

# CT-scan en cardiologie en 2019: un rôle central et des applications étendues

Drs GEORGIOS TZIMAS<sup>a</sup>, DAVID MEIER<sup>a</sup>, PIERRE MONNEY<sup>a</sup>, CHRISTAN ROGUELOV<sup>a</sup>, IOANNIS SKALIDIS<sup>a</sup>,  
Pr OLIVIER MULLER<sup>a</sup>, Dr STÉPHANE FOURNIER<sup>a</sup> et Pr SALAH DINE QANADLI<sup>b</sup>

Rev Med Suisse 2019; 15: 1060-6

**Cet article a pour objectif de préciser l'intérêt du CT-scan cardiaque et de ses nouvelles applications dans les différents domaines de la cardiologie aussi bien pour le diagnostic que pour l'évaluation préthérapeutique, notamment la maladie coronarienne stable, le syndrome coronarien aigu, les maladies valvulaires ainsi que l'évaluation fonctionnelle et morphologique du cœur.**

L'objectif de cet article est de préciser les indications du CTC dans la prise en charge de la maladie coronarienne et de mieux définir son rôle dans la pratique de la cardiologie en 2019 (**tableau 1**). Un accent particulier est mis sur les nouvelles applications et nouveaux défis du CTC.

## Cardiac CT in cardiology in 2019: major role and extended applications

*This article aims to clarify the value of cardiac CT as well as its new applications in the different areas of cardiology for both diagnosis and pretreatment evaluation, including stable coronary artery disease, acute coronary syndrome, valvular disease and the functional and morphological evaluation of the heart.*

## INTRODUCTION

Ces dernières années, les techniques d'imagerie cardiaque non invasives ont évolué rapidement pour devenir des outils diagnostiques toujours plus performants. Ainsi, les progrès techniques tant au niveau des appareils que des algorithmes de traitement des images ont permis au CT-scan cardiaque (CTC) de se faire une place de choix dans l'arsenal diagnostique cardiologique, avec, en premier lieu, un large champ d'applications dans l'évaluation de la maladie coronarienne. La valeur diagnostique du CTC s'est progressivement affinée, en particulier avec l'introduction récente d'une technique basée sur la modélisation du flux coronarien à partir des données de CTC qui permet d'obtenir des informations sur la réserve du flux coronaire (FFR ou fractional flow reserve). Initié d'abord pour l'évaluation des coronaires, le CTC a vu ses indications s'élargir aux autres structures du cœur pour évaluer non seulement la morphologie, mais aussi la fonction. Outre sa valeur diagnostique, le CTC s'est rapidement imposé comme examen de choix dans l'évaluation préthérapeutique et la planification de la prise en charge des patients qui en découle. C'est par exemple le cas dans les sténoses aortiques pouvant relever d'un remplacement transcathéter.

## MALADIE CORONARIENNE STABLE

Selon les recommandations de la Société européenne de cardiologie relatives à la prise en charge de la maladie coronarienne stable,<sup>1</sup> le CTC offre, pour des patients adéquatement sélectionnés, d'excellentes performances diagnostiques, avec une sensibilité et une spécificité pour détecter une sténose coronarienne de > 50% (en prenant l'angiographie comme référence), atteignant respectivement 95-99% et 64-83%.<sup>2-4</sup> La sensibilité de la méthode étant meilleure que sa spécificité, le principal attrait du CTC est sa valeur prédictive négative élevée, ce qui permet d'exclure de façon fiable une maladie coronarienne en cas d'examen négatif. Son rendement dépend toutefois également d'une sélection minutieuse des patients, la qualité des images dépendant de la capacité du patient à effectuer des apnées, de l'absence d'obésité sévère et de calcifications coronariennes, et de la présence d'un rythme sinusal plutôt lent (aux alentours de 65/min). La fiabilité est par ailleurs réduite en présence d'une athérosclérose connue, d'un antécédent d'angioplastie/stent, d'un infarctus du myocarde ou d'un status après pontages aorto-coronariens.<sup>5</sup> Tenant compte de ces limitations, le CT-scan coronarien est actuellement recommandé chez les patients à risque intermédiaire de maladie coronarienne (probabilité prétest estimée entre 15 et 50%) dans le but d'exclure une athéromatose significative.

