique de l'appareil ou entraîner la délivrance de chocs inappropriés. Une sous-détection peut par ailleurs

causer une stimulation excessive ou entraver la détection d'arythmies. Les courants induits peuvent de plus engendrer un échauffement des tissus adjacents à la pile ou au générateur, ainsi qu'à l'extrémité de la sonde, et causer des brûlures tissulaires. Une altération des seuils de stimulation et de détection peut alors s'ensuivre. Les sondes abandonnées qui ne sont pas connectées à un générateur d'impulsions présentent un risque particulièrement élevé d'échauffement aux extrémités, susceptible de causer des lésions aux tissus myocardiques. Les courants induits par les sondes de stimulation unipolaires peuvent également provoquer des arythmies potentiellement mortelles. Enfin, ces interactions peuvent engendrer une reconfiguration ou une reprogrammation du dispositif susceptible de freiner la stimulation, voire mener à une asystole.

Les composantes ferromagnétiques des DCEI peuvent créer des artefacts qui dégradent la qualité des images observées par IRM. La création d'artefacts repose sur des facteurs tels que la taille du dispositif (les dispositifs volumineux sont associés à un plus grand nombre d'artefacts), la position du dispositif, le plan d'imagerie et le protocole d'examen. Par exemple, le plan petit axe du ventricule présente souvent des artefacts plus marqués que le plan long axe. Par ailleurs, les artefacts sont plus fréquents dans le cadre d'acquisitions tardives après injection de gadolinium que dans le cadre d'autres séquences d'imagerie.

Selon nos connaissances actuelles fondées sur des rapports publiés, le taux d'incidence des effets indésirables graves ou potentiellement mortels découlant d'examen d'IRM réalisés en présence de dispositifs non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions est faible, puisqu'il s'élève à moins de 1 % (**Tableaux S1 et S2 du supplément en ligne**)[7]. Pour ce motif, certains centres réalisent des examens d'IRM chez les patients porteurs de ce type de dispositif à condition que des protocoles rigoureux et bien définis d'imagerie et de surveillance soient en place.

TECHNOLOGIE DES DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS

Le premier système de stimulateur cardiaque compatible avec l'IRM sous certaines conditions a été commercialisé en Europe en 2010, par Biotronik (Berlin, Allemagne). Santé Canada et la Food and Drugs Administration (FDA) des États-Unis ont ensuite rapidement approuvé, en janvier 2011, la mise en marché du stimulateur cardiaque compatible avec l'IRM sous certaines conditions de Medtronic (Minneapolis, Minnesota, États-Unis). À l'heure actuelle, la désignation de « compatible avec l'IRM sous certaines conditions » a été octroyée à un certain nombre de stimulateurs cardiaques et de moniteurs ECG implantables en Amérique du Nord. Toutefois, aucun système de défibrillateur cardio-vertébral implantable (DCI) n'a encore été approuvé à ce titre en Amérique du Nord, bien qu'un système compatible avec l'IRM sous certaines conditions soit déjà utilisé en Europe à des fins cliniques.

La mise au point de sondes de stimulation compatibles avec l'IRM sous certaines conditions remonte aux années 1990. On rencontre plusieurs défis technologiques, par exemple l'élimination du mouvement et de l'échauffement de la sonde ainsi que l'induction de courants. Les sondes implantées depuis plusieurs semaines, voire plusieurs mois, sont peu susceptibles de se déplacer. Des études antérieures révèlent par ailleurs qu'il est possible de réduire l'échauffement et l'induction de courants en modifiant les matériaux utilisés pour la fabrication de la sonde, par exemple, en remplaçant les composantes en acier inoxydable de la bobine interne par des composantes en alliages de cuivre ou de nickel et en utilisant des électrodes de platine ou d'iridium à l'extrémité de la sonde. Ces études antérieures ont aussi démontré qu'il était possible et sécuritaire de concevoir des sondes compatibles avec l'IRM sous certaines conditions [2, 5, 8]. En ce qui concerne les sondes plus récentes, la géométrie de la bobine interne a également été modifiée de façon à réduire le transfert d'énergie, donc l'échauffement à l'extrémité de la sonde. Cette nouvelle conception soulève également des difficultés, en ce qui a trait notamment à la facilité de manipulation de la sonde lors de sa mise en place, compte tenu d'un diamètre plus grand, d'une friction et d'une rigidité plus marquées. De plus, l'efficacité à long terme de ces

sondes n'a pas encore été établie. Certaines sondes « d'ancienne génération » commercialisées depuis de nombreuses années affichent aussi une partie des caractéristiques précédemment citées, c'est pourquoi elles font systématiquement l'objet d'études visant à déterminer leur compatibilité conditionnelle avec l'IRM. À ce jour, plusieurs modèles de sondes ont reçu la désignation de « compatible avec l'IRM sous certaines conditions » au Canada.

Les générateurs d'impulsions des stimulateurs cardiaques fabriqués au cours de 15 dernières années sont plus petits, renferment moins de matériaux ferromagnétiques et offrent une meilleure protection contre l'interférence électromagnétique que leurs prédécesseurs. Ces caractéristiques accroissent leur capacité à contrer la création d'artefacts et l'échauffement induits par l'IRM. Roguin et coll. ont étudié l'effet de l'IRM sur les DCEI modernes conventionnels à l'aide d'un modèle animal[9]. Leurs conclusions révèlent que dans la mesure où un protocole de sécurité précis est observé, certains systèmes de DCEI peuvent être soumis à un examen d'IRM d'une intensité de 1,5 tesla sans exposer le patient à des risques supplémentaires. Plus récemment, les composantes des DCEI ont également été repensées de façon à minimiser la quantité d'énergie induite et délivrée. Ces modifications ont ainsi permis de fabriquer des générateurs d'impulsions intégrant moins de matériaux ferromagnétiques et d'assurer une meilleure protection des circuits et du bloc d'alimentation interne. De plus, le recours à un capteur à effet Hall au lieu d'un commutateur à lames (reed switch) réduit le risque de stimulation asynchrone par activation du « mode sous aimant » lorsque le stimulateur cardiaque est exposé aux champs de l'IRM, puisque le champ magnétique statique de l'environnement d'IRM n'influe pas sur le fonctionnement prévisible du capteur à effet Hall[10, 11].

Outre les modifications relatives aux éléments de conception, les dispositifs compatibles avec l'IRM sous certaines conditions ont également fait l'objet de changements sur le plan logiciel. La plupart des dispositifs utilisent un mode de programmation IRM particulier en vertu duquel le DCEI commute en mode de stimulation asynchrone à voltage plus élevé afin

d'éviter la perte de capture pendant l'examen d'IRM. En ce qui concerne les DCI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions, la fonction de traitement des tachyarythmies ventriculaires est temporairement désactivée pendant l'examen d'IRM. Le DCI n'offre donc aucune protection au patient si ce dernier présente une arythmie ventriculaire pendant l'examen d'IRM. Pour cette raison, des défibrillateurs externes d'urgence doivent être facilement accessibles à des fins de réanimation.

Aucun système de DCEI ne peut être qualifié de « sans danger dans un environnement d'IRM ». Toutefois, certains systèmes sont « compatibles avec l'IRM sous certaines conditions » et permettent au patient de subir un examen d'IRM sans présenter de risques supplémentaires connus, à condition que les paramètres d'examen établis par le fabricant soient respectés. Or il est important de noter que ces paramètres d'examen varient d'un fabricant à l'autre, ce qui signifie que le protocole d'examen d'IRM utilisé varie en fonction du système de DCEI du patient. Une communication claire doit donc s'établir entre le cardiologue spécialisé en stimulation cardiaque et le spécialiste d'IRM pour assurer le respect des normes du fabricant. Ainsi, certains systèmes de DCEI permettent l'examen du corps entier, alors que d'autres sont assujettis à une zone d'exclusion interdisant l'examen de la région thoracique. De manière générale, les fabricants de DCEI recommandent de maximiser la distance entre le dispositif et l'appareil d'IRM, dans la mesure du possible. La plupart des fabricants recommandent également les paramètres suivants : champ magnétique statique d'une intensité maximale de 1,5 tesla, valeur de taux d'absorption spécifique (TAS) de 2 W/kg pour chaque séquence et vitesse maximale de montée de gradient de 200 T/m/s.

Selon les rapports publiés, il est sécuritaire de réaliser des examens d'IRM chez les patients porteurs de dispositifs compatibles avec l'IRM sous certaines conditions. Jusqu'à présent, aucun examen d'IRM n'a eu d'effet indésirable notable ou potentiellement mortel [12, 14]. Dans l'étude à répartition aléatoire réalisée par Wilkoff et coll., 464 patients porteurs de stimulateurs cardiaques compatibles avec l'IRM sous certaines conditions ont été choisis aléatoirement pour subir ou non un examen d'IRM visant à évaluer le crâne et la colonne lombaire, de 9 à 12 semaines après la mise en place de leur dispositif. Chez le groupe de patients sélectionné à des fins d'IRM, aucune

complication grave découlant de l'imagerie n'a été observée pendant ou après la tenue de l'examen. Les changements relatifs au seuil de capture de la stimulation et à l'amplitude détectée ont été minimaux, les deux groupes affichant des résultats semblables[12].

La majorité des études visant à évaluer le caractère sécuritaire des examens d'IRM en présence de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions ont été réalisées à l'aide d'appareils de 1,5 tesla. Il existe en effet peu de données sur la sécurité des examens d'IRM effectués à une intensité de 3,0 teslas chez les patients porteurs de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions. Par ailleurs, on ne connaît pas l'efficacité à long terme (plus de cinq ans) des sondes et des générateurs d'impulsions compatibles avec l'IRM sous certaines conditions.

Certains fabricants intègrent des marqueurs radio-opaques à leurs générateurs d'impulsions et à leurs sondes afin qu'une radiographie thoracique puisse établir leur compatibilité conditionnelle avec l'IRM. Toutefois, cette pratique n'est pas universelle, sans compter que les sondes « d'ancienne génération » ultérieurement approuvées à titre de composantes compatibles avec l'IRM sous certaines conditions ne sont pas dotées de tels marqueurs. Plus important encore, la présence de marqueurs radio-opaques ne garantit aucunement qu'un examen d'IRM puisse être réalisé sans exposer le patient à des risques supplémentaires. Pour déterminer la présence de tels risques, le patient doit absolument faire l'objet d'une évaluation au centre de stimulation cardiaque avant la tenue de l'examen d'IRM. Cette évaluation permettra en effet d'identifier le modèle et de confirmer l'intégrité du dispositif, puis d'activer le mode de programmation associé à l'IRM.

IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS — ÉLÉMENTS PARTICULIERS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION

SÉLECTION DES PATIENTS — QUI EST ADMISSIBLE À UN DCEI COMPATIBLE AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS?

Les risques et les avantages liés à la mise en place d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions doivent être analysés lorsqu'il s'agit de sélectionner les personnes susceptibles de recevoir un tel appareil. Plusieurs éléments doivent être pris en considération. D'abord, la fiabilité et l'efficacité à long terme des dispositifs compatibles avec l'IRM sous certaines conditions ne sont pas connues. Ensuite, certaines sondes compatibles avec l'IRM sous certaines conditions sont plus rigides et de diamètre plus grand que les sondes conventionnelles. Selon certains rapports, le recours à de telles sondes est associé à des taux plus élevés de délogement, de réintervention et de perforation, bien que ces résultats n'aient pas été systématiquement reproduits[15, 17]. Enfin, à l'heure actuelle, les dispositifs et les sondes compatibles avec l'IRM sous certaines conditions sont en général plus dispendieux que les dispositifs et sondes conventionnels.

