

Pathologies valvulaires

PLAN DU CHAPITRE

11.1 Endocardite infectieuse	271	Suivi et impact de l'imagerie sur le pronostic	288
Apport de l'échographie cardiaque	271	Conclusion	288
Apport de la tomodensitométrie	272	11.4 Pathologies de la valve mitrale	289
Apport de l'IRM	273	Rétrécissement mitral	290
Intérêt de l'imagerie nucléaire	273	Insuffisance mitrale	293
Conclusion – Quelle imagerie pour quel patient ?	274	Cas particulier avant MitraClip	297
11.2 Insuffisance aortique	276	Traitement et pronostic	298
Rappels cliniques	276	Valve mitrale opérée	298
Technique d'imagerie	277	Place des différentes imageries	300
Éléments à analyser	278	Conclusion	300
Place de l'imagerie dans l'arsenal diagnostique	281	11.5 Pathologies des valves pulmonaire et tricuspide	301
Impact sur le pronostic et la prise en charge	281	Valve pulmonaire	301
Suivi	282	Valve tricuspide	305
11.3 Rétrécissement aortique	283	Conclusion	306
Rappels cliniques	283	11.6 Imagerie en coupes du TAVI	308
Technique d'imagerie	283	Évaluation pré-TAVI	309
Analyse des images	285	Suivi post-TAVI	317
Place de l'imagerie dans l'arsenal diagnostique	286	Conclusion	318

11.1 Endocardite infectieuse

Gilbert Habib¹, Phalla Ou¹, Serge Cammilleri¹, Alexis Jacquier¹

Si l'échographie garde un rôle majeur dans le diagnostic d'endocardite infectieuse (EI), les recommandations de la Société européenne de cardiologie (ESC) de 2015 insistent sur le rôle potentiel d'autres techniques d'imagerie cardiovasculaire, comme le scanner et le TEP-scan [1]. Des nouveaux critères diagnostiques sont proposés (fig. 11.1), incluant les nouvelles techniques d'imagerie et un nouvel algorithme diagnostique est également présenté, proposant l'utilisation du TEP-scan en cas de doute diagnostique, en particulier en cas de prothèse valvulaire. Les principales « nouveautés » de ces recommandations concernent non seulement le diagnostic avec l'inclusion de nouvelles techniques d'imagerie parmi les critères diagnostiques majeurs ainsi que le rôle de l'imagerie multimodalités, mais aussi la notion de *endocarditis team* (équipe endocardite), soulignant l'intérêt majeur d'une prise en charge multidisciplinaire chez ces patients [2, 3].

¹ Rédaction/validation.

Apport de l'échographie cardiaque

À côté des hémocultures, l'échocardiographie apporte le second critère majeur pour le diagnostic d'EI [4]. Elle occupe une place centrale dans l'EI, à la fois pour le diagnostic, l'évaluation pronostique, et le suivi sous traitement spécifique [4-7]. Trois aspects échocardiographiques sont évocateurs d'EI : végétation, abcès périvalvulaire et apparition d'une régurgitation périprothétique [4].

Techniques

Deux principales techniques sont disponibles. L'échocardiographie transthoracique (ETT) et l'échocardiographie transœsophagienne (ETO). L'ETT a une sensibilité de l'ordre de 75 % pour le diagnostic de végétation, de 50 % pour le diagnostic des abcès périvalvulaires. En cas d'ETT douteuse et chaque fois qu'un abcès est suspecté, l'ETT doit être complétée par une ETO. La valeur diagnostique de l'ETO est supérieure à celle de l'ETT, avec une sensibilité et une spécificité de l'ordre de 90 % pour le diagnostic des végétations et des abcès et doit donc être pratiquée systématiquement en cas d'endocardite suspectée ou avérée.

L'échocardiographie tridimensionnelle est très utile pour l'évaluation des patients atteints d'EI, en particulier en cas de perforation de valve mitrale.