Une stratégie basée sur le CTC a été investiguée dans l'étude multicentrique PROMISE<sup>6</sup> qui a randomisé > 10 000 patients présentant des symptômes suggestifs d'une maladie coronarienne (probabilité prétest de 53,3 ± 21,4%) en 2 groupes: un groupe alloué à une évaluation initiale par CTC et un autre à une évaluation par un test fonctionnel non invasif autre (épreuve d'effort, échocardiographie de stress ou scintigraphie myocardique). Après un suivi de deux ans, aucune différence significative sur le critère d'évaluation principal (décès, infarctus myocardique, hospitalisation pour angor instable ou complication majeure de la procédure) n'a été observée. Plus récemment, l'étude SCOT-HEART<sup>7</sup> a randomisé 4146 patients présentant des douleurs thoraciques stables en deux groupes: CT-scan coronaire ou conduite d'une évaluation standard

<sup>a</sup> Service de cardiologie, CHUV, 1011 Lausanne, <sup>b</sup> Service de radiologie, CHUV, 1011 Lausanne  
georgios.tzimas@chuv.ch | david.meier@chuv.ch | pierre.monney@chuv.ch  
christan.roguelov@chuv.ch | ioannis.skalidis@chuv.ch | olivier.muller@chuv.ch  
stephane.fournier@chuv.ch | salah.qanadli@chuv.ch

Magnesium-Diasporal® 300  
Les deux admis  
par les caisses

12,4  
mmol

Absorption rapide,  
bonne tolérance.

- Dosage maximal
- Excellente biodisponibilité grâce au citrate de magnésium pur
- Seulement 1 fois par jour



DG

DOETSCH GREYER AG · BASEL

Information professionnelle abrégée: **principe actif:** magnesii citras anhydricus. **Magnesium-Diasporal® 300 et 300 sans sucre, Granulés:** liste B, remboursé par la caisse maladie; 301 mg Mg<sup>2+</sup> par sachet (= 12,4 mmol). **Dosage/utilisation:** adultes, enfants à partir de 12 ans: boire 1 sachet/jour dissous dans un liquide. Présentation: 20 et 50 sachets. **Magnesium-Diasporal® 100 Comprimés à sucer:** liste D; 98,6 mg Mg<sup>2+</sup> par cp à sucer. **Dosage/utilisation:** adultes, enfants à partir de 12 ans: 3 comprimés à sucer/jour. Enfants de moins de 12 ans: voir Compendium des Médicaments. Présentation: 50 cp à sucer. **Indications:** carence en magnésium. Voir Compendium des Médicaments. **Contre-indications:** insuffisance rénale, prédisposition aux concrétions, exsiccose, hypersensibilité au principe actif ou excipients. **Mises en garde et précautions:** troubles de la fonction rénale, troubles bradycardiques de la conduction intracardiaque. **Effets indésirables:** entraîne parfois des selles molles. **Interactions:** tétracycline, sels de fer, cholécaciferol. Informations détaillées sur [www.swissmedinfo.ch](http://www.swissmedinfo.ch). Doetsch Grether AG, Steinentorstrasse 23, CH-4051 Bâle. [www.doetschgrether.ch](http://www.doetschgrether.ch)

TABLEAU 1

## Indications et performance du CT cardiaque dans la prise en charge des différents domaines de cardiologie

CTC: CT-scan cardiaque; (+): utilité faible; (++) : utilité moyenne; (+++): utilité élevée.

Indications	Domaines	Utilité du CTC	Figures
Maladie coronarienne	Maladie coronarienne stable (risque bas-intermédiaire)	++	Figure 1
	Syndrome coronarien aigu	?	-
Valvulopathie	Sténose aortique (Evaluation sévérité, planification du TAVI)	+++	Figure 2
	Insuffisance mitrale (Evaluation de l'anneau et des relations de la valve mitrale avec la chambre de chasse gauche)	+	-
Evaluation morphologique et fonctionnelle	Fermeture auriculaire	+	Figure 3
	Masse cardiaque	+	Figure 4
	Endocardite	+++	Figure 5
	Fonction cardiaque	+	-