D'autres facteurs peuvent également orienter la décision de recourir à un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions, notamment l'âge du patient, la présence d'affections concomitantes et l'existence connue de contre-indications absolues à l'IRM. Ainsi, les patients plus jeunes sont plus susceptibles de devoir un jour subir un examen d'IRM que les patients plus âgés. Cet aspect peut influencer la sélection des patients pour l'implantation d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions. La mise en place d'un tel système doit également être sérieusement envisagée si le patient présente une affection concomitante (p. ex., une tumeur maligne) nécessitant un suivi périodique par IRM. Enfin, la mise en place d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions est peu utile dans le cas d'un patient présentant déjà une contre-indication absolue à l'IRM telle que la présence de sondes abandonnées, de vestiges de DCEI (p. ex., portion de sonde) ou d'autres prothèses métalliques (p. ex., valvules mécaniques ou agrafes cérébrales).

Comme il a précédemment été mentionné, certaines sondes « d'ancienne génération » font actuellement l'objet d'études afin de déterminer leur compatibilité conditionnelle avec l'IRM. L'approbation de ces sondes à titre de composantes compatibles avec l'IRM sous certaines conditions facilitera la mise en place de systèmes de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions, notamment en diminuant les préoccupations relatives à l'efficacité à long terme de la sonde et le coût. Par ailleurs, les patients porteurs de sondes « d'ancienne génération » pourraient être admissibles à recevoir un générateur d'impulsions compatible avec l'IRM sous certaines conditions lors du remplacement de leur dispositif, ce qui rendrait l'ensemble de leur système de DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions.

SONDES ABANDONNÉES

La présence de sondes de stimulation ou de défibrillation (avec ou sans capuchon) ou de vestiges de sondes demeurés dans l'organisme à la suite de l'extraction partiellement réussie d'un dispositif est considérée comme une contre-indication absolue à l'examen d'IRM[6, 7]. Les sondes abandonnées sont en effet associées à un risque accru d'échauffement et de lésions myocardiques. Les vestiges métalliques de la sonde peuvent s'échauffer, se déloger ou emboliser. Il est possible d'envisager l'extraction des sondes abandonnées dans les rares occasions où il s'avère absolument nécessaire de réaliser un examen d'IRM. Toutefois, l'intervention est associée à des risques de complications potentiellement mortelles de 1 à 2 %[18] et, pour ce motif, n'est habituellement pas pratiquée chez les patients présentant des sondes in situ depuis de nombreuses années uniquement pour permettre l'examen d'IRM.

ACTIVATEURS SIMPLIFIÉS POUR PROGRAMMER LES DCEI EN MODES DE STIMULATION ET DE DÉFIBRILLATION COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS

À l'heure actuelle, les dispositifs compatibles avec l'IRM sous certaines conditions doivent faire l'objet d'une « activation manuelle » à l'aide d'un appareil de programmation de DCEI classique pour passer en mode de stimulation IRM. Pour ce faire, le patient doit effectuer une visite au centre de stimulation cardiaque avant la tenue de son examen. Il est à prévoir cependant que les nouveaux DCEI seront dotés de composantes capables de simplifier le processus, par exemple des dispositifs de commande ou des « activateurs » particuliers qui permettront de reprogrammer automatiquement le DCEI en mode IRM sans recourir à l'appareil de programmation. De plus, il se pourrait qu'un jour certains DCEI soient en mesure de détecter le champ magnétique de l'appareil d'IRM et de commuter automatiquement en mode IRM sans aucune intervention humaine. De telles avancées technologiques pourraient évidemment simplifier le processus de programmation et même permettre aux services de radiologie de programmer le DCEI en mode IRM. Toutefois, une telle situation pourrait contourner le processus systématique d'évaluation du DCEI, issu de la présente démarche présentée (voir ci-dessous). Ainsi, des renseignements importants pourraient ne pas être pris en compte avant la tenue de l'examen, par exemple une défaillance ou un fonctionnement anormal du dispositif ou encore la présence de sondes abandonnées ou de composantes non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions, et exposer le patient à de graves risques si l'examen était réalisé. Pour cette raison, la commutation simplifiée ou automatisée des DCEI en mode IRM ne devra jamais remplacer l'évaluation systématique réalisée au centre de stimulation cardiaque avant la tenue de l'examen pour confirmer la compatibilité IRM.

EXAMEN D'IRM D'URGENCE

La tenue d'examens d'IRM d'urgence, particulièrement en dehors des heures ouvrables normales, est assujettie à des contraintes sur le plan des ressources et de la logistique. Ces contraintes peuvent être liées à la disponibilité de l'appareil, à la présence de technologues spécialisés pour la manipulation de l'appareil et à la présence de radiologistes pour la détermination du protocole d'examen et l'interprétation des résultats. Plus important encore, très peu d'affections médicales nécessitent véritablement la tenue d'un examen d'IRM d'urgence. Celui-ci peut néanmoins être indiqué à des fins d'évaluation urgente du système nerveux central (thrombose veineuse cérébrale, encéphalite, hémorragie du système nerveux central, ischémie cérébrale aiguë), de la colonne vertébrale (compression ou affections de la moelle épinière, y compris le syndrome de la queue de cheval et un abcès épidual), du système musculo-squelettique (détection de fractures de la hanche et du scaphoïde occultes sur le plan radiographique) et du système gastro-intestinal (investigation pour confirmer une appendicite chez les femmes enceintes présentant des résultats non concluants à l'échographie). Or un grand nombre de ces indications peuvent également être évaluées dans le cadre d'une tomodensitométrie (TDM), d'une angiographie par tomodensitométrie (ATDM) ou d'études de perfusion par TDM avec ou sans injection d'un produit de contraste iodé. De plus, certaines affections ne constituent pas une véritable urgence médicale, c'est pourquoi un délai de diagnostic de quelques heures, voire de quelques jours (bien que non souhaitable) n'influera pas nécessairement sur le traitement ou le pronostic du patient. En somme, peu d'examens d'IRM doivent réellement être pratiqués à titre urgent dans un contexte clinique. Dans les rares occasions où un examen d'IRM d'urgence est indiqué, le DCEI du patient doit quand même être évalué à titre urgent au centre de stimulation cardiaque avant la tenue de l'examen. Dans l'éventualité où le dispositif ne peut être évalué, il faut alors reporter l'examen d'IRM et recourir à d'autres modalités d'imagerie pour examiner le patient à titre urgent. L'examen d'IRM peut ensuite être planifié de façon semi-urgente dans les heures ou les jours qui suivent la séance d'évaluation clinique du DCEI[19-21].

EXAMENS D'IMAGERIE CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS — PROCESSUS COLLABORATIF

Dans le but de permettre la tenue d'examens d'IRM chez les patients porteurs d'un dispositif compatible avec l'IRM sous certaines conditions, nous suggérons un processus de collaboration entre le centre de stimulation cardiaque, les cardiologues détenant une expertise en stimulation cardiaque, le service d'IRM, les radiologistes en IRM et les administrateurs. Avant de pouvoir offrir ce service d'imagerie spécialisé, il faut constituer une équipe de radiologistes, de cardiologues, de technologues en IRM, de techniciens et d'infirmiers dont les responsabilités seront bien définies. Si le centre compte un physicien spécialisé en IRM, celui-ci doit également faire partie de l'équipe. Des protocoles standardisés doivent également être mis en place et les membres de l'équipe doivent veiller à bien connaître le déroulement du travail. Il est par ailleurs entendu que les exigences relatives à cette collaboration évolueront au fil du temps, à mesure que les nouvelles technologies et que l'expérience clinique progresseront.

EXIGENCES RELATIVES AUX ÉTABLISSEMENTS POUR LA TENUE D'EXAMENS D'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS

Un protocole visant la tenue d'examens d'IRM chez les patients porteurs de DCEI doit être établi conjointement par les spécialistes en IRM et en stimulation cardiaque, puis instauré au sein de l'établissement d'imagerie médicale. Idéalement, l'établissement serait aussi doté d'un centre de stimulation cardiaque capable d'interroger et de programmer les systèmes de DCEI sur place. Dans certains cas, le service de radiologie pourrait également travailler en étroite collaboration avec un centre de stimulation cardiaque hors site capable d'évaluer les patients avant et après la tenue de l'examen d'IRM. Le cas échéant, un membre de l'équipe de stimulation cardiaque (technicien, infirmier ou médecin) doit être facilement joignable le jour de

l'examen pour examiner ou reprogrammer le dispositif, au besoin. Pour des raisons logistiques, il se pourrait qu'un intervenant du centre de stimulation cardiaque ne soit pas en mesure de demeurer dans le service d'IRM pendant toute la durée de l'examen. Or, à mesure que la technologie des DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions évoluera et que l'expérience en la matière s'élargira, la nécessité de bénéficier de soutien sur place devrait diminuer.

La façon dont l'équipe de stimulation cardiaque offre du soutien sur place aux patients qui subissent un examen d'IRM doit reposer sur une entente mutuelle de collaboration entre le centre de stimulation cardiaque et le service d'IRM. Cet accord doit tenir compte des normes de pratiques et des ressources de l'établissement. Certains accords peuvent exiger la présence d'un intervenant tout au long de l'examen et d'autres, exiger de l'équipe de stimulation cardiaque qu'elle offre un service d'évaluation le jour même, avant et après la tenue de l'examen. Les exigences particulières en matière de personnel seront définies par l'établissement. Enfin, un cardiologue expert en stimulation cardiaque doit être facilement joignable à des fins de consultation avant, pendant et après l'examen d'IRM. Ce médecin n'est pas tenu d'être sur les lieux, mais il doit être disponible pour prodiguer des recommandations, au besoin.

L'établissement d'imagerie doit instaurer un protocole normalisé pour assurer le triage des patients porteurs de DCEI en vue d'un examen d'IRM. Le protocole exige le respect systématique des étapes ci-dessous.

- (i) Identifier les patients porteurs de DCEI.
- (ii) Aviser l'équipe d'IRM de la présence d'un DCEI chez un patient donné.
- (iii) Entreprendre un processus officiel d'aiguillage vers le centre de stimulation cardiaque, afin de recueillir des renseignements sur le DCEI et d'évaluer son fonctionnement.
- (iv) Définir toute contre-indication relative potentielle susceptible d'accroître les risques posés par l'examen d'IRM.

- (v) Effectuer une évaluation adéquate du DCEI et du patient en prévision de l'examen d'IRM.
- (vi) Interroger le DCEI de nouveau et reprogrammer le DCEI une fois l'examen d'IRM terminé.
- (vii) Aviser les médecins (radiologiste spécialisé en IRM et cardiologue spécialisé en stimulation cardiaque) de tout éventuel dysfonctionnement du DCEI avant, pendant et après l'examen d'IRM.

L'établissement doit également être doté d'une capacité de surveillance des signes vitaux pendant l'examen d'IRM. Il doit assurer le recours à toutes les modalités suivantes : i) oxymétrie de pouls, ii) suivi par électrocardiographie (ECG) et iii) capacité de communication verbale entre l'opérateur de l'appareil d'IRM et le patient. De l'équipement et des mesures de réanimation d'urgence doivent par ailleurs être en place et comprendre, au minimum, un défibrillateur externe et l'accès facile à un chariot et à une équipe de réanimation sur place.

EXAMEN D'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS — RÔLE DU SERVICE DE RADIOLOGIE ET DU CENTRE DE STIMULATION CARDIAQUE

La figure S1 du supplément en ligne illustre, à l'aide d'un schéma de déroulement du travail, le processus de triage et d'aiguillage des patients porteurs de DCEI devant subir un examen d'IRM.