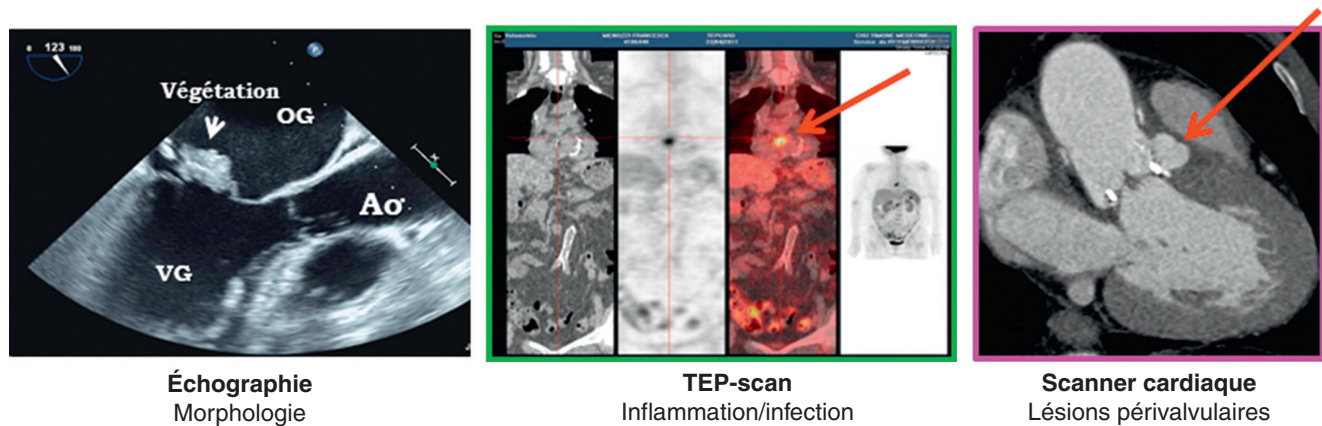


Fig. 11.1 Critères ESC 2015 d'imagerie pour l'endocardite infectieuse. Ils insistent sur la complémentarité entre échocardiographie pour la morphologie (flèche montrant une végétation en échographie transœsophagienne), TEP-scan pour l'inflammation et l'infection (flèche montrant une hyperfixation sur une prothèse valvulaire), et scanner cardiaque pour les lésions périvalvulaires (flèche montrant un abcès aortique postérieur). Ao : aorte ; ESC : *European Society of Cardiology* ; OG : oreillette gauche ; VG : ventricule gauche.

Intérêt

En dehors de son rôle purement diagnostique, l'échographie occupe également une place fondamentale pour l'évaluation pronostique des patients porteurs d'une EI, pour l'appréciation du risque embolique [7] et pour le suivi sous traitement [1].

Limitations

L'ETT reste limitée pour mettre en évidence des végétations de très petite taille, et en cas de faible échogénicité (obésité, période postopératoire précoce, prothèses valvulaires). L'apport de l'ETO est ici beaucoup plus important pour le diagnostic des abcès, mais des abcès antérieurs de petite taille peuvent échapper à l'ETO et n'être visualisés que par ETT. Ainsi, les 2 examens sont complémentaires et doivent être tous deux pratiqués en cas d'atteinte périvalvulaire suspectée.

Apport de la tomодensitométrie

La TDM est désormais recommandée dans le parcours diagnostique de l'EI [1]. Elle peut montrer des abcès périannulaires (critère majeur) et/ou des complications emboliques cliniquement silencieuses (critères mineurs).

Techniques

L'évaluation au scanner comporte la réalisation conjointe d'un scanner cardiaque et d'un scanner corps entier, en utilisant des appareils équipés au minimum de 64 détecteurs. Les appareils de dernière génération (320 détecteurs explorant 16 cm au cours d'une rotation d'environ 275 ms) sont à privilégier dans cette indication car ils autorisent l'exploration de plusieurs étages en une seule injection de produit de contraste iodé. La large couverture permet d'imager tout le volume cardiaque sur un seul battement, ce qui limite drastiquement les artefacts. La rapidité d'exécution de ces appareils permet d'enchaîner immédiatement après

la première acquisition sur le cœur une deuxième acquisition hélicoïdale corps entier sur la phase portale. Pour les scanners plus anciens de 64 coupes, une seconde injection de produit de contraste est souvent nécessaire pour l'analyse de l'hélice corps entier.

Une évaluation cardiaque type d'une EI comporte une acquisition avec synchronisation à l'ECG en mode rétrospectif, avec injection de produit de contraste iodé à la phase artérielle. Des volumes sont ensuite reconstruits rétrospectivement tous les 10 % du cycle RR, pour permettre une analyse cinétique des feuillets valvulaires. Chez des patients porteurs de prothèse, surtout en période postopératoire précoce, une acquisition prospective sans injection est recommandée afin de bien localiser les matériels chirurgicaux tels que les dépôts de colle et les feutres. Ces éléments apparaissent en effet en hyperdensité en contraste spontané, contrairement aux faux anévrismes périprothétiques qui ne sont opacifiés que sur la phase artérielle. Une acquisition thoraco-abdomino-pelvienne à la phase portale est effectuée à la suite de l'acquisition sur le volume cardiaque. Une reconstruction thoracique grand champ est secondairement programmée pour l'analyse des champs pulmonaires.

Bien que l'IRM lui soit préférée, l'examen peut être complété par un scanner cérébral sans et avec injection.

Intérêt

Le scanner cardiaque est un excellent examen pour le diagnostic et l'analyse des lésions périvalvulaires que ce soit sur valve native ou sur prothèse (abcès, désinsertion, faux anévrisme, fistules), avec une sensibilité et spécificité proches de 100 % [8]. Il permet également l'analyse concomitante des coronaires, alternative à la coronarographie préopératoire, en cas notamment de grosse végétation aortique et/ou chez les patients à faible risque cardiovasculaire.