(épreuve d'effort, échocardiographie de stress ou scintigraphie myocardique). Les résultats de cette étude, dont le suivi à 5 ans a été récemment publié dans le *New England Journal of Medicine*, ont montré que la réalisation du CT-scan coronarien résultait en une diminution significative du critère principal de l'étude (composite incluant les décès liés à la maladie coronarienne et les infarctus du myocarde non mortels). Enfin, une étude très récente s'est intéressée à la capacité du CT-scan coronarien à choisir la stratégie de revascularisation appropriée (stenting, pontage ou traitement médical) chez des patients présentant des lésions des 3 vaisseaux ou du tronc commun.<sup>8</sup> Les 223 patients de cette étude ont bénéficié d'une coronarographie et d'un CT-scan coronarien dont les rapports ont été remis séparément à 2 *Heart Team* différentes (chacune bénéficiant d'un seul des deux rapports) pour décision. De façon très intéressante, les auteurs ont pu mettre en évidence une excellente concordance entre les décisions prises sur la base du CT-scan coronarien seul, et celles prises après lecture du rapport de coronarographie. Ces résultats préliminaires suggèrent, et pour la première fois, la faisabilité théorique d'un choix de la modalité de revascularisation basé uniquement sur une évaluation non invasive sans nécessité de coronarographie invasive diagnostique, jusque-là jugée indispensable.

Si l'évaluation anatomique des artères coronaires par CTC est de qualité suffisante pour une utilisation de routine, la valeur prédictive positive de l'examen était, jusqu'à récemment, limitée par l'absence d'information fonctionnelle, rendant difficile la prise de décision en présence de sténoses intermédiaires. En effet, tout comme pour la coronarographie, l'absence d'intégration de la physiologie (l'absence d'information sur la présence ou non d'une ischémie induite par une sténose) limite les conclusions de l'examen. Ainsi, pour la coronarographie, une lésion (sténose) intermédiaire doit être systématiquement évaluée par FFR. Cette mesure de la FFR est une méthode bien validée, qui calcule de façon invasive le gradient de pression à travers une sténose en situation d'hyperémie maximale induite par de l'adénosine. Une telle mesure invasive des pressions intracoronariennes n'étant pas envisageable lors d'un CTC, des algorithmes de modélisation

tridimensionnelle des flux coronariens ont été développés sur la base des images CTC par la société HeartFlow, permettant d'estimer la FFR à partir des images scanographiques seules. La méthode, appelée FFR-CT nécessite l'envoi des images, via une plateforme informatique, à la société Heartflow qui modélise l'arbre coronarien et l'impact hémodynamique de chaque sténose anatomique (figure 1), et restitue au clinicien un rapport anatomo-fonctionnel détaillé.<sup>9</sup> Cette nouvelle application du CT-scan coronarien – actuellement remboursée en Grande-Bretagne mais pas en Suisse – est particulièrement prometteuse puisqu'une très récente étude incluant 208 patients ayant bénéficié d'un CT-scan coronarien, d'un PET, d'un SPECT et d'un FFR-CT, a démontré que ce dernier avait la meilleure capacité à détecter des sténoses jugées significatives par FFR invasive.<sup>10</sup>

Pour terminer, toujours dans le but de pallier les limites de l'évaluation anatomique seule, un groupe a récemment mis en évidence que l'indice d'atténuation de la graisse périvasculaire (fat attenuation index, FAI) semble jouer un rôle pronostique dans la maladie coronarienne.<sup>11</sup> En effet, la plupart des syndromes coronariens aigus sont causés par des plaques athérosclérotiques instables mais non obstructives. L'inflammation vasculaire joue un rôle très important dans la formation de la plaque coronarienne athérosclérotique ainsi que de sa rupture. Les signaux libérés par l'inflammation vasculaire de la plaque coronarienne se diffusent dans le tissu adipeux périvasculaire, inhibant ainsi l'adipogénèse locale. Ceci modifie la composition de la graisse périvasculaire autour des plaques athérosclérotiques, résultant en une modification de son atténuation sur le CTC. Dans cette étude basée sur deux grandes cohortes de 1872 et 2040 patients, une valeur de FAI  $\geq -70.1$  HU se traduisait par une mortalité cardiaque augmentée durant un suivi moyen de 72 et 53 mois, respectivement. Ces résultats sont bien entendus préliminaires et il est trop tôt pour recommander l'utilisation routinière de cette méthode.

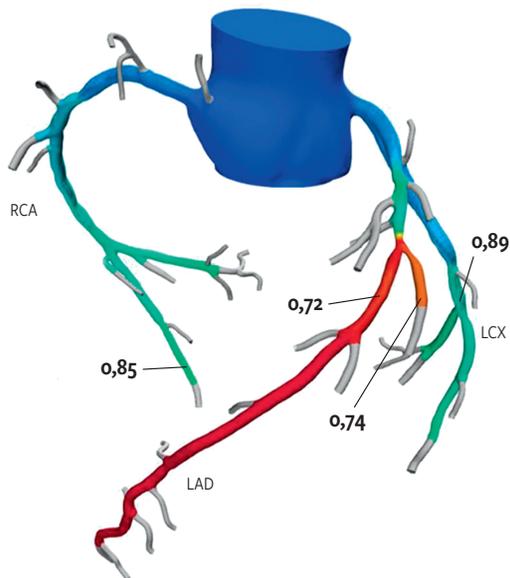
A la lumière de tous ces éléments, il semble clair que le CT-scan coronarien est amené à jouer un rôle de plus en plus central dans l'évaluation de la maladie coronarienne stable.