RÔLE DU SERVICE DE RADIOLOGIE AVANT LA TENUE DE L'EXAMEN D'IRM

ÉTAPE 1 — Trier les demandes d'IRM : Est-il nécessaire que ce patient subisse un examen d'IRM?

Dans le cadre de la première étape, la demande d'IRM doit clairement indiquer que le patient porte un DCEI. Le radiologiste analyse ensuite la demande afin de déterminer s'il est vraiment indiqué de réaliser un examen d'IRM. Les points suivants doivent être pris en considération : i) un autre examen pourrait-il répondre tout aussi efficacement à la question clinique? et ii) les résultats de l'examen d'IRM auront-ils une influence significative sur le traitement ou le pronostic du patient?

La décision de pratiquer un examen d'IRM doit aussi être le fruit d'une analyse risque-avantage menée de façon collaborative. Si le radiologiste détermine qu'il n'y a pas nécessairement lieu de réaliser un examen d'IRM, il doit communiquer avec le médecin traitant afin de discuter des possibilités offertes par d'autres modalités d'imagerie. Si un autre type d'examen est jugé approprié, le médecin traitant doit en aviser le patient. Le médecin traitant est invité à discuter du cas avec le radiologiste en IRM s'il veut éclaircir certains points avant de demander un examen d'IRM.

Le radiologiste en IRM doit trier les demandes selon diverses catégories, en évaluant l'aspect bénéfique de l'examen d'IRM (p. ex., essentiel, avantageux, utile) et son degré d'urgence. Dans bien des cas, les examens d'IRM peuvent être réalisés de façon non urgente, ce qui donne le temps nécessaire pour effectuer l'évaluation clinique du DCEI.

Dans les rares occasions où un examen d'IRM est indiqué d'urgence, celui-ci ne devrait être pratiqué qu'après l'évaluation à titre urgent du patient au centre de stimulation cardiaque, de la manière indiquée à la section des rôles du centre de stimulation cardiaque. Si une évaluation adéquate du patient et du dispositif ne peut être effectuée, il faut alors renoncer à l'examen d'IRM et choisir d'autres modalités d'imagerie pour examiner le patient à titre urgent. Par la suite, l'examen d'IRM peut être réalisé de façon semi-urgente dans les heures ou les jours qui suivent la séance d'évaluation clinique du DCEI.

Si l'examen d'IRM se révèle être indiqué sur le plan clinique après l'analyse des facteurs précédemment énoncés, le service d'IRM doit communiquer avec le centre de stimulation cardiaque en vue de coordonner l'évaluation du patient et du DCEI.

ÉTAPE 2 — Planifier l'évaluation du patient et du DCEI préalable à l'examen d'IRM

Le service d'IRM communique avec le centre de stimulation cardiaque en vue de coordonner l'évaluation du patient préalable à l'examen d'IRM. Le processus d'aiguillage doit être amorcé par le préposé aux rendez-vous du service d'IRM ou par le technologue en IRM. La date de l'examen d'IRM est ensuite fixée en fonction de la date d'évaluation. Au besoin, le service d'IRM planifie d'autres types d'études d'imagerie, par exemple une radiographie thoracique ou orbitaire. D'autres

précisions relatives à l'examen d'IRM, notamment son degré d'urgence, doivent être communiquées au centre de stimulation cardiaque pour assurer une planification efficace de l'évaluation clinique.

ÉTAPE 3 : Obtenir le consentement du patient à la tenue de l'examen d'IRM

Les responsables administratifs de l'hôpital, le service de radiologie et le centre de stimulation cardiaque voient ensemble à établir les formulaires de consentement. Des renseignements pertinents concernant les risques et les avantages de l'examen d'IRM doivent être transmis aux patients ou à leurs mandataires par le radiologiste, le cardiologue et le médecin traitant. Si le patient n'est pas en mesure de donner son consentement, le mandataire peut le faire au nom du patient, conformément à la politique en vigueur.

Un processus de consentement en deux volets peut être adopté : l'intervenant du centre de stimulation cardiaque expliquant la notion de compatibilité avec l'IRM, les risques que présente l'environnement d'IRM pour le patient et le DCEI, ainsi que la prise en charge des éventuelles complications liées au mauvais fonctionnement du DCEI, et le radiologiste expliquant pourquoi il est nécessaire et avantageux de recourir à l'IRM plutôt qu'à une autre modalité d'imagerie.

RÔLE DU CENTRE DE STIMULATION CARDIAQUE AVANT LA TENUE DE L'EXAMEN D'IRM

ÉTAPE 1 : Identifier les composantes compatibles avec l'IRM sous certaines conditions

Le centre de stimulation cardiaque doit identifier toutes les composantes du DCEI et vérifier que chacune d'entre elles est compatible avec l'IRM sous certaines conditions. L'examen d'IRM chez les patients porteurs de DCEI non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions est contre-indiqué dans de nombreux établissements. Certains établissements peuvent toutefois choisir de réaliser ce type d'examen chez des patients soigneusement sélectionnés, dans un contexte de supervision très rigoureuse, même si les patients sont porteurs d'un DCEI ne présentant pas de compatibilité conditionnelle avec l'IRM. Quoi qu'il en soit, il y a **contre-indication absolue** à la tenue d'un examen

d'IRM en présence de composantes telles que celles indiquées ci-dessous :

- Sonde brisée ou fracturée — confirmée ou soupçonnée;
- Sonde abandonnée (avec capuchon) ou non explantée, sonde-extension ou adaptateur de sonde;
- Vestiges d'une sonde restés dans le corps du patient (p. ex., loge du stimulateur cardiaque, espace vasculaire ou cavité cardiaque);
- Sonde de stimulation épiscoparique ou de défibrillation permanente : renvoie à une sonde de stimulation épiscoparique ou de défibrillation implantée de façon permanente à des fins de stimulation ou de traitement par défibrillation.
Remarque : La présence de fils épiscopariques temporaires insérés dans le cadre de la chirurgie cardiaque n'est pas considérée comme une contre-indication absolue à l'IRM[22].

Si le centre de stimulation cardiaque a déterminé que l'ensemble du DCEI est compatible avec l'IRM sous certaines conditions, passer à la deuxième étape.

ÉTAPE 2 : Interroger le système et vérifier que le DCEI fonctionne correctement

Le centre de stimulation cardiaque doit interroger le système de DCEI afin de recueillir des données de référence sur l'efficacité du dispositif. Il convient de recueillir et de consigner toutes les données ci-dessous :

- Type de DCEI (défibrillateur cardiovertible implantable [DCI], stimulateur cardiaque ou moniteur ECG implantable);
- Type de sonde et de générateur d'impulsions ainsi que leur numéro de série;
- Fabricant de la sonde et du générateur d'impulsions;
- Avis sur le produit, le cas échéant;
- Emplacement de l'implant;
- Date d'implantation;
- Degré de dépendance au cardiostimulateur;
- Voltage de la pile;
- Temps de charge (DCI seulement);
- Seuil de détection des sondes auriculaires ou ventriculaires;
- Seuil de stimulation des sondes auriculaires ou ventriculaires;

- Impédance des sondes auriculaires ou ventriculaires;
- Occurrence d'épisodes de fréquence auriculaire ou ventriculaire élevée depuis la dernière interrogation;
- Anomalies relatives au fonctionnement du dispositif s'appuyant sur les interrogations ou les registres automatisés.

Les paramètres suivants sont considérés comme des « signaux d'alarme » chez les patients porteurs de DCEI devant subir un examen d'IRM :

- Présence d'alertes touchant l'efficacité du dispositif;
- Changements inexplicables et significatifs* touchant le voltage de la pile ou le temps de charge;
- Changements inexplicables et significatifs* touchant la détection, les seuils de stimulation ou l'impédance des sondes;
- Signaux non physiologiques inexplicables détectés par le DCEI (par la sonde ou le générateur d'impulsions);
- Existence d'avis sur le produit touchant l'une des composantes du DCEI;
- Implantation récente du DCEI (certains fabricants recommandent d'attendre plus de six semaines avant de soumettre le DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions à un examen d'IRM).

** Aucune définition universelle n'établit la nature d'un « changement significatif » dans le fonctionnement d'une caractéristique donnée du DCEI. Il incombe au cardiologue spécialisé en stimulation cardiaque responsable de la prestation des soins au patient de déterminer ce qui constitue un changement significatif.*

Les patients porteurs de moniteurs ECG implantables compatibles avec l'IRM sous certaines conditions doivent parfois subir un examen d'IRM. Or, ces dispositifs n'assurent pas la stimulation ou la défibrillation cardiaque et, par conséquent, n'ont aucune incidence directe sur le rythme cardiaque du patient. En se fondant sur les rapports publiés, il semble que l'examen d'IRM en présence de moniteurs ECG implantables soit sécuritaire et qu'aucun événement indésirable grave n'ait été observé[23, 25]. Toutefois, les données mises en mémoire dans le moniteur ECG implantable peuvent s'effacer en cas d'exposition à un environnement d'IRM. Pour éviter cette perte de données, nous recommandons de télécharger les

épisodes mémorisés du moniteur ECG implantable dans un support distinct (ou de les imprimer) lors de la visite préalable à l'examen d'IRM.

ÉTAPE 3 : Programmer le DCEI selon le mode IRM approprié

Une fois les étapes 1 et 2 effectuées, le personnel de stimulation cardiaque, de concert avec le cardiologue responsable de la stimulation cardiaque, doit déterminer le changement de programmation à instaurer en vue de l'examen d'IRM. Celui-ci consiste habituellement à activer le mode IRM du dispositif. Il existe deux types de programmation : i) IRM Invisible ou ii) IRM Invulnérable. En mode IRM « invisible », le DCEI est incapable d'assurer la stimulation ou la défibrillation cardiaque, tandis qu'en mode IRM « invulnérable », le DCEI est programmé de façon à assurer une stimulation continue (asynchrone) à une fréquence déterminée (p. ex., 80 battements par minute). S'il s'agit d'un DCI, la stimulation antitachycardique et les traitements par choc sont désamorçés lors du passage à ce mode. On recourt habituellement au mode « d'invisibilité » dans le cas de patients non cardiostimulateur dépendants et au mode « d'invulnérabilité » dans le cas de patients dépendants. Le choix de programmation doit en outre être clairement documenté.

Nous recommandons d'effectuer les étapes 1 et 2 dans les **quatre semaines** qui précèdent la tenue de l'examen d'IRM. La reprogrammation du DCEI (étape 3) doit cependant être réalisée le jour de l'examen d'IRM.

Le centre de stimulation cardiaque doit transmettre des documents écrits au service de radiologie afin de confirmer les points suivants : l'ensemble du DCEI est compatible avec l'IRM sous certaines conditions, le DCEI fonctionne correctement et il est programmé de façon à permettre la tenue de l'examen d'IRM. Pour ce faire, le centre de stimulation cardiaque peut joindre une liste de vérification au document imprimé résultant de l'interrogation finale du dispositif.

RÔLE DU SERVICE DE RADIOLOGIE PENDANT L'EXAMEN D'IRM

De l'équipement de surveillance et de réanimation en état de marche doit être accessible pendant la tenue de l'examen d'IRM. Les protocoles d'imagerie prescrits doivent respecter les spécifications du fabricant et être modifiés en conséquence, au besoin. Il convient par ailleurs de communiquer avec le fabricant si certaines spécifications ne semblent pas familières. Il faut également adopter des techniques d'examen susceptibles de minimiser la création d'artefacts. Les images doivent faire l'objet d'une surveillance étroite par le radiologiste, sur le plan de la qualité technique, de la présence d'artefacts et du besoin de réaliser des séquences supplémentaires ou d'administrer du gadolinium. Voici une liste des principaux paramètres techniques d'IRM recommandés pour la plupart des DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions :

- Limiter l'intensité du champ à 1,5 T;
- Limiter le TAS à moins de 2 W/kg de poids corporel;
- Limiter la vitesse maximale de montée de gradient à 200 T/m/s;
- Minimiser le nombre et la durée des séquences;
- Dans la mesure du possible, privilégier le recours à une antenne émettrice-réceptrice dans le cas d'examen de la tête ou des extrémités.