- À l'étage cérébral, le scanner est une alternative à l'IRM pour dépister les complications neurologiques. Bien que moins sensible que l'IRM, le scanner a l'avantage d'être plus facilement disponible, surtout en situation d'urgence

chirurgicale et/ou chez un patient hémodynamiquement très instable. L'acquisition en contraste spontané permet de détecter des hémorragies sous-arachnoïdiennes et/ou intraparenchymateuses. Elle est complétée par une acquisition avec injection de produit de contraste iodé à la phase artérielle pour rechercher des anévrismes mycotiques.

- À l'étage thoracique, l'angioscanner permet de détecter des complications emboliques et/ou faux anévrismes pulmonaires en cas d'EI du cœur droit.
- À l'étage abdominopelvien, le scanner avec injection de produit de contraste iodé à la phase portale permet de détecter des emboles avec ou sans abcédation et des faux anévrismes, dont les localisations les plus fréquentes sont la rate, le rein, et le foie.

Des hélices d'angioscanner artérielles sont complétées selon les points d'appel clinique pour rechercher des complications vasculaires périphériques, en particulier aux membres inférieurs.

Limitations

Le scanner fait encore défaut dans la détection de végétation de petite taille (< 10 mm) et dans le diagnostic de perforation valvulaire.

Il faut aussi garder en mémoire l'irradiation liée à cette technique ainsi que la néphrotoxicité potentielle des produits de contraste iodés, en particulier dans ce contexte où les patients sont exposés à de multiples causes possibles d'insuffisance rénale.

Apport de l'IRM

Les recommandations soulignent l'importance de l'IRM pour la détection systématique des complications neurologiques éventuellement asymptomatiques et qui peuvent influencer la prise en charge chirurgicale. En revanche, l'IRM cardiaque n'a pas d'indication en règle générale.

Techniques

Une IRM cérébrale type d'une EI comporte des séquences avant injection en axial en diffusion, FLAIR (*Fluid Attenuation Inversion Recovery*), T2* ou mieux SWAN (*T2 Star-Weighted Angiography*), T1 spin écho, 3D-TOF (*Time Of Flight*) sur le polygone de Willis; complétées de séquences après injection de chélates de gadolinium en axial T1 spin écho, ARM du polygone de Willis injecté, et 3D T1 en écho de gradient.

Intérêt

L'IRM cérébrale améliore le diagnostic de l'EI en mettant en évidence des anomalies vasculaires qui constituent désormais un critère vasculaire dans la classification de Duke. C'est une étude française coordonnée par Duval et al. qui a démontré pour la première fois l'intérêt de

l'IRM cérébrale systématique dans l'EI, en retrouvant des anomalies radiologiques chez 82 % des 130 patients suspects d'endocardite infectieuse [9]. Les lésions cérébrales dans l'EI sont majoritairement ischémiques, 25 % étant des emboles cérébraux de grosse taille et 46 % de plus petite taille. Viennent ensuite par ordre de fréquence les anévrismes mycotiques et les abcès (6 %), et les hémorragies intraparenchymateuses ou méningées (8 % des anomalies retrouvées).

Chez les patients présentant des symptômes neurologiques, les lésions en IRM sont habituellement plus importantes par rapport à la clinique ou au scanner cérébral.

Chez les patients asymptomatiques, des lésions silencieuses sont retrouvées dans 70 % des cas, à type de micro-emboles corticaux et sous-corticaux, et de microsaignements (ou *microbleeds*) [10].

L'IRM extracérébrale n'est indiquée que pour l'évaluation de complications ostéomédullaires telles l'ostéomyélite et la spondylodiscite.

Limitations

La principale limitation de l'IRM est bien évidemment sa faible disponibilité, et la durée de l'examen qui peuvent rendre l'évaluation délicate chez les patients fragiles. Bien que d'un intérêt incontestable, l'IRM ne doit en aucun cas retarder une éventuelle chirurgie urgente.

Intérêt de l'imagerie nucléaire

Le développement ces 20 dernières années des traceurs radioactifs et des caméras à positons a permis d'élargir le champ d'investigation de l'imagerie moléculaire de l'inflammation aux pathologies tumorales en passant par les pathologies infectieuses. Les pathologies infectieuses peuvent être localisées (valve cardiaque) ou concerner plusieurs tissus et organes (emboles septiques). La TEP-TDM présente l'avantage d'apporter une information métabolique 3D complète sur l'ensemble du corps entier indépendamment du traceur utilisé. Le plus souvent, notre interprétation se limite à une analyse descriptive qui concerne la visualisation de foyers hypermétaboliques (plus rarement hypométaboliques). L'intérêt d'une quantification sur les cibles en particulier hypermétaboliques apporte une information semi-quantitative sous la forme d'indices de fixation nécessaires au diagnostic.