FIG 1

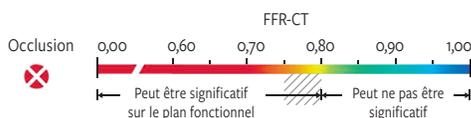
### Analyse de la réserve du flux coronaire (Fractional Flow Reserve) par FFR-CT

Analyse du flux sanguin à travers les coronaires permettant d'obtenir des données concernant la réserve du flux coronaire.

LAD: artère coronaire gauche; LCX: artère circonflexe gauche; RCA: artère coronaire droite.



Les valeurs du FFR-CT sont indiquées distalement aux sténoses modélisées > 30%



(Figure fournie par la compagnie Heart Flow).

## SYNDROME CORONARIEN AIGU

La suspicion de syndrome coronarien aigu (SCA) est un contexte particulier puisqu'il touche potentiellement une population à plus haut risque et présentant des lésions coronariennes possiblement différentes de la maladie coronarienne stable, ce qui rend impossible l'extrapolation directe des résultats obtenus dans la maladie coronarienne stable. A l'heure actuelle, le CTC a été essentiellement étudié dans des populations à risque faible à modéré se présentant aux urgences avec une suspicion de SCA. Dans une méta-analyse de 9 de ces études (n = 1 349 patients), la sensibilité du CTC pour le diagnostic de SCA sans élévation du segment ST était de 95% (IC 95%: 88-100) et la spécificité de 87% (IC 95%: 83-92). On retrouve donc des performances similaires à celles de la maladie coronarienne stable avec, au premier plan, une valeur prédictive négative élevée.<sup>12</sup> Il convient de relever que dans ces études, les patients présentaient des biomarqueurs cardiaques initiaux normaux et aucun d'entre eux ne présentait de signes électrocardiographiques d'ischémie. Par ailleurs, 4 études contrôlées randomisées, combinées dans une autre méta-analyse, ont évalué l'intérêt du CT coronarien (n = 1869 patients) par rapport à une prise en charge standard (n = 1397) lors du triage de patients jugés à risque faible à moyen, présentant une douleur thoracique aiguë sans signe d'ischémie à

l'ECG et/ou avec des troponines non conclusives. Après un suivi de 1 à 6 mois, on retrouve un pronostic identique entre les deux groupes en termes d'incidence d'infarctus et de réhospitalisation, et une réduction des coûts et de la durée du séjour dans le groupe ayant bénéficié du CT-scan. Cependant, aucune de ces études n'a utilisé comme biomarqueur de référence la troponine ultra-sensible, devenue maintenant la norme en termes de diagnostic et de stratification du risque.<sup>13-16</sup>