RÔLE DU CENTRE DE STIMULATION PENDANT L'EXAMEN D'IRM

Pendant l'examen, l'équipe d'IRM doit pouvoir facilement bénéficier des services d'un intervenant du centre de stimulation cardiaque (technicien, infirmier ou médecin) pour l'aider à vérifier ou à reprogrammer le dispositif, au besoin.

RÔLE DU SERVICE DE RADIOLOGIE APRÈS LA TENUE DE L'EXAMEN D'IRM

Le service de radiologie doit prendre des dispositions pour que le patient soit évalué au centre de stimulation cardiaque ou par le personnel responsable de la stimulation cardiaque avant d'obtenir son congé de l'hôpital ou de l'établissement.

RÔLE DU CENTRE DE STIMULATION APRÈS LA TENUE DE L'EXAMEN D'IRM

Une fois l'examen d'IRM réalisé, le personnel du centre de stimulation cardiaque doit procéder à une nouvelle interrogation du DCEI et vérifier qu'il ne présente aucune anomalie à la suite de l'examen. Le cardiologue spécialisé en stimulation cardiaque doit être avisé immédiatement de toute anomalie détectée afin de déterminer s'il faut prendre des mesures à cet égard. Si aucune anomalie n'est relevée, le DCEI doit être reprogrammé en fonction des paramètres initiaux (paramètres établis avant la tenue de l'examen). La reprogrammation du DCEI en fonction des paramètres initiaux (ou la mise en place de nouveaux paramètres) doit être clairement documentée.

EXIGENCES EN MATIÈRE DE SURVEILLANCE DU PATIENT DANS LE CADRE D'UN EXAMEN D'IRM EN PRÉSENCE D'UN DCEI COMPATIBLE AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS

À ce jour, aucune recommandation officielle ne porte sur les méthodes de surveillance optimales des signes vitaux du patient porteur de DCEI dans le cadre d'un examen d'IRM. À l'heure actuelle, on recourt souvent à trois modes de surveillance : le suivi par électrocardiographie (ECG), l'oxymétrie et la communication verbale intermittente avec le patient. Les avantages et les limites propres à chaque mode de surveillance sont résumés dans le [tableau 3](#).

Le service d'imagerie doit avoir accès à tous les modes de surveillance du patient, bien qu'il ne soit pas nécessaire de les utiliser tous les trois en même temps. Le suivi par ECG ou l'oxymétrie devrait toutefois être employé en association avec une communication verbale intermittente.

La surveillance des patients porteurs de DCEI durant la tenue de l'examen d'IRM peut être assurée par un certain nombre de personnes qualifiées, notamment un technologue en IRM, un infirmier spécialisé en IRM, un radiologiste spécialisé en IRM, un cardiologue spécialisé en stimulation cardiaque ou un infirmier du centre de stimulation cardiaque. La composition de l'équipe chargée de la surveillance du patient porteur de DCEI pendant la tenue de l'examen est déterminée

selon trois principaux facteurs : i) l'état médical du patient, ii) l'état fonctionnel du DCEI et iii) l'expérience des membres de l'équipe.

Circonstances dans lesquelles l'équipe de base peut assurer la surveillance du patient (cette équipe est définie par l'établissement)

- Le patient ne présente pas de problème d'arythmie et son DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions fonctionne normalement en vertu de l'évaluation préalable à l'examen d'IRM et effectuée par le centre de stimulation cardiaque.
- Le patient est cardiostimulateur dépendant et son DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions fonctionne normalement en vertu de l'évaluation préalable à l'examen d'IRM et effectuée par le centre de stimulation cardiaque.

Circonstances dans lesquelles il est recommandé de prévoir des intervenants supplémentaires pour surveiller le patient pendant l'examen d'IRM (c.-à-d. au-delà de l'équipe de base, telle que définie par l'établissement)

- Le patient présente un problème d'arythmie. Il est alors recommandé de reporter l'examen d'IRM jusqu'à la stabilisation du problème d'arythmie.
- Le DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions ne fonctionne pas normalement, mais rien ne constitue une contre-indication absolue à l'IRM (p. ex., des changements récents non significatifs sur le plan de la stimulation ou des seuils de détection).
- Le patient a reçu des traitements récents (stimulation ou chocs) contre les arythmies ventriculaires, et porte un défibrillateur cardiovertteur implantable compatible avec l'IRM sous certaines conditions qui fonctionne normalement.
- Le patient subit un examen d'IRM même si son DCEI n'est pas compatible avec l'IRM sous certaines conditions (voir plus loin).

EXAMEN D'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI NON COMPATIBLES AVEC L'IRM — POINTS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION

La pratique d'un examen d'IRM chez les patients porteurs de DCEI non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions est considérée comme « une utilisation non indiquée sur l'étiquette » qui n'est pas appuyée par les organismes de réglementation (p. ex., Santé Canada, FDA), les lignes directrices publiées conjointement par les organismes de radiologie et de soins cardiovasculaires et les fabricants de DCEI [2, 26-29]. Pour ce motif, on ne réalise habituellement pas d'examens d'IRM chez les patients dont le DCEI ne présente pas une compatibilité conditionnelle avec l'IRM et on ne considère pas la tenue de tels examens comme une norme de pratique. Toutefois, le comité de rédaction admet l'existence de scénarios cliniques dans le cadre desquels l'examen d'IRM peut permettre de recueillir des renseignements essentiels à la gestion des soins prodigués au patient. Si tel est le cas, des dispositions peuvent être prises en vue de réaliser un examen « selon une utilisation non indiquée sur l'étiquette », **en sachant que le patient est exposé à des risques graves et potentiellement mortels**[30-33]. Ainsi, le comité de rédaction tient à préciser qu'une discussion détaillée et explicite sur les risques et les avantages associés à l'examen doit se tenir entre i) le médecin traitant (de préférence un médecin spécialisé dans la région d'intérêt en question comme un neurologue, un neurochirurgien, un chirurgien orthopédiste, etc.), ii) le cardiologue détenant une expertise en stimulation cardiaque et iii) le radiologiste spécialisé en IRM. Les recommandations consensuelles de ce groupe et les risques associés à l'examen d'IRM pratiqué selon « une utilisation non indiquée sur l'étiquette » doivent être consignés et communiqués au patient ou au mandataire du patient. Il est obligatoire d'obtenir un consentement éclairé par écrit avant de pratiquer l'examen d'IRM. Plus précisément, les risques potentiels suivants doivent être abordés dans le cadre de la discussion[3] :

- i) Dysfonctionnement du stimulateur cardiaque ou du défibrillateur cardiovertteur implantable
- ii) Endommagement du stimulateur cardiaque ou du défibrillateur cardiovertteur implantable
- iii) Arythmie
- iv) Décès

QUELS SONT LES RISQUES?

Le **tableau 2** présente une liste des risques potentiels associés aux examens d'IRM chez les patients porteurs de DCEI non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions[1]. Les rapports traitant de la pratique de ce type d'examen indiquent que **des protocoles très rigoureux d'IRM et de surveillance du patient étaient en place lors de l'examen**. Ils révèlent également que des changements touchant le système ont été observés à la suite de l'examen d'IRM, notamment i) l'altération des paramètres de la sonde relatifs à la détection, au seuil de stimulation ou à l'impédance, ii) la réinitialisation de l'alimentation (power-on-reset), iii) l'inhibition de l'électrostimulation entraînant une bradycardie transitoire ou une asystole, iv) la stimulation asynchrone induite par l'activation du commutateur à lames, v) la baisse (légère) du voltage de la pile. La fréquence de ces changements varie énormément d'une étude à l'autre, allant de 0 % à 40 %[33]. Toutefois, aucun événement indésirable potentiellement mortel, par exemple l'induction d'une arythmie ventriculaire ou d'une asystole prolongée exigeant une stimulation temporaire, ni aucun décès ne s'est produit dans le cadre des études en question.

QUELS PATIENTS NE SONT PAS ADMISSIBLES À UN EXAMEN D'IRM?

Il est absolument contre-indiqué de réaliser un examen d'IRM chez les patients porteurs d'un DCEI présentant les particularités suivantes :

- Sonde brisée ou fracturée — confirmée ou soupçonnée
- Sonde abandonnée (avec capuchon) ou non explantée, sonde-extension ou adaptateur de sonde

- Vestiges d'une sonde restés dans le corps du patient (p. ex., loge du stimulateur cardiaque, espace vasculaire ou cavité cardiaque)
- Sonde de stimulation épicaudique ou de défibrillation permanente : renvoie à une sonde de stimulation épicaudique ou de défibrillation implantée de façon permanente à des fins de stimulation ou de traitement par défibrillation.
Remarque : La présence de fils épicaudiques temporaires insérés dans le cadre de la chirurgie cardiaque n'est pas considérée comme une contre-indication absolue à l'IRM[22].

QUELLES SONT LES EXIGENCES OU LES LIMITES ASSOCIÉES À L'EXAMEN D'IRM?

Jusqu'à maintenant, les examens d'IRM chez les porteurs de stimulateurs cardiaques et de DCI non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions ont été pratiqués à l'aide d'aimants produisant un champ égal ou inférieur à 1,5 tesla. Il existe peu de données sur la sécurité des examens d'IRM réalisés à l'aide d'un champ de 3 teslas ou plus, c'est pourquoi une telle intensité de champ n'est pas recommandée pour le moment[7, 34-36].

De manière générale, il convient de réaliser le nombre minimal de séquences nécessaires à l'obtention des renseignements voulus. Par ailleurs, plusieurs études récentes ont révélé que les examens d'IRM peuvent porter sur diverses régions du corps (y compris le thorax et le cœur) sans exposer le patient ou le dispositif à des risques supplémentaires[1, 7, 33, 37]. Bien qu'il soit généralement recommandé de limiter le taux d'absorption spécifique (TAS) à une valeur de moins de 2,0 W/kg[1], certaines études récentes remettent ce paramètre en question[7, 37]. Enfin, il convient de privilégier le recours à une antenne émettrice-réceptrice dans la mesure du possible[1].

QUEL PROTOCOLE FAUT-IL SUIVRE POUR LA TENUE D'EXAMENS EN PRÉSENCE DE SYSTÈMES DE STIMULATION ET DE DÉFIBRILLATION NON COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS?

Un protocole standardisé visant les examens d'IRM chez les patients porteurs de dispositifs non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions doit être élaboré à l'intention des établissements qui offrent ce type de service d'imagerie. Un protocole type est présenté à la **figure S2 du supplément en ligne**. Plusieurs points doivent toutefois être explorés d'avantage. Premièrement, il faut obtenir une autorisation de l'établissement avant de pouvoir réaliser un examen d'IRM chez les patients porteurs de systèmes de DCEI non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions. Deuxièmement, le patient ou son mandataire doit signer un formulaire de consentement éclairé avant la tenue de l'examen. Les risques et les avantages associés à l'IRM doivent être clairement expliqués. Troisièmement, la mise en place de personnel de soutien ayant suivi la formation en soins avancés en réanimation cardiorespiratoire (SARC/ACLS) est considérée comme une exigence minimale. Ces intervenants doivent être prêts à intervenir en recourant à l'équipement de réanimation approprié. Quatrièmement, il est obligatoire de surveiller les signes vitaux du patient de façon continue pendant la tenue de l'examen d'IRM. L'état du patient doit être vérifié avant et après chaque séquence d'impulsions, par un préposé se trouvant dans la salle d'IRM ou au moyen du système d'interphone se trouvant sur la console d'IRM. Enfin, le patient doit faire l'objet d'une supervision jusqu'à ce qu'il puisse être évalué au centre de stimulation cardiaque.