Techniques

Le FDG est un analogue du 2-désoxy-D-glucose. Il est transporté par les mêmes transporteurs membranaires (GLUT1, GLUT3) et phosphorylé en 6 par l'hexokinase. La molécule ainsi transformée ne peut ni sortir ni subir les étapes suivantes de la glycolyse. Il s'ensuit dès lors une accumulation non spécifique du traceur, proportionnelle à son transporteur membranaire et à l'activité de l'hexokinase. Il existe des fixations physiologiques de FDG en particulier cardiaques, ce qui rend indispensable la prescription d'un régime cétogène la veille de la réalisation de l'examen afin d'optimiser l'examen TEP-TDM au ¹⁸FDG. Après l'injection du radiotracer (dose

adaptée au poids du patient), le patient doit avoir respecté un jeûne de 6 heures et rester au repos une heure avant de commencer les acquisitions TDM (de l'ordre de 2 minutes) et TEP corps entier (25 minutes en moyenne). Il faut donc prévoir la présence du patient pendant 2 heures dans le service de médecine nucléaire. L'examen est réalisé chez un patient normoglycémique, avec éviction des produits riches en glucides et préférences aux produits riches en lipides.

Intérêt

Les valves normales ne fixent pas le ¹⁸F¹⁸FDG; les foyers hypermétaboliques valvulaires sont décrits avec leur localisation anatomique et leur nombre. L'acquisition corps entier 3D permet de distinguer les foyers septiques directs : embolies septiques pulmonaires ou spléniques, spondylodiscite, mais aussi des signes de septicémie qui se traduisent par un hypermétabolisme splénique diffus et un hypermétabolisme ostéomédullaire étendu. On peut visualiser un foyer hypermétabolique correspondant à une porte d'entrée mais également un foyer hypermétabolique digestif focal et intense qui doit faire éliminer une néoplasie le plus souvent colique associée. De nombreux travaux ont montré l'intérêt du TEP-scan dans le diagnostic des endocardites infectieuses, en particulier en cas de prothèse valvulaire [2, 11]. La valeur pronostique du TEP-scan a également été récemment démontrée [12].

Limitations

- L'examen doit être réalisé chez un patient qui peut supporter un examen d'imagerie en décubitus dorsal durant au moins 30 minutes sans mouvement, en conditions de normoglycémie.

- Les résultats de l'examen sont meilleurs sur les valves prothétiques que sur les valves natives (faux négatifs).
- Des faux positifs sont rapportés lorsque l'examen est réalisé dans la période postopératoire précoce, durant les 3 premiers mois après l'implantation de la prothèse valvulaire.
- Enfin, une fixation physiologique peut exister sur des prothèses normales, soulignant l'importance de l'expérience de l'opérateur [2].

Conclusion – Quelle imagerie pour quel patient ?

Les recommandations ESC insistent sur le rôle majeur de l'imagerie multimodalités dans l'endocardite infectieuse [1]. Le choix de la technique utilisée dépend du type de situation clinique [2].

Dans l'endocardite sur valve native (fig. 11.2), l'échographie est l'examen clé. Le scanner cardiaque doit être utilisé en cas de suspicion d'infection périvalvulaire quand l'ETO est douteuse ou pour préciser le statut coronarien. Le TEP-scan a une place diagnostique limitée, mais peut détecter des localisations secondaires.

Dans l'endocardite prothétique (fig. 11.3) ou sur matériel intracardiaque (fig. 11.4), ETT et ETO sont systématiques. En cas de doute, le patient doit être transféré dans un centre de référence pour choisir la technique la plus adaptée (scanner ou TEP-scan).

Dans tous les cas, les endocardites compliquées (d'insuffisance cardiaque, d'embolie, ou d'abcès) doivent être prises en charge dans des centres de référence médico-chirurgicaux disposant de toutes les techniques d'imagerie nécessaires [1].