## VALVULOPATHIE

### Sténose valvulaire aortique

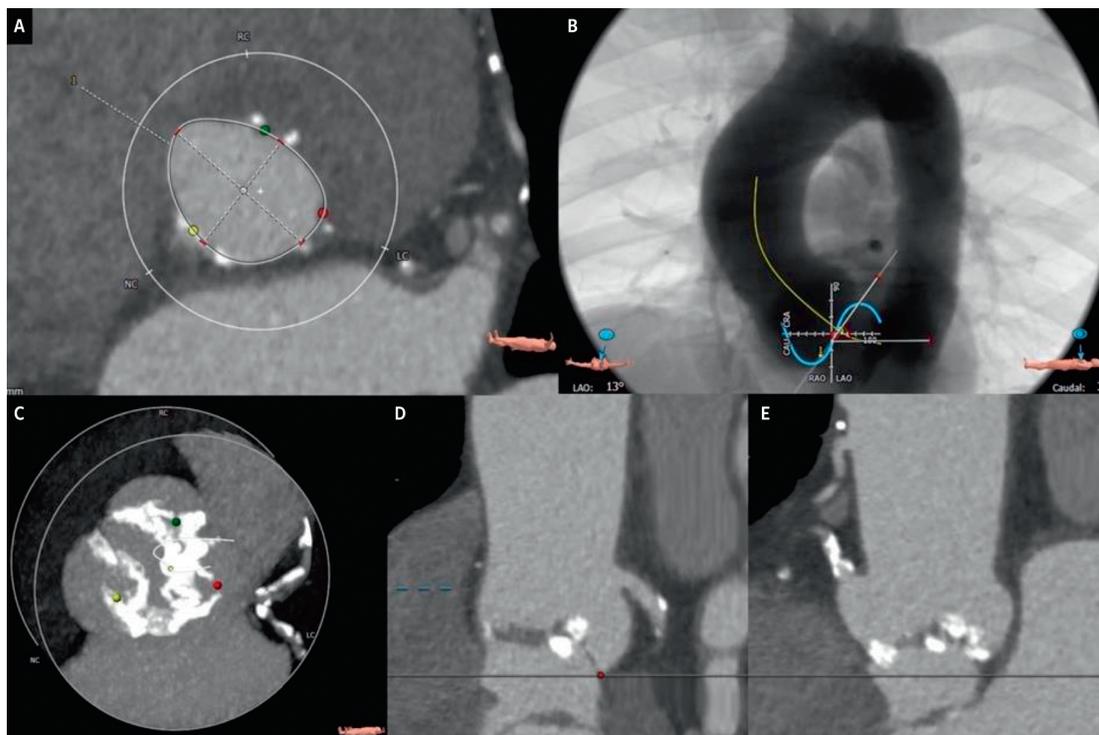
Au-delà de son intérêt dans la maladie coronarienne, le champ d'application du CTC s'est également étendu aux valvulopathies, et plus particulièrement à la sténose aortique, pour laquelle cet examen est devenu un outil précieux dans l'évaluation de la sévérité (A) et un outil indispensable dans la planification des interventions de remplacement valvulaire aortique transcathéter (TAVI: trans-catheter aortic valve implantation) (B).

A. Le diagnostic et l'évaluation de la sévérité de la sténose aortique s'évalue par échocardiographie sur la base de la mesure des gradients transvalvulaires et le calcul de la surface de l'orifice valvulaire. Toutefois, dans environ 30% des cas de sténose aortique présentant un orifice valvulaire suggérant une sténose sévère, le gradient transvalvulaire est faible, suggérant une sténose modérée. Dans de tels cas de discordance, le diagnostic de sévérité reste incertain et les recommandations de la Société européenne de cardiologie<sup>17</sup> préconisent la réalisation d'examen complémentaires. Des études observationnelles ayant établi une relation entre le degré de calcifications valvulaires aortiques et la sévérité de la sténose, la mesure d'un score calcique valvulaire par CTC est actuellement recommandée dans de tels cas. Ce score, qui se calcule de façon analogue au score calcique coronaire, a montré sa capacité à discriminer les sténoses aortiques sévères des modérées en utilisant un seuil de calcifications de 2000 unités d'Agatston (UA) chez l'homme et 1200 UA chez la femme. L'utilité clinique de cette mesure a été confirmée par la démonstration d'une valeur pronostique significative de ces seuils sur une cohorte prospective.

B. En ce qui concerne l'évaluation préopératoire, l'imagerie multimodale est primordiale afin de: a) sélectionner la taille de la prothèse; b) s'assurer que celle-ci peut être implantée en toute sécurité, en tenant compte des caractéristiques de la prothèse, ainsi que les relations anatomiques entre la valve aortique native, les ostias coronaires, la racine aortique et le ventricule gauche; c) déterminer la voie d'abord de choix et d) contribuer à l'élaboration d'un plan de procédure (figure 2).<sup>18,19</sup> Bien que l'échocardiographie transœsophagienne 3D puisse être utilisée pour la mesure de l'anneau aortique, son inconvénient réside essentiellement dans son caractère plus invasif et dans une tendance à la sous-estimation des mesures par rapport au CTC. Le CTC, couplé à l'ECG, fournit en effet des images tridimensionnelles de haute résolution spatiale, permettant une visualisation précise de l'anneau aortique, la mesure de la hauteur des ostia coronaires ainsi qu'une cartographie de la distribution des calcifications valvulaires, annulaires et sous-annulaires. Ainsi, plusieurs études ont montré un