CONCLUSION

Les patients porteurs de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions peuvent subir des examens d'IRM en encourant un minimum de risques, dans la mesure où des protocoles d'imagerie et de surveillance bien définis sont en place et que le protocole d'examen respecte les paramètres recommandés par le fabricant du DCEI. Les examens d'IRM en présence de DCEI compatibles avec l'IRM doivent par ailleurs être réalisés dans des établissements qui satisfont aux conditions énoncées dans le présent document. Enfin, pour qu'un programme d'examen d'IRM chez les patients porteurs de DCEI soit couronné de succès, il doit s'appuyer sur un processus de collaboration établi entre le centre de stimulation cardiaque et le service de radiologie.

RECOMMANDATIONS — SOMMAIRE

La version intégrale des recommandations, ainsi que les valeurs et les préférences sont présentées selon le format du système GRADE dans le supplément en ligne.

1. Nous recommandons que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) puisse être pratiquée en présence de dispositifs cardiaques électroniques implantables (DCEI) compatibles avec l'IRM sous certaines conditions en n'exposant qu'à un faible risque de complications potentiellement mortelles dans la mesure où les patients et leur DCEI sont évalués de façon adéquate avant l'examen d'imagerie et où le protocole de l'examen respecte les spécifications visant le modèle de DCEI en question (forte recommandation, données probantes de qualité intermédiaire).
2. Nous recommandons que les établissements qui pratiquent des examens d'IRM chez les patients porteurs de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions établissent un protocole officiel issu d'une étroite collaboration entre le centre de stimulation cardiaque et le service de radiologie (forte recommandation, données probantes de qualité faible).
3. Nous recommandons que les éléments suivants fassent partie des rôles précis que doit remplir le centre de stimulation cardiaque avant la tenue d'un examen d'IRM chez un patient porteur d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions :
 - i) identifier toutes les composantes du DCEI et confirmer leur compatibilité conditionnelle avec l'IRM, ii) vérifier le DCEI afin de s'assurer qu'il ne présente aucune anomalie sur le plan fonctionnel, iii) programmer le DCEI en mode IRM pour éviter une stimulation inappropriée, l'arrêt du dispositif ou la délivrance d'un traitement inapproprié (forte recommandation, données probantes de qualité faible).
4. Nous recommandons que les éléments suivants fassent partie des rôles précis que doit remplir le service de radiologie avant la tenue d'un examen d'IRM chez un patient porteur d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions :
 - i) trier les demandes d'IRM afin de déterminer le caractère approprié de l'examen d'imagerie, ii) prendre des dispositions avec le centre de stimulation cardiaque en vue de préparer le patient à l'examen d'imagerie, iii) définir les protocoles standardisés d'imagerie afin de réaliser l'examen d'IRM conformément aux paramètres suggérés par le fabricant et le radiologue (forte recommandation, données probantes de qualité faible).
5. Nous recommandons que les services d'un intervenant du centre de stimulation cardiaque (technicien, infirmier ou médecin) soient facilement accessibles à l'équipe d'IRM (sans nécessairement être offerts en personne) pendant la tenue de l'examen d'IRM afin d'assurer la prise en charge du DCEI (forte recommandation, données probantes de qualité faible).
6. Nous recommandons que le service de radiologie assure une surveillance adéquate des patients porteurs de DCEI pendant la tenue de l'examen d'IRM afin de minimiser les événements indésirables associés à l'examen. Les exigences de base en matière de surveillance du patient comprennent des modes de communication bilatérale entre l'opérateur et le patient et, soit l'oxymétrie soit la télésurveillance par ECG, et l'accès à de l'équipement de réanimation d'urgence (forte recommandation, données probantes de qualité faible).
7. Nous recommandons que le patient soit réévalué au centre de stimulation cardiaque après la tenue de l'examen d'IRM afin de repérer toute anomalie découlant de l'examen d'IRM et de reprogrammer le DCEI en fonction des paramètres initiaux (avant la tenue de l'examen d'IRM) (forte recommandation, données probantes de qualité faible).
8. Nous recommandons que les situations suivantes soient considérées comme des contre-indications à l'examen d'IRM :
 - i) sonde de stimulation ou de défibrillation fracturée (soupçonnée ou confirmée), ii) sonde de stimulation épicaudique ou de défibrillation abandonnée (implantée à des fins de stimulation ou de traitement par défibrillation permanent), iii) sonde-extension, adaptateur de sonde ou vestiges de sonde restés dans l'organisme (forte recommandation, données probantes de qualité faible).

9. Nous recommandons que la pratique de l'IRM en présence de DCEI non compatibles avec l'IRM sous certaines conditions soit réservée aux centres détenant une grande expertise en IRM et en prise en charge des DCEI. Ces centres doivent suivre des protocoles d'imagerie et de surveillance des signes vitaux bien définis et établis, issus d'une collaboration étroite entre le centre de stimulation cardiaque et le service de radiologie (forte recommandation, données probantes de qualité faible).

TABLEAU 1.

DÉFINITIONS RELATIVES AUX DISPOSITIFS COMPATIBLES AVEC L'IRM SOUS CERTAINES CONDITIONS

TERMINOLOGIE	DÉFINITION
Sans danger dans un environnement d'IRM (« MR safe »)	Le dispositif ne présente aucun danger connu dans tous les environnements d'IRM
Compatible avec l'IRM sous certaines conditions (« MR conditional »)	Il a été démontré que le dispositif ne présentait aucun danger connu dans un environnement d'IRM si les conditions d'utilisation étaient respectées. Les conditions relatives aux champs qui définissent l'environnement d'IRM portent sur des paramètres tels que i) l'intensité du champ, ii) le gradient spatial, iii) le rythme de variation du champ magnétique (dB/dT), les champs de radiofréquence et le taux d'absorption spécifique (TAS). Le respect d'autres conditions, par exemple la programmation du dispositif selon certaines configurations précises, peut être exigé
Potentiellement dangereux dans un environnement d'IRM (« MR unsafe »)	Il a été établi que le dispositif posait des dangers dans tous les environnements d'IRM

Adapté de : Woods TO. Standards for medical devices in MR: present and future. *J Magn Reson Imaging*. 2007;26:1186-9.

En 1997, le Center for Devices and Radiological Health (CDRH) de la Food and Drugs Administration (FDA) des États-Unis a demandé à l'American Society for Testing and Materials (désignée sous le nom d'ASTM International) d'établir un ensemble de définitions normalisées pour résoudre la question entourant la sécurité des dispositifs médicaux dans un environnement d'IRM. Ces définitions visent à orienter l'homologation des dispositifs médicaux en matière de compatibilité avec l'environnement d'IRM. La plus récente version de ces définitions a été proposée en août 2005 (ASTM F2503-05)[3]. C'est la version que nous utiliserons dans le cadre du présent document de consensus[3, 4].

TABLEAU 2.

RISQUES POTENTIELS ASSOCIÉS AUX DISPOSITIFS CARDIAQUES ÉLECTRONIQUES IMPLANTABLES (BAS VOLTAGE ET HAUT VOLTAGE)

CHAMP MAGNÉTIQUE STATIQUE
<ul style="list-style-type: none">• Forces mécaniques liées aux composantes ferromagnétiques (p. ex., déplacement du stimulateur cardiaque)• Activation fortuite du capteur magnétique• Fermeture du commutateur à lames (reed switch) et perte subite de la fonction de stimulation• Changements touchant les électrocardiogrammes
GRADIENT DE CHAMP MAGNÉTIQUE
<ul style="list-style-type: none">• Possible induction d'arythmies graves (rare)• Courant induit au bout des sondes causant une surdétection ou une sous-détection
CHAMP DE RADIOFRÉQUENCE MODULÉ
<ul style="list-style-type: none">• Échauffement des tissus cardiaques adjacents aux électrodes distales• Possible induction d'arythmies graves (rare)• Reprogrammation ou réinitialisation du stimulateur cardiaque• Interaction du champ de radiofréquence avec le dispositif (surdétection et sous-détection)
EFFETS DES CHAMPS COMBINÉS
<ul style="list-style-type: none">• Arrêt soudain et imprévu des fonctions du dispositif• Altération des fonctions du dispositif en raison de l'interférence électromagnétique• Forces mécaniques (vibration)• Réinitialisation du générateur d'impulsions du stimulateur cardiaque ou du DCI• Endommagement du générateur d'impulsions du stimulateur cardiaque ou du DCI• Endommagement des sondes du stimulateur cardiaque ou du DCI
PROBLÈMES D'IMAGERIE
<ul style="list-style-type: none">• Artefacts empêchant la visualisation adéquate des images

Adapté des documents de référence 1 et 6

TABLEAU 3.

MODES DE SURVEILLANCE DES PATIENTS PORTEURS DE DCEI PENDANT L'EXAMEN D'IRM

MODE DE SURVEILLANCE DES SIGNES VITAUX	AVANTAGES POTENTIELS	LIMITES POTENTIELLES
Surveillance par électrocardiographie (ECG)	Moyen le plus direct d'évaluer le rythme cardiaque du patient de façon continue	<ol style="list-style-type: none"> 1) Le recours à de l'équipement de suivi par ECG peut entraîner la création d'artefacts importants susceptibles d'empêcher une évaluation précise du rythme cardiaque du patient 2) Le mauvais positionnement des câbles et des électrodes d'ECG peut causer des brûlures cutanées (p. ex., si le câble s'enroule involontairement autour de l'électrode ou s'il entre en contact avec la peau) 3) Ce mode de surveillance ne fournit aucun renseignement sur l'état respiratoire du patient
Oxymétrie	<ol style="list-style-type: none"> 1) Permet la surveillance continue du pouls du patient, lequel rend compte de la stimulation cardiaque 2) Fournit des renseignements sur l'état respiratoire du patient (saturation en oxygène) 3) Préviend les éventuels risques associés au suivi par ECG 	Ne permet pas une surveillance en temps réel du rythme cardiaque du patient
Communication verbale intermittente	<ol style="list-style-type: none"> 1) Permet de surveiller l'état mental du patient 2) Permet au patient de faire part de son inconfort à l'équipe d'IRM, le cas échéant 	Ne s'applique pas aux patients qui ne sont pas en mesure de communiquer verbalement