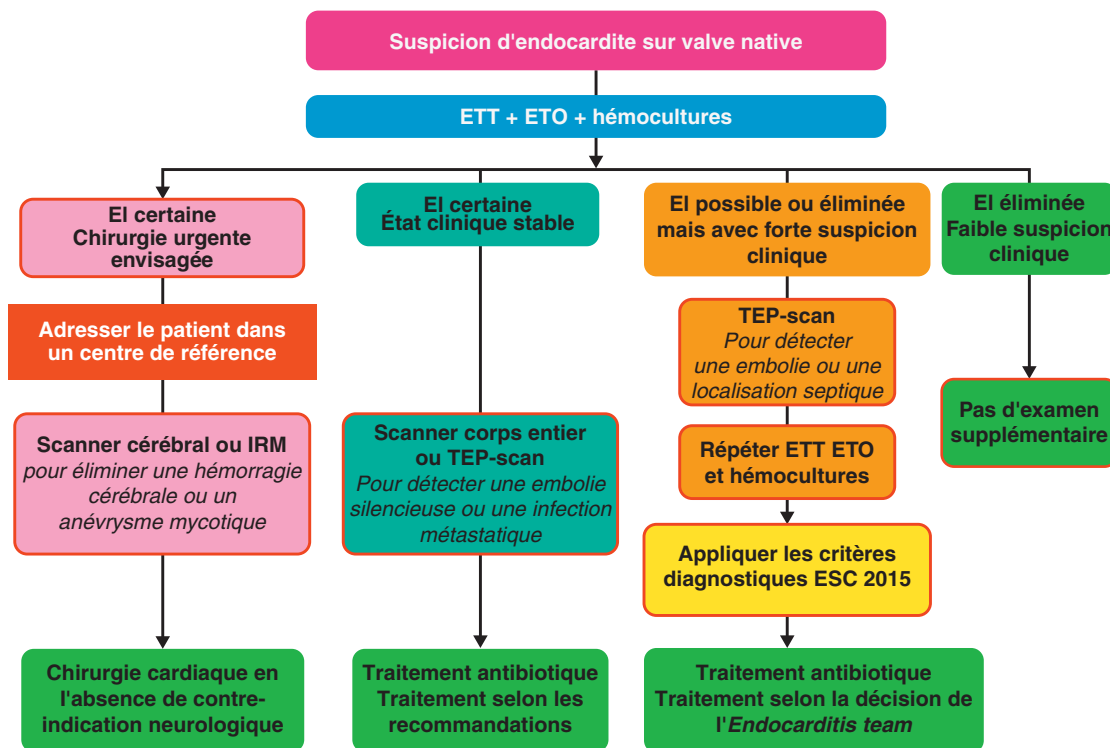


Fig. 11.2 Algorithme diagnostique proposé en cas de suspicion d'endocardite sur valve native. EI : endocardite infectieuse; ETO : échocardiographie transœsophagienne; ETT : échocardiographie transthoracique.

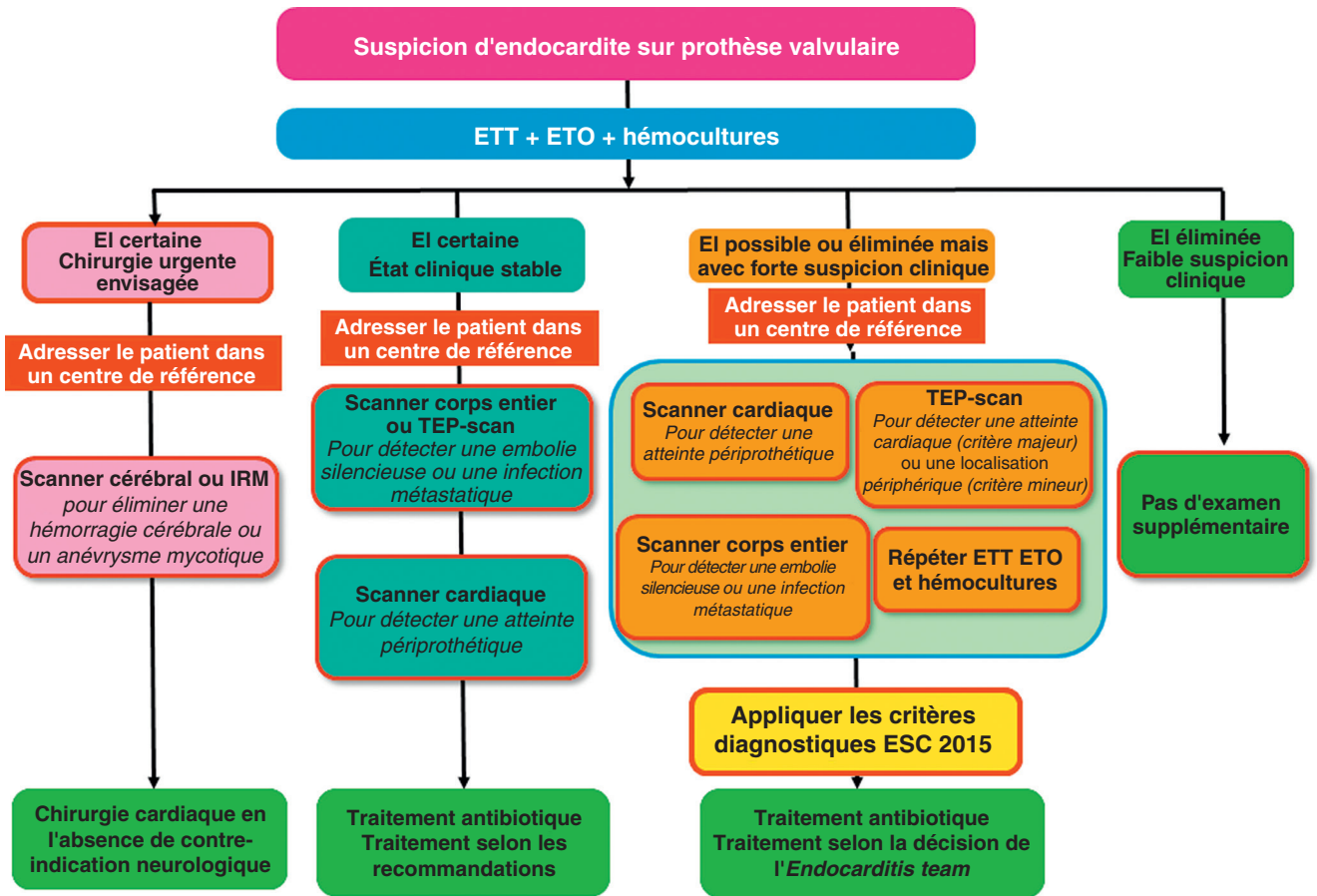


Fig. 11.3 Algorithme diagnostique proposé en cas de suspicion d'endocardite sur valve prothétique. EI : endocardite infectieuse; ETO : échocardiographie transœsophagienne; ETT : échocardiographie transthoracique.