**FIG 2** Planification d'une sténose aortique

A: Mesures au niveau de l'anneau aortique permettant de calculer le périmètre, la surface valvulaire ainsi que les diamètres minimal, maximal et moyen. Le choix du type et de la taille de la valve se base sur ces mesures. B: Analyse de l'aorte dans son ensemble à la recherche d'une angulation importante ou d'une sténose significative (critères de non-faisabilité d'une voie transfémorale) C: Calcifications valvulaires aortiques D et E: Analyse permettant de calculer la distance entre l'anneau et l'ostium des coronaires.



impact positif de l'utilisation du CTC dans la planification de la TAVI, notamment en termes de diminution drastique de l'incidence des fuites paravalvulaires.<sup>20,21</sup> Ces résultats sont d'une grande importance dans la mesure où la fuite paravalvulaire reste, à l'heure actuelle, le talon d'Achille de la TAVI. Par ailleurs, le CTC préopératoire, qui associe dans le même examen une angiographie de l'aorte et des grands axes artériels, fournit des informations détaillées sur l'anatomie vasculaire et permet de déterminer l'accès vasculaire le plus approprié pour réaliser la procédure. L'accès fémoral est l'accès de premier choix en raison de sa simplicité et de son efficacité, mais si le CTC indique une anatomie vasculaire défavorable (calcifications fémorales ou aortiques trop importantes, tortuosités sévères, sténoses ou occlusions...), le cardiologue interventionnel peut être amené à privilégier un abord alternatif, via le tronc artériel brachio-céphalique, l'artère sous-clavière, l'artère axillaire, ou par voie transapicale.

### Insuffisance mitrale

Le système Cardioband (Valtech Cardio) est une technique d'annuloplastie indirecte ajustable, conçue pour la réparation de la valve mitrale, et représente à ce jour l'une des approches percutanées les plus prometteuses. Sous guidage par échocardiographie transœsophagienne, l'anneau prothétique est amené, via la veine fémorale, au niveau de la valve mitrale sur son versant atrial. Après déploiement du système sur l'anneau mitral, l'implant est ajusté, sous contrôle échographique

continu, de manière à réduire le diamètre de l'anneau mitral et corriger l'insuffisance mitrale. Le CTC est primordial pour mesurer de façon précise la taille de l'anneau mitral et planifier la procédure (localisation du site de la ponction transseptale idéal, identification des relations entre l'artère coronaire circonflexe gauche et l'anneau mitral, et planification de vues fluoroscopiques pertinentes).

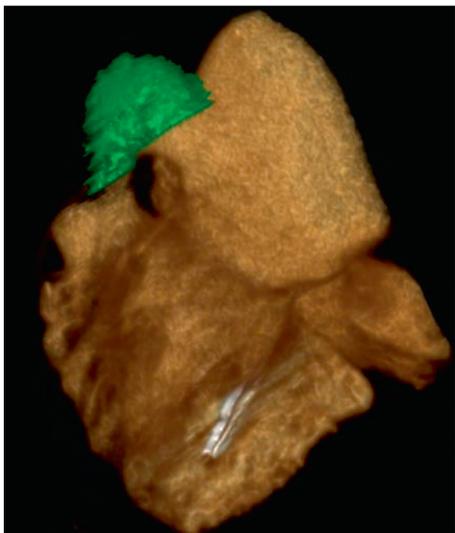
### ÉVALUATION MORPHOLOGIQUE ET FONCTIONNELLE DU CŒUR

Outre l'évaluation de la coronaropathie et de la valvulopathie, le CTC peut être utilisé pour étudier la fonction des ventricules gauche et droit ainsi que de la morphologie ventriculaire. Il constitue une alternative de dernier recours pour l'évaluation de la fonction cardiaque lorsque les modalités d'imagerie de première intention, non irradiantes, telles que l'échocardiographie ou l'IRM cardiaque, produisent des images de qualité insuffisante ou sont contre-indiquées. Le CTC permet non seulement une évaluation fonctionnelle de la fonction ventriculaire mais aussi une excellente appréciation de sa morphologie. Cet examen est devenu, par exemple, un outil précieux dans la planification des procédures d'une fermeture de l'auricule gauche en raison de sa capacité d'imagerie en 3D de haute résolution spatiale (figure 3).

Le CTC est également une méthode d'imagerie alternative pour évaluer les masses cardiaques (tumeurs cardiaques,

<b>FIG 3</b>	<b>CTC et auricule gauche</b>	
--------------	-------------------------------	--

CT cardiaque (CTC) fournissant des images 3D de l'auricule gauche dans un contexte de planification d'une fermeture de l'auricule gauche.