Adapté des documents de référence 1 et 6

RÉFÉRENCES

1. Loewy J, Loewy A, Kendall Ej. Reconsideration of pacemakers and MR imaging. *Radiographics*. 2004;24:1257-67.
2. Kalin R, Stanton MS. Current clinical issues for MR scanning of pacemaker and defibrillator patients. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2005;28:326-8.
3. Levine GN, Gomes AS, Arai AE, Bluemke DA, Flamm SD, Kanal E, Manning WJ, Martin ET, Smith JM, Wilke N, Shellock FS; American Heart Association Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization; American Heart Association Council on Clinical Cardiology; American Heart Association Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. 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*. 2007 Dec 11;116:2878-91.
4. Woods TO. Standards for medical devices in MR: present and future. *J Magn Reson Imaging*. 2007;26:1186-9.
5. Nyenhuis JA, Park S, Kamondetdacha R, Amjad A, Shellock FG, Rezai AR MR and impledated medical devices: basic interactions with an emphasis on heating. *IEEE Trans Device Materials Reliability*. 2005;5:467-480.
6. Beinart R and Nazarian S. Effects of external electrical and magnetic fields on pacemakers and defibrillators: from engineering principles to clinical practice. *Circulation*. 2013;24:2799-809.
7. Nazarian S, Beinart R, Halperin HR. Magnetic resonance imaging and implantable devices. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2013 Apr;6(2):419-28.
8. Sutton R, Kanal E, Wilkoff BL. Safety of magnetic resonance imaging of patients with a new Medtronic EnRhythm MR SureScan pacing system: clinical study design. *Trials*. 2008, 9:68
9. Roguin A, Zviman MM, Meininger GR et al. Modern pacemaker and implantable cardioverter/defibrillator systems can be magnetic resonance imaging safe. In vitro and in vivo assessment of safety and function at 1.5 T. *Circulation*. 2004;110:475-482.
10. Cronin EM, Wilkoff BL. Magnetic resonance imaging conditional pacemakers: rationale, development and future directions. *Indian Pacing Electrophysiol J*. 2012;12(5):204-212.
11. Santini L, Forleo GB, Santini M; World Society of Arrhythmias. Evaluating MRI-compatible pacemakers: patient data now paves the way to widespread clinical application? *Pacing Clin Electrophysiol*. 2013; 36:270-8.
12. Wilkoff BL, Bello D, Taborsky M et al. Magnetic resonance imaging in patients with a pacemaker system designed for the magnetic resonance environment. *Heart Rhythm*. 2011;8:65-73.
13. Gimbel JR, Bello D, Schmitt M, Merkely B, Schwitter J, Hayes DL, Sommer T, Schloss EJ, Chang Y, Willey S, Kanal E; Advisa MR System Study Investigators. Randomized trial of pacemaker and lead system for safe scanning at 1.5 Tesla. *Heart Rhythm*. 2013 May;10(5):685-91.
14. Wollmann CG, Steiner E, Vock P, Ndikung B, Mayr H. Monocenter feasibility study of the MR compatibility of the Evia pacemaker in combination with Safio S pacemaker lead. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012;25:67.
15. Rickard J, Taborsky M, Bello D, Johnson WB, Ramza B, Chang Y, Wilkoff BL. Short- and long-term electrical performance of the 5086MR pacing lead. *Heart Rhythm*. 2014;11:222-9.

16. Forleo GB, Santini L, Della Rocca DG, Romano V, Papavasileiou LP, Magliano G, Sgueglia M, Romeo F. Safety and efficacy of a new magnetic resonance imaging-compatible pacing system: early results of a prospective comparison with conventional dual-chamber implant outcomes. *Heart Rhythm*. 2010;7:750-4.
17. Elmouchi DA, Rosema S, Vanoosterhout SM, Khan M, Davis AT, Gauri AJ, Finta B, Woelfel AK, Chalfoun NT. Cardiac perforation and lead dislodgement after implantation of a MR-conditional pacing lead: a single-center experience. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2014;37:4-10.
18. Rickard J and Wilkoff B. Extraction of implantable cardiac devices. *Curr Cardiol Rep*. 2011 Oct;13(5):407-414.
19. Quint DJ. Indications for emergent MR of the central nervous system. *JAMA*. 2000;283:853-5.
20. Pedrosa I, Levine D, Eyvazzadeh AD, Siewert B, Ngo L, Rofsky NM. MR imaging evaluation of acute appendicitis in pregnancy. *Radiology*. 2006;238:891-9.
21. Korley FK, Pham JC, Kirsch TD. Use of advanced radiology during visits to US emergency departments for injury-related conditions, 1998-2007. *JAMA*. 2010;304:1465-71.
22. Hartnell GG, Spence L, Hughes LA, Cohen MC, Saouaf R, Buff B. Safety of MR imaging in patients who have retained metallic materials after cardiac surgery. *AJR AM J Roentgenol*. 1997;168:1157-9.
23. Shellock FG, Tkach JA, Ruggieri PM, Masaryk TJ. Cardiac pacemakers, ICDs, and loop recorder: evaluation of translational attraction using conventional ("long-bore") and "short-bore" 1.5- and 3.0-Tesla MR systems. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2003;5:387-97.
24. Gimbel JR, Zarghami J, Machado C, Wilkoff BL. Safe scanning, but frequent artifacts mimicking bradycardia and tachycardia during magnetic resonance imaging (MR) in patients with an implantable loop recorder (ILR). *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2005;10:404-8.
25. Wong JA, Yee R, Gula LJ, Skanes AC, Ross IG, White JB, Klein GJ, Krahn AD. Feasibility of magnetic resonance imaging in patients with an implantable loop recorder. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2008;31:333-7.
26. Faris OP, Shein M. Food and Drug Administration perspective: Magnetic resonance imaging of pacemaker and implantable cardioverter- defibrillator patients. *Circulation*. 2006;114:1232-33.
27. Smith JM. Industry viewpoint: Guidant: pacemakers, ICDs, and MR. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2005;28:264.
28. Stanton MS. Industry viewpoint: Medtronic: pacemakers, ICDs, and MR. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2005;28:265.
29. Levine PA. Industry viewpoint: St. Jude Medical: pacemakers, ICDs and MR. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2005;28:266-7.
30. Hayes DL, Holmes DR Jr, Gray JE. Effect of 1.5 tesla nuclear magnetic resonance imaging scanner on implanted permanent pacemakers. *J Am Coll Cardiol*. 1987;10:782-6.
31. Avery JK. Loss prevention case of the month: not my responsibility! *J Tenn Med Assoc*. 1988; 81: 523
32. Gimbel JR. Implantable pacemaker and defibrillator safety in the MR environment: new thoughts for the new millennium. In: 2001 Syllabus, Special Cross-Specialty Categorical Course in Diagnostic Radiology: Practical MR Safety Considerations for Physicians, Physicists, and Technologists. Oak Lawn, Ill: Radiological Society of North America; 2001: 69-76.
33. Martin ET, Coman JA, Shellock FG, Pulling CC, Fair R, Jenkins K. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. *J Am Coll Cardiol*. 2004;43:1315-24.
34. Gimbel JR. Magnetic resonance imaging of implantable cardiac rhythm devices at 3.0 tesla. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2008;31:795-801.
35. Gimbel JR. Unexpected asystole during 3T magnetic resonance imaging of a pacemaker-dependent patient with a 'modern' pacemaker. *Europace*. 2009;11:1241-2.

36. Naehle CP, Meyer C, Thomas D, Remerie S, Krautmacher C, Litt H, Luechinger R, Fimmers R, Schild H, Sommer T. Safety of brain 3-T MR imaging with transmit-receive head coil in patients with cardiac pacemakers: pilot prospective study with 51 examinations. *Radiology*. 2008;249:991-1001.
37. Cohen JD, Costa HS, Russo RJ. Determining the risks of magnetic resonance imaging at 1.5 tesla for patients with pacemakers and implantable cardioverter defibrillators. *Am J Cardiol*. 2012;110:1631-6.



Canadian Association of Radiologists
L'Association canadienne des radiologistes

SUPPLÉMENT EN LIGNE — CONSENSUS CONJOINT
DE LA SOCIÉTÉ CANADIENNE DE RYTHMOLOGIE
(CHRS) ET DE L'ASSOCIATION CANADIENNE DES
RADIOLOGISTES (CAR) SUR LA PRATIQUE DE
L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE EN
PRÉSENCE DE DISPOSITIFS CARDIAQUES
ÉLECTRONIQUES IMPLANTABLES (DCEI)

TABLE DES MATIÈRES

VERSION INTÉGRALE DES RECOMMANDATIONS, VALEURS ET PRÉFÉRENCES (FORMAT DU SYSTÈME GRADE).....	29
TABLEAU S1. Études visant la pratique d'examens d'IRM chez les patients porteurs de stimulateurs cardiaques non compatibles avec l'IRM.....	31
TABLEAU S2. Études publiées sur la pratique d'examens d'IRM chez les patients porteurs de défibrillateurs cardioverters implantables (DCI) non compatibles avec l'IRM	33
Figure S1. Schéma de déroulement du travail — Processus de triage et d'aiguillage des patients porteurs de systèmes de DCEI en vue d'un examen d'IRM	35
Figure S2. Schéma de déroulement du travail — Pratique d'examens d'IRM chez les patients porteurs de DCEI.....	36
RÉFÉRENCES RELATIVES AUX TABLEAUX S1 ET S2.....	37

VERSION INTÉGRALE DES RECOMMANDATIONS, VALEURS ET PRÉFÉRENCES (FORMAT DU SYSTÈME GRADE)

1. Nous recommandons que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) puisse être pratiquée en présence de dispositifs cardiaques électroniques implantables (DCEI) compatibles avec l'IRM sous certaines conditions en n'exposant qu'à un faible risque de complications potentiellement mortelles, dans la mesure où les patients et leur DCEI sont évalués de façon adéquate avant l'examen d'imagerie et où le protocole de l'examen respecte les spécifications visant le modèle de DCEI en question (forte recommandation, données probantes de qualité intermédiaire). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance à la recherche cumulée sur les examens d'IRM en présence de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions, pratiqués avant et après que les DCEI ont été approuvés par les organismes de réglementation en matière de dispositifs médicaux.
2. Nous recommandons que les établissements qui pratiquent des examens d'IRM chez les patients porteurs de systèmes de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions établissent un protocole officiel issu d'une étroite collaboration entre le centre de stimulation cardiaque et le service de radiologie (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance au lien de collaboration entre le centre de stimulation cardiaque et le service de radiologie. Les membres de chaque discipline détiennent des expertises complémentaires qui permettent d'assurer la réussite et la sécurité des examens pratiqués chez les patients porteurs de DCEI compatibles avec l'IRM sous certaines conditions. Ceci reflète l'avis unanime du comité de rédaction.
3. Nous recommandons que les éléments suivants fassent partie des rôles précis que doit remplir le centre de stimulation cardiaque avant la tenue d'un examen d'IRM chez un patient porteur d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions : i) identifier toutes les composantes du DCEI et confirmer leur compatibilité conditionnelle avec l'IRM, ii) vérifier le DCEI afin de s'assurer qu'il ne présente aucune anomalie sur le plan fonctionnel, iii) programmer le DCEI en mode IRM pour éviter une stimulation inappropriée, l'arrêt du dispositif ou la prestation d'un traitement inapproprié (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance à la préparation adéquate du patient réalisée par le centre de stimulation cardiaque avant la tenue de l'examen d'IRM afin de minimiser les éventuels risques associés à l'examen.
4. Nous recommandons que les éléments suivants fassent partie des rôles précis que doit remplir le service de radiologie avant la tenue d'un examen d'IRM chez un patient porteur d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions : i) trier les demandes d'IRM afin de déterminer le caractère approprié de l'examen d'imagerie, ii) prendre des dispositions avec le centre de stimulation cardiaque en vue de préparer le patient à l'examen d'imagerie, iii) définir des protocoles standardisés d'imagerie afin de réaliser l'examen d'IRM conformément aux paramètres suggérés par le fabricant et le radiologue (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance à la sélection minutieuse des patients à des fins d'IRM et à l'établissement de protocoles d'imagerie judicieux, conformes aux spécifications d'imagerie recommandées.