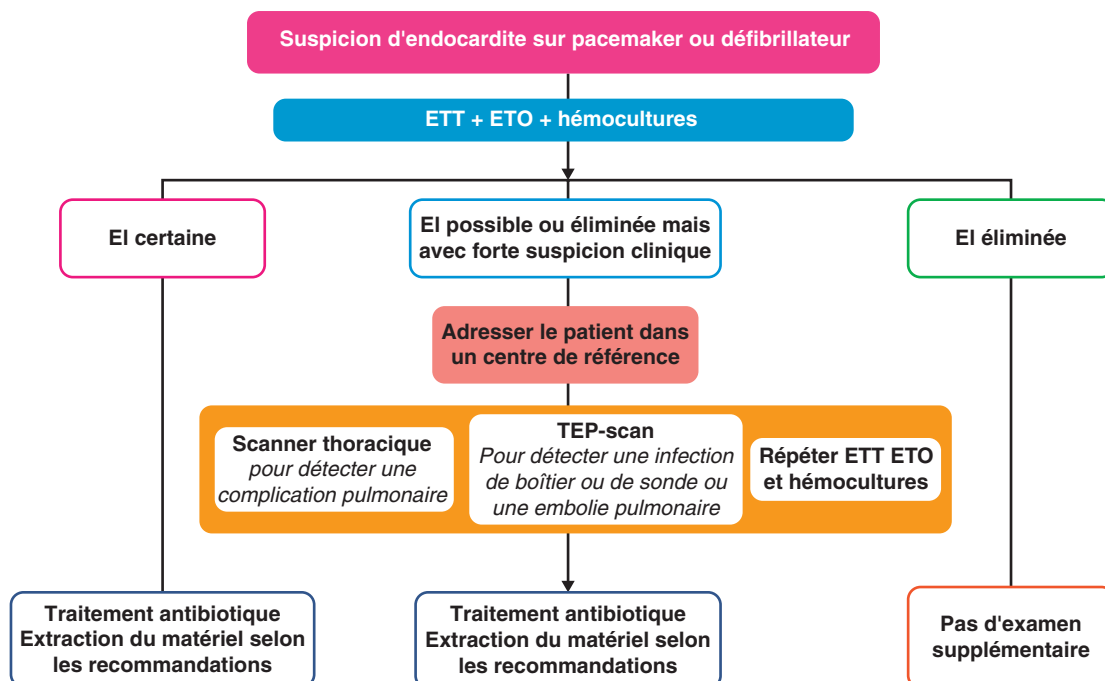


Fig. 11.4 Algorithme diagnostique proposé en cas de suspicion d'endocardite sur pacemaker ou défibrillateur. EI : endocardite infectieuse; ETO : échocardiographie transœsophagienne; ETT : échocardiographie transthoracique.

Synthèse en pratique clinique

L'imagerie multimodalités occupe une place fondamentale dans la prise en charge de l'endocardite infectieuse. Les 3 techniques d'imagerie sont complémentaires :

- l'échocardiographie reste la méthode diagnostique de base, indispensable en 1^{re} intention chez tous les patients, et apporte des critères diagnostiques et pronostiques ;
- le TEP-scan apporte des arguments concernant l'inflammation et l'infection. Il est particulièrement utile pour le diagnostic d'infection de prothèse valvulaire et pour la détection des foyers infectieux secondaires ;
- le scanner est surtout utile pour la détection des lésions péri-valvulaires et des lésions secondaires. Scanner et IRM sont fondamentaux pour l'évaluation des lésions périphériques, en particulier cérébrales.

Chaque technique présente intérêts et limitations. Le choix de la meilleure technique ou de leur combinaison doit se faire au cas par cas dans des centres spécialisés équipés de toutes les techniques d'imagerie au sein d'une *endocarditis team*.