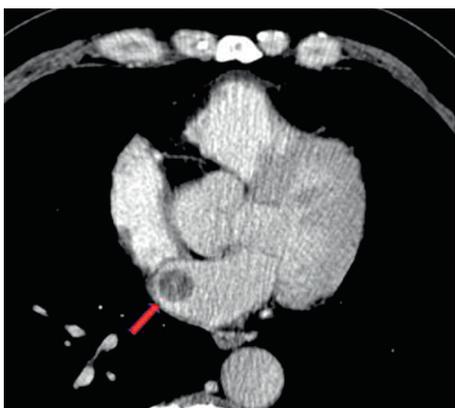


kystes) (figure 4). Comparé aux autres modalités d'imagerie cardiaque, il offre une évaluation inégalée des masses et structures calcifiées. Enfin, dans certains contextes oncologiques, le CTC, couplé à la tomographie à émission de positrons au <sup>18</sup>F-fluorodésoxyglucose (FDG) permet la détection des métastases cardiaques.

Pour terminer ce survol des possibilités offertes par le CTC, relevons que ce dernier peut également être utilisé dans l'algorithme diagnostique de l'endocardite. Une récente étude a ainsi comparé les résultats du CT-cardiaque et de l'échocardiographie transœsophagienne (ETO) en utilisant l'inspection chirurgicale comme référence.<sup>22</sup> Malgré un petit échantillon de 49 patients seulement, les auteurs concluent que, dans le contexte préopératoire, le CTC permet de poser le diagnostic d'endocardite (figure 5) avec une précision similaire à l'ETO (sensibilité 93,9 et 95,9%, respectivement). Deux autres études ont mis en évidence des résultats simi-

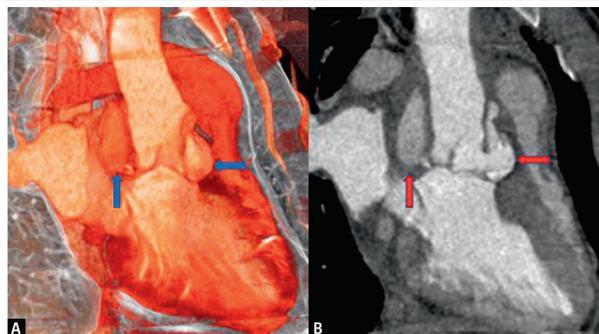
<b>FIG 4</b>	<b>CTC et masses cardiaques</b>	
--------------	---------------------------------	--

CT cardiaque (CTC) montrant un myxome (la flèche rouge indique la masse cardiaque).



<b>FIG 5</b>	<b>CTC et endocardite</b>	
--------------	---------------------------	--

CT cardiaque (CTC) mettant en évidence un large abcès périvalvulaire après une opération Tirone-David (les flèches bleues (A) et rouges (B) indiquent l'abcès périvalvulaire).



lares, en suggérant toutefois que l'ETO soit plus sensible dans la détection de petites végétations et que le CTC soit plus sensible dans la détection des abcès périvalvulaires.<sup>23,24</sup> Cependant, ces résultats devraient être interprétés avec prudence étant donné que la sélection des patients a été basée sur des endocardites avérées ayant déjà une indication opératoire retenue. La littérature manque de données concernant les endocardites peu destructrices avec de minimes végétations, ce qui représente à l'heure actuelle la grande majorité des cas. Bien que le CTC pourrait être utilisé en tant que modalité auxiliaire de détection de l'endocardite infectieuse, en particulier lors de contre-indication à l'ETO ou avec une mauvaise fenêtre sonique, l'ETO reste l'outil diagnostique de première intention pour la détection de l'endocardite infectieuse.

## CONCLUSION

Le CTC est une modalité d'imagerie en pleine expansion en cardiologie. Couplé à une évaluation fonctionnelle (FFR-CT), il possède une capacité de détection des sténoses coronariennes hémodynamiquement significatives potentiellement supérieure à d'autres modalités d'imagerie non invasive. En outre, le CTC fait maintenant partie de la pratique quotidienne dans la planification du traitement percutané des pathologies valvulaires.