5. Nous recommandons que les services d'un intervenant du centre de stimulation cardiaque (technicien, infirmier ou médecin) soient facilement accessibles à l'équipe d'IRM (sans nécessairement être offerts en personne) pendant la tenue de l'examen d'IRM afin d'assurer la prise en charge du DCEI (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance au fait de pouvoir accéder facilement aux services d'intervenants détenant une formation en stimulation cardiaque lorsque des complications liées au DCEI surviennent pendant l'examen d'IRM.
6. Nous recommandons que le service de radiologie assure une surveillance adéquate des patients porteurs de DCEI pendant la tenue de l'examen d'IRM afin de minimiser les événements indésirables associés à l'examen. Les exigences de base en matière de surveillance du patient comprennent des modes de communication bilatérale entre l'opérateur et le patient et, soit l'oxymétrie soit la télésurveillance par ECG, et l'accès à de l'équipement de réanimation d'urgence (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance à la capacité d'assurer la sécurité du patient pendant la tenue de l'examen d'IRM, en instaurant des mesures qui permettront de détecter rapidement tout problème de DCEI et d'intervenir de toute urgence si un événement potentiellement mortel survient pendant l'examen.
7. Nous recommandons que le patient soit réévalué au centre de stimulation cardiaque après la tenue de l'examen d'IRM afin de repérer toute anomalie découlant de l'examen d'IRM et de reprogrammer le DCEI en fonction des paramètres initiaux (avant la tenue de l'examen d'IRM) (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance à la sécurité du patient en vérifiant le bon fonctionnement et la programmation du DCEI avant, pendant et après la tenue de l'examen d'IRM.
8. Nous recommandons que les situations suivantes soient considérées comme des contre-indications à l'examen d'IRM : i) sonde de stimulation ou de défibrillation fracturée (soupçonnée ou confirmée), ii) sonde de stimulation épicaudique ou de défibrillation abandonnée (implantée à des fins de stimulation ou de traitement par défibrillation permanent), iii) sonde-extension, adaptateur de sonde ou vestiges de sonde demeurés dans l'organisme (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance à la sécurité du patient puisque des événements indésirables graves et potentiellement mortels ont été observés lorsque des examens d'IRM ont été pratiqués chez des patients présentant des sondes fracturées ou abandonnées, ou encore des vestiges de sondes.
9. Nous recommandons que la pratique de l'IRM en présence de DCEI non compatibles avec l'IRM soit réservée aux centres détenant une grande expertise en IRM et en prise en charge des DCEI. Ces centres doivent suivre des protocoles d'imagerie et de surveillance des signes vitaux bien définis et établis, issus d'une collaboration étroite entre le centre de stimulation cardiaque et le service de radiologie (forte recommandation, données probantes de qualité faible). VALEURS ET PRÉFÉRENCES : Dans le cadre de cette recommandation, on accorde une grande importance aux études ayant démontré qu'un examen d'IRM pouvait être réalisé en toute sécurité chez certains patients porteurs de DCEI non compatibles avec l'IRM. Le comité de rédaction déconseille toutefois la pratique d'examens d'IRM chez les patients porteurs de DCEI non compatibles avec l'IRM dans les centres qui ne sont pas dotés de protocoles d'imagerie et de surveillance bien définis et établis.

TABLEAU SI.

ÉTUDES VISANT LA PRATIQUE D'EXAMENS D'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE STIMULATEURS CARDIAQUES NON COMPATIBLES AVEC L'IRM

Étude	Nombre total de patients	Nombre de patients porteurs d'un stimulateur cardiaque	Tesla (T)	Nombre de patients cardio-stimulateur dépendants	Anomalies relatives au fonctionnement du dispositif pendant ou après l'examen d'IRM
Gimbel et coll. [38]	5	5	0,5 T	1	Pause asymptomatique de 2 secondes chez un patient dépendant muni d'une sonde unipolaire et dont le dispositif était programmé en mode DOO
Sommer et coll. [39]	18	18	0,5 T	n. d.	Activation du commutateur à lames et stimulation continue à une fréquence fixe (n = 18)
Sommer et coll. [40]	44	44	0,5 T	0	Aucune
Vahlhaus et coll. [41]	32	32	0,5 T	0	Désactivation temporaire du commutateur à lames (n = 12) Baisse du voltage de la pile observée immédiatement après l'examen, mais retour à la normale trois mois plus tard
Martin et coll. [33]	54	54	1,5 T	0	Changements de paramètres touchant 9,4 % des sondes; la programmation de la stimulation a dû être modifiée dans 1,9 % des cas
Del Ojo et coll. [42]	13	13	2,0 T	0	Aucune
Gimbel et coll. [43]	10	10	1,5 T	10	Changement touchant le seuil de stimulation de l'ordre de $\pm 0,5$ V après 3 mois (n = 7)
Sommer et coll. [44]	82	82	1,5 T	0	Réinitialisation du circuit électrique (power on reset) (n=7) Hausse du seuil de stimulation après l'examen d'IRM; cette hausse n'a pas modifié la programmation de la stimulation
Nazarian et coll. [45]	55	31	1,5 T	12	Aucune
Naehle et coll. [36]	44	44	3,0 T	0	Aucune
Mollerus et coll. [46]	37	32	1,5 T	0	Aucune

Étude	Nombre total de patients	Nombre de patients porteurs d'un stimulateur cardiaque	Tesla (T)	Nombre de patients cardio-stimulateur dépendants	Anomalies relatives au fonctionnement du dispositif pendant ou après l'examen d'IRM
Naehle et coll. [47]	47	47	1,5 T	n.d.	Baisse du seuil de stimulation et du voltage de la pile associée à la tenue d'examens d'IRM répétitifs (171 examens réalisés chez 47 patients). Ces changements n'ont pas modifié la programmation de la stimulation
Mollerus et coll. [48]	52	46	1,5 T	0	Ectopie ventriculaire asymptomatique durant l'examen; dans certains cas, attribuable à la fonction antibruit du dispositif (n = 4)
Pulver et coll. [49]	8	8	1,5 T	0	Aucune
Mollerus et coll. [50]	127	105	1,5 T	0	Aucune
Halshtok et coll. [51]	18	9	1,5 T	6	Réinitialisation de l'alimentation (n = 2)
Strach et coll. [52]	114	114	0,2 T	Oui (nombre exact inconnu)	Aucune
Burke et coll. [53]	38	24	1,5 T	6 au total (nombre de patients porteurs de stimulateurs cardiaques incertain)	Aucune
Buendia et coll. [54]	33	28	1,5 T	4 au total (nombre de patients porteurs de stimulateurs cardiaques incertain)	Défaillance temporaire touchant la communication (n = 2) Surdétection attribuable à l'interférence électromagnétique (n = 1) Signal de sécurité (n = 1)
Nazarian et coll. [55]	438	237	1,5 T	53	Réinitialisation de l'alimentation (n = 2)
Cohen et coll. [37]	109	69	1,5 T	29 au total (nombre de patients porteurs de stimulateurs cardiaques incertain)	Des changements ont été observés à l'égard de divers paramètres des sondes (dans 2 à 12 % des cas), ceux-ci ne différant pas sur le plan statistique de ceux d'un groupe témoin historique
Boilson et coll. [56]	32	32	1,5 T	0	Réinitialisation de l'alimentation (n = 5) Stimulation asynchrone en mode sous aimant (n = 3)

n. d. : Non disponible | Adapté du document de référence 7 du document de consensus principal.

Les références associées au tableau S1 sont indiquées à la fin du supplément en ligne.

TABLEAU S2.

ÉTUDES PUBLIÉES SUR LA PRATIQUE D'EXAMENS D'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DÉFIBRILLATEURS CARDIOVERTEURS IMPLANTABLES (DCI) NON COMPATIBLES AVEC L'IRM

Étude	Nombre total de patients	Nombre de patients porteurs d'un DCI	Tesla (T)	Nombre de patients stimulateur dépendants	Anomalies relatives au fonctionnement du dispositif pendant ou après l'examen d'IRM
Gimbel et coll. [57]	7	7	1,5 T	0	Réinitialisation de l'alimentation (n = 1)
Nazarian et coll. [45]	55	24	1,5 T	0	Aucune
Mollerus et coll. [46]	37	5	1,5 T	0	Aucune
Naehle et coll. [58]	18	18	1,5 T	0	Baisse du voltage de la pile (n = 2) Surdétection de l'interférence électromagnétique à titre d'épisode de fibrillation ventriculaire; aucun traitement de défibrillation n'a été délivré (n=2)
Mollerus et coll. [48]	52	6	1,5 T	0	Ectopie ventriculaire asymptomatique durant l'examen; dans certains cas, attribuable à la fonction antibruit du dispositif (n = 3)
Mollerus et coll. [50]	127	22	1,5 T	0	Réduction touchant l'amplitude de détection et l'impédance de stimulation
Halshtok et coll. [51]	18	9	1,5 T	0	Aucune
Burke et coll. [53]	38	14	1,5 T	6 au total (nombre de patients porteurs de DCI incertain)	Aucune
Buendia et coll. [54]	33	5	1,5 T	4 au total (nombre de patients porteurs de DCI incertain)	Surdétection de l'interférence électromagnétique à titre d'épisode de fibrillation ventriculaire; aucun traitement de défibrillation n'a été délivré (n = 1)
Nazarian et coll. [55]	438	201	1,5 T	0	Réinitialisation de l'alimentation (n = 1) Des changements ont été observés dans les paramètres des sondes; aucun n'a entraîné la révision ou la reprogrammation du dispositif

Étude	Nombre total de patients	Nombre de patients porteurs d'un DCI	Tesla (T)	Nombre de patients stimulateur dépendants	Anomalies relatives au fonctionnement du dispositif pendant ou après l'examen d'IRM
Cohen et coll. [37]	109	40	1,5 T	29 au total (nombre de patients porteurs de DCI incertain)	Des changements ont été observés à l'égard de divers paramètres des sondes (dans 2 à 12 % des cas), ceux-ci ne différant pas sur le plan statistique de ceux d'un groupe témoin historique

DCI = défibrillateur cardiovertteur implantable

Adapté du document de référence 7 du document de consensus principal.

Les références associées au tableau S2 sont indiquées à la fin du supplément en ligne.

FIGURE S1.