Références

- [1] Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of infective endocarditis : The task force for the management of infective endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC) endorsed by : European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J* 2015;36:3075–128.
- [2] Erba PA, Pizzi MN, Roque A, Salaun E, Lancellotti P, Tornos P, Habib G. Multimodality Imaging in Infective Endocarditis : An Imaging Team within the Endocarditis Team. *Circulation* 2019;140:1753–65.
- [3] Thuny F, Gaubert JY, Jacquier A, Tessonnier L, Cammilleri S, Raoult D, et al. Imaging investigations in infective endocarditis : current approach and perspectives. *Arch Cardiovasc Dis* 2013;106(1):52–62.
- [4] Habib G, Badano L, Tribouilloy C, Vilacosta I, Zamorano JL, et al. On behalf of the European Association of Echocardiography. Recommendations for the practice of echocardiography in infective endocarditis. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:202–19.
- [5] Karalis DG, Bansal RC, Hauck AJ, et al. Transesophageal echocardiographic recognition of subaortic complications in aortic valve endocarditis. Clinical and surgical implications. *Circulation* 1992;86:353–62.
- [6] Daniel WG, Mügge A, Martin RP, et al. Improvement in the diagnosis of abscesses associated with endocarditis by transesophageal echocardiography. *N Engl J Med* 1991;324:795–800.
- [7] Di Salvo G, Habib G, Pergola V, et al. Echocardiography predicts embolic events in infective endocarditis. *J Am Coll Cardiol* 2001;37(8):1069–76.
- [8] Hryniewiecki T, Zatorska K, Abramczuk E, et al. The usefulness of cardiac CT in the diagnosis of perivalvular complications in patients with infective endocarditis. *Eur Radiol* 2019;29:4368–76.
- [9] Duval X, Jung B, Klein I, Brochet E, et al. early cerebral magnetic resonance imaging on clinical decisions in infective endocarditis : a prospective study. *Ann Intern Med* 2010;152:497–504.
- [10] Hess A, Klein I, Jung B, et al. Brain MRI findings in neurologically asymptomatic patients with infective endocarditis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2013;34:1579–84.
- [11] Saby L, Laas O, Habib G, et al. Positron Emission Tomography/Computed Tomography for Diagnosis of Prosthetic Valve Endocarditis : Increased Valvular 18F-Fluorodeoxyglucose Uptake as a Novel Major Criterion. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:2374–82.
- [12] San S, Ravis E, Tessonnier L, et al. Prognostic Value of 18F-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography in Infective Endocarditis. *J Am Coll Cardiol* 2019;74:1031–40.

11.2 Insuffisance aortique

Gilles Soulat², Benoit Diebold³,
Élie Mousseaux²

Rappels cliniques

L'insuffisance (ou régurgitation) aortique est le reflux en diastole de sang de l'aorte vers le ventricule gauche. Cette fuite aortique induit une augmentation de la précharge qui, non traitée, conduit à la dilatation puis à la dysfonction ventriculaire gauche. Elle peut être subdivisée en insuffisance aortique primaire (ou organique) liée à une anomalie morphologique de la valve, et en insuffisance aortique secondaire (ou fonctionnelle) liée à des anomalies morphologiques ventriculaires, aortiques ou annulaires induisant un défaut de coaptation valvulaire sur une valve morphologiquement normale. Les étiologies des fuites primaires sont multiples (congénitale [bicuspidie], dégénérative, inflam-

matoire, infectieuse, traumatique ou encore iatrogénique) et sont à dissocier du mécanisme (prolapsus, perforation, etc.).

Une classification similaire à la classification de Carpentier utilisée pour la valve mitrale est proposée pour l'étude du mécanisme de l'insuffisance aortique (fig. 11.5) [1]. Une même étiologie et un même mécanisme peuvent donner différents niveaux de sévérité de régurgitation aortique,

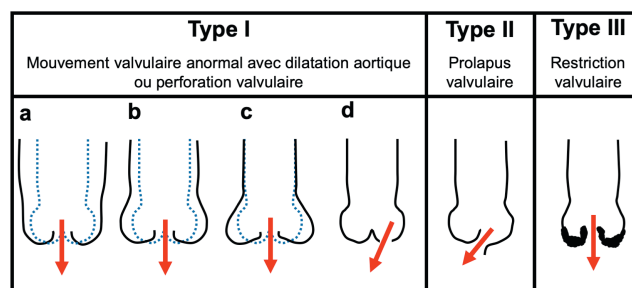


Fig. 11.5 Classification des mécanismes de régurgitation valvulaire aortique. Type Ia : dilatation de la jonction sinotubulaire et de l'aorte ascendante. Type Ib : dilatation des sinus de Valsalva et de la jonction sinotubulaire. Type Ic : dilatation de l'anneau aortique. Type Id : perforation valvulaire. Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, et al. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr.* 2017; 30 (4) : 303-71.

² Rédaction.

³ Validation.

pouvant eux-mêmes avoir des conséquences différentes sur le ventricule gauche. À noter qu'en fonction de l'étiologie de la fuite, une dilatation de l'aorte peut être très souvent associée et peut nécessiter une exploration concomitante de l'aorte ascendante et de la valve aortique pour définir le geste thérapeutique le plus approprié [2].

Technique d'imagerie

Tomodensitométrie

- Acquisition synchronisée à l'ECG avec injection de produit de contraste iodé.
- Acquisition multiphasique pour l'analyse de la mobilité valvulaire [3], et la différenciation entre valve bicuspidée ou tricuspide. En fonction de l'indication, la couverture sur le cycle cardiaque peut être réduite; en fonction du type de système, la synchronisation est prospective ou rétrospective.
- En cas de dilatation aortique, acquisition sur l'ensemble de l'aorte thoracique et du cœur. Il est alors plus difficile selon les systèmes de synchroniser l'ensemble du volume sur différentes phases du cycle cardiaque mais disposer d'au moins une série d'image en systole et en télédiastole permet l'analyse de la valve et de son ouverture.

IRM (fig. 11.6)

- Pile de coupes SSFP en petit axe et long axe [4] pour étude des volumes et de la fonction ventriculaire gauche.

- Séquence sans injection (SSFP 3D) ou angiographie après injection de gadolinium, idéalement synchronisée à l'ECG selon disponibilité [4-6] pour étude de l'aorte thoracique sur une séquence volumique.
- Séquence en contraste de phase 2D à travers le plan, perpendiculaire à la racine aortique au-dessus de la valve (typiquement jonction sinotubulaire), le plus souvent en apnée [7]. À noter qu'il existe des divergences d'opinions sur l'emplacement idéal de la coupe de contraste de phase 2D, certains ayant également proposé de se placer au niveau de la valve aortique ou de l'aorte ascendante moyenne [8, 9]. La vitesse d'encodage est fixée à 200 cm/s, à augmenter en cas d'*aliasing*. On peut éventuellement associer une acquisition sur l'artère pulmonaire pour s'assurer de la cohérence des mesures (le débit net pulmonaire est égal au débit net aortique) [10].
- Acquisition ciné-IRM sur la valve aortique, perpendiculairement à l'aorte (idéalement pile de coupes avec une épaisseur de coupe ≤ 5 mm). En cas de sténose associée ou de fuite sévère, une séquence en contraste de phase 2D, moins sensible aux artefacts de flux, est utile (fig. 11.7).
- Si disponible, séquence en contraste de phase 4D, couvrant l'aorte thoracique, avec une résolution temporelle < 50 ms et une résolution spatiale $< 2,5$ mm (isotropique) [11].
- En fonction du contexte : séquence de rehaussement tardif myocardique.

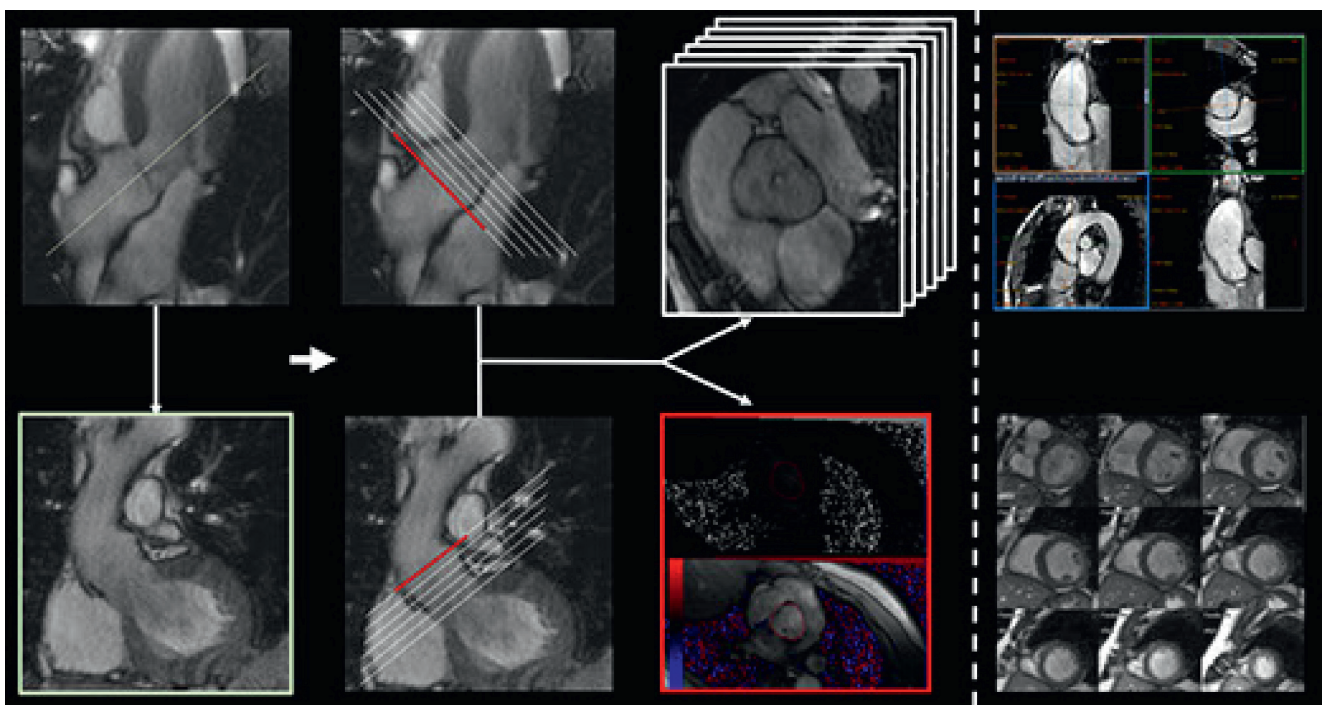


Fig. 11.6 Acquisition en IRM. À partir de la coupe 3 cavités en haut à gauche, l'opérateur place un plan dans l'axe de l'aorte et de la valve aortique