Conflit d'intérêts: Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

## IMPLICATIONS PRATIQUES

- Compte tenu de sa forte valeur prédictive négative, le CT-scan coronaire est un outil important pour exclure une maladie coronarienne chez les patients à risque intermédiaire
- La méthode FFR-CT est une technique très prometteuse qui permet d'évaluer de manière non invasive le retentissement hémodynamique d'une sténose coronarienne
- Le CT-scan cardiaque est devenu un examen indispensable dans la prise en charge de la sténose aortique sévère par voie percutanée

- 1 Task Force Members, Montalescot G, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2013;34:2949-3003.
- 2 \* Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1724-32.
- 3 Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med* 2008;359:2324-36.
- 4 Meijboom WB, Meijs MF, Schuijf JD, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:2135-44.
- 5 Weustink AC, Nieman K, Pugliese F, et al. Diagnostic accuracy of computed tomography angiography in patients after bypass grafting: comparison with invasive coronary angiography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:816-24.
- 6 \*\* Douglas PS, Hoffmann U, Patel MR, et al. Outcomes of anatomical versus functional testing for coronary artery disease. *N Engl J Med* 2015;372:1291-300.
- 7 \*\* SCOT-HEART Investigators, Newby DE, Adamson PD, et al. Coronary CT angiography and 5-year risk of myocardial infarction. *N Engl J Med* 2018;379:924-33.
- 8 Collet C, Onuma Y, Andreini D, et al. Coronary computed tomography angiography for heart team decision-making in multivessel coronary artery disease. *Eur Heart J* 2018;39:3689-98.
- 9 Kim HJ, Jansen KE, Taylor CA. Incorporating autoregulatory mechanisms of the cardiovascular system in three-dimensional finite element models of arterial blood flow. *Ann Biomed Eng* 2010;38:2314-30.
- 10 \*\* Driessen RS, Danad I, Stuijzand WJ, et al. Comparison of coronary computed tomography angiography, fractional flow reserve, and perfusion imaging for ischemia diagnosis. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:161-73.
- 11 \* Oikonomou EK, Marwan M, Desai MY, et al. Non-invasive detection of coronary inflammation using computed tomography and prediction of residual cardiovascular risk (the CRISP CT study): a post-hoc analysis of prospective outcomedata. *Lancet* 2018;392:929-39.
- 12 \* Samad Z, Hakeem A, Mahmood SS, et al. A meta-analysis and systematic review of computed tomography angiography as a diagnostic triage tool for patients with chest pain presenting to the emergency department. *J Nucl Cardiol* 2012;19:364-76.
- 13 Goldstein JA, Chinnaiyan KM, Abidov A, et al. The CT-STAT (Coronary computed tomographic angiography for systematic triage of acute chest pain patients to treatment) trial. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:1414-22.
- 14 Goldstein JA, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. A randomized controlled trial of multi-slice coronary computed tomography for evaluation of acute chest pain. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:863-71.
- 15 Hoffmann U, Truong QA, Schoenfeld DA, et al. Coronary CT angiography versus standard evaluation in acute chest pain. *N Engl J Med* 2012;367:299-308.
- 16 Litt HI, Gatsonis C, Snyder B, et al. CT angiography for safe discharge of patients with possible acute coronary syndromes. *N Engl J Med* 2012;366:1393-403.
- 17 Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2017;38:2739-91.
- 18 Delgado V, Ewe SH, Ng AC, et al. Multimodality imaging in transcatheter aortic valve implantation: key steps to assess procedural feasibility. *EuroIntervention* 2010;6:643-52.
- 19 Bloomfield GS, Gillam LD, Hahn RT, et al. A practical guide to multimodality imaging of transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:441-55.
- 20 \* Willson AB, Webb JG, Labounty TM, et al. 3-dimensional aortic annular assessment by multidetector computed tomography predicts moderate or severe paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: a multicenter retrospective analysis. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:1287-94.
- 21 \* Hayashida K, Bouvier E, Lefèvre T, et al. Impact of CT-guided valve sizing on post-procedural aortic regurgitation in transcatheter aortic valve implantation. *EuroIntervention* 2012;8:546-55.
- 22 \* Koo HJ, Yang DH, Kang JW, et al. Demonstration of infective endocarditis by cardiac CT and transoesophageal echocardiography: comparison with intra-operative findings. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2018;19:199-207.
- 23 Koneru S, Huang SS, Oldan J, et al. Role of preoperative cardiac CT in the evaluation of infective endocarditis: comparison with transoesophageal echocardiography and surgical findings. *Cardiovasc Diagn Ther* 2018;8:439-49.
- 24 Kim IC, Chang S, Hong GR, et al. Comparison of cardiac computed tomography with transoesophageal echocardiography for identifying vegetation and intracardiac complications in patients with infective endocarditis in the era of 3-dimensional images. *Circ Cardiovasc Imaging* 2018;11:e006986.

\* à lire

\*\* à lire absolument