SCHÉMA DE DÉROULEMENT DU TRAVAIL — PROCESSUS DE TRIAGE ET D'AIGUILLAGE DES PATIENTS PORTEURS DE SYSTÈMES DE DCEI EN VUE D'UN EXAMEN D'IRM

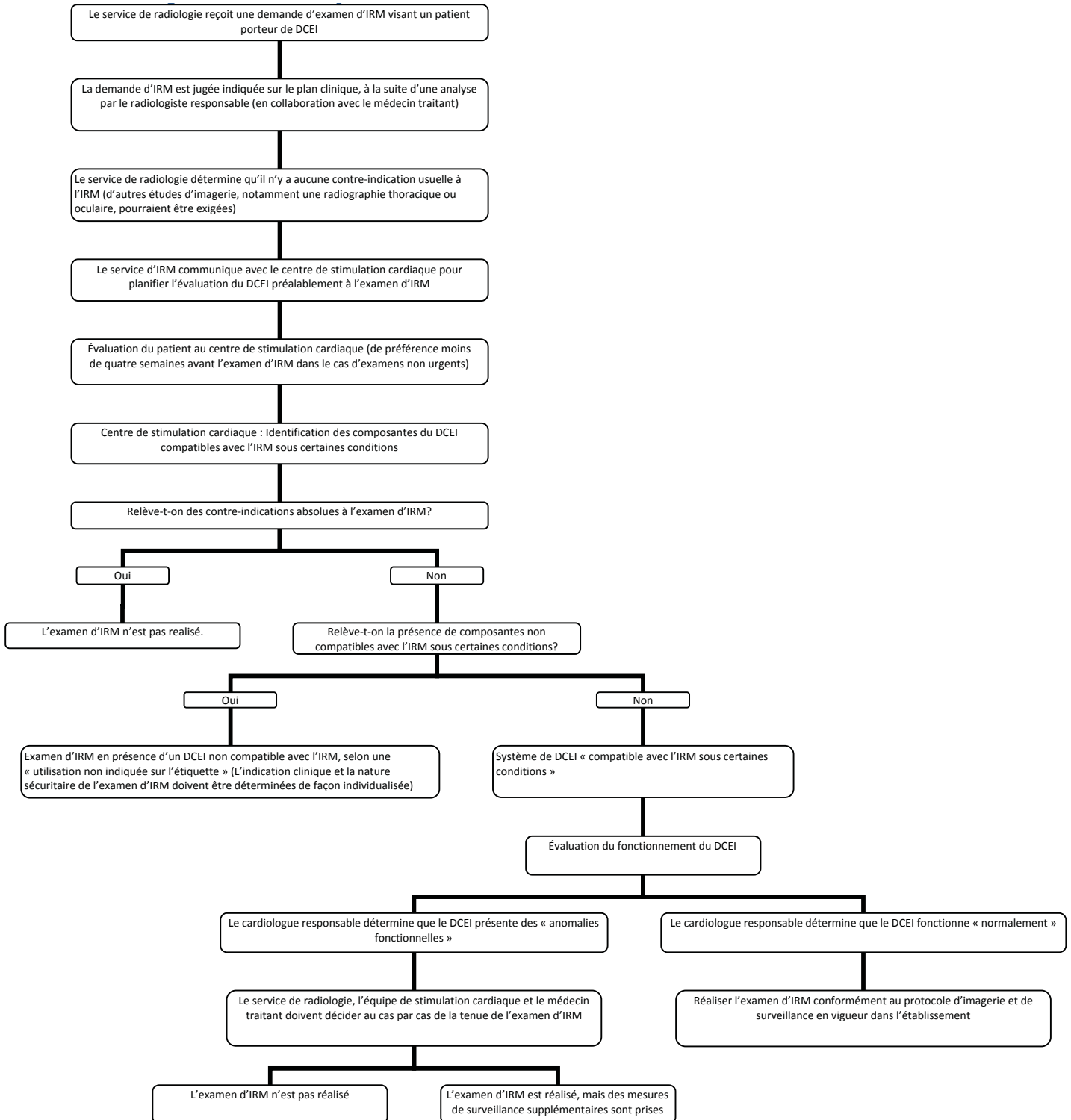


FIGURE S2.

SCHÉMA DE DÉROULEMENT DU TRAVAIL — PRATIQUE D'EXAMENS D'IRM CHEZ LES PATIENTS PORTEURS DE DCEI

Un examen d'IRM peut être réalisé si, de l'avis du radiologiste, du cardiologue spécialisé en stimulation cardiaque et du médecin traitant, il présente un rapport avantages/risques acceptable

Liste de vérification – Étapes à suivre et exigences à respecter avant la tenue de l'examen d'IRM

1. Relève-t-on une contre-indication absolue à l'examen d'IRM?
2. Le radiologiste a-t-il reçu le formulaire de consentement?*
3. Le patient a-t-il été évalué au centre de stimulation cardiaque dans le cadre d'une visite préalable à l'examen d'imagerie?
 - Le fabricant et le modèle exacts de chaque composante de l'implant doivent être documentés.
 - A-t-on interrogé le DCEI et les résultats de cette interrogation ont-ils été documentés? En ce qui concerne le fonctionnement du dispositif, est-il question d'anomalies devant être analysées par le centre de stimulation cardiaque avant la tenue de l'examen d'IRM?
4. Les paramètres du DCEI sont-ils correctement programmés en vue de l'examen d'IRM? (documentation requise)
5. A-t-on facilement accès à un chariot de réanimation cardiaque comprenant un défibrillateur externe?
 - Les signes vitaux du patient font-ils l'objet d'une surveillance?
6. Mise en place d'au moins l'un des deux modes de surveillance suivants : ECG ou oxymétrie
7. Le protocole d'IRM convient-il au patient?
 - Recommandations concernant certains points généraux : limiter l'intensité de champ à 1,5 T; limiter le TAS à moins de 2 W/kg de poids corporel; limiter la vitesse maximale de montée de gradient à 200 T/m/s; minimiser le nombre et la durée des séquences; dans la mesure du possible, privilégier le recours à une antenne émettrice-réceptrice.
 - Si le patient est porteur d'un DCEI compatible avec l'IRM sous certaines conditions, le protocole d'imagerie a-t-il été adapté en fonction des spécifications d'examen établies par le fabricant du DCEI?

** L'obtention d'un formulaire de consentement à l'examen d'IRM n'est peut-être pas systématiquement requise pour tous les patients porteurs de DCEI. Toutefois, il est recommandé d'obtenir un tel consentement dans le cas de tous les patients porteurs de DCEI devant subir un examen d'IRM selon « une utilisation non indiquée sur l'étiquette ».*

Liste de vérification – Étapes à suivre et exigences à respecter après la tenue de l'examen d'IRM

1. Le centre de stimulation cardiaque a-t-il procédé à une nouvelle interrogation du DCEI? (documentation requise)
2. Le DCEI a-t-il été reprogrammé en fonction de ses paramètres initiaux? (documentation requise)
3. Si des changements ont été observés dans le fonctionnement du DCEI à la suite de l'examen d'IRM, ceux-ci ont-ils été communiqués au cardiologue spécialisé en stimulation cardiaque? (documentation requise)
4. A-t-on discuté du plan de suivi touchant le DCEI (dans la mesure où un tel plan est requis) avec le patient? (documentation requise)

RÉFÉRENCES RELATIVES AUX TABLEAUX S1 ET S2

38. Gimbel JR, Johnson D, Levine PA, Wilkoff BL. Safe performance of magnetic resonance imaging on five patients with permanent cardiac pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol.* 1996;19:913–919.
39. Sommer T, Lauck G, Schimpf R, von Smekal A, Wolke S, Block W, Gieseke J, Schneider C, Funke HD, Schild H. MRI in patients with cardiac pacemakers: in vitro and in vivo evaluation at 0.5 tesla. *Rofo.* 1998;168:36–43.
40. Sommer T, Vahlhaus C, Lauck G, von Smekal A, Reinke M, Hofer U, Block W, Träber F, Schneider C, Gieseke J, Jung W, Schild H. MR imaging and cardiac pacemakers: in-vitro evaluation and in-vivo studies in 51 patients at 0.5 T. *Radiology.* 2000;215:869–879.
41. Vahlhaus C, Sommer T, Lewalter T, Schimpf R, Schumacher B, Jung W, Lüderitz B. Interference with cardiac pacemakers by magnetic resonance imaging: are there irreversible changes at 0.5 Tesla? *Pacing Clin Electrophysiol.* 2001;24:489–495.
42. Del Ojo JL, Moya F, Villalba J, Sanz O, Pavón R, Garcia D, Pastor L. Is magnetic resonance imaging safe in cardiac pacemaker recipients? *Pacing Clin Electrophysiol.* 2005;28:274–278.
43. Gimbel JR, Bailey SM, Tchou PJ, Ruggieri PM, Wilkoff BL. Strategies for the safe magnetic resonance imaging of pacemaker-dependent patients. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2005;28:1041–1046.
44. Sommer T, Naehle CP, Yang A, Zeijlemaker V, Hackenbroch M, Schmiedel A, Meyer C, Strach K, Skowasch D, Vahlhaus C, Litt H, Schild H. Strategy for safe performance of extrathoracic magnetic resonance imaging at 1.5 tesla in the presence of cardiac pacemakers in non-pacemaker-dependent patients: a prospective study with 115 examinations. *Circulation.* 2006;114:1285–1292.
45. Nazarian S, Roguin A, Zviman MM, Lardo AC, Dickfeld TL, Calkins H, Weiss RG, Berger RD, Bluemke DA, Halperin HR. Clinical utility and safety of a protocol for noncardiac and cardiac magnetic resonance imaging of patients with permanent pacemakers and implantable-cardioverter defibrillators at 1.5 tesla. *Circulation.* 2006;114:1277–1284.
46. Mollerus M, Albin G, Lipinski M, Lucca J. Cardiac biomarkers in patients with permanent pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators undergoing an MRI scan. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2008;31:1241–1245.
47. Naehle CP, Zeijlemaker V, Thomas D, Meyer C, Strach K, Fimmers R, Schild H, Sommer T. Evaluation of cumulative effects of MR imaging on pacemaker systems at 1.5 Tesla. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009;32:1526–1535.
48. Mollerus M, Albin G, Lipinski M, Lucca J. Ectopy in patients with permanent pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators undergoing an MRI scan. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009;32:772–778.
49. Pulver AF, Puchalski MD, Bradley DJ, Minich LL, Su JT, Saarel EV, Whitaker P, Etheridge SP. Safety and imaging quality of MRI in pediatric and adult congenital heart disease patients with pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009;32:450–456.
50. Mollerus M, Albin G, Lipinski M, Lucca J. Magnetic resonance imaging of pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators without specific absorption rate restrictions. *Europace.* 2010;12:947–51.
51. Halshtok O, Goitein O, Abu Sham'a R, Granit H, Glikson M, Konen E. Pacemakers and magnetic resonance imaging: no longer an absolute contraindication when scanned correctly. *Isr Med Assoc J.* 2010;12:391–395.

52. Strach K, Naehle CP, Mühlsteffen A, Hinz M, Bernstein A, Thomas D, Linhart M, Meyer C, Bitaraf S, Schild H, Sommer T. Low-field magnetic resonance imaging: increased safety for pacemaker patients? *Europace*. 2010;12:952–960.
53. Burke PT, Ghanbari H, Alexander PB, Shaw MK, Daccarett M, Machado C. A protocol for patients with cardiovascular implantable devices undergoing magnetic resonance imaging (MRI): should defibrillation threshold testing be performed post-(MRI). *J Interv Card Electrophysiol*. 2010;28:59–66.
54. Buendía F, Sánchez-Gómez JM, Sancho-Tello MJ, Olagüe J, Osca J, Cano O, Arnau MA, Igual B. Nuclear magnetic resonance imaging in patients with cardiac pacing devices. *Rev Esp Cardiol*. 2010;63:735–739.
55. Nazarian S, Hansford R, Roguin A, Goldsher D, Zviman MM, Lardo AC, Caffo BS, Frick KD, Kraut MA, Kamel IR, Calkins H, Berger RD, Bluemke DA, Halperin HR. A prospective evaluation of a protocol for magnetic resonance imaging of patients with implanted cardiac devices. *Ann Intern Med*. 2011;155:415–424.
56. Boilson BA, Wokhlu A, Acker NG, Felmlee JP, Watson RE Jr, Julsrud PR, Friedman PA, Cha YM, Rea RF, Hayes DL, Shen WK. Safety of magnetic resonance imaging in patients with permanent pacemakers: a collaborative clinical approach. *J Interv Card Electrophysiol*. 2012;33:59–67.
57. Gimbel JR, Kanal E, Schwartz KM, Wilkoff BL. Outcome of magnetic resonance imaging (MRI) in selected patients with implantable cardioverter defibrillators (ICDs). *Pacing Clin Electrophysiol*. 2005;28:270–273.
58. Naehle CP, Strach K, Thomas D, Meyer C, Linhart M, Bitaraf S, Litt H, Schwab JO, Schild H, Sommer T. Magnetic resonance imaging at 1.5-T in patients with implantable cardioverter-defibrillators. *J Am Coll Cardiol*. 2009;54:549–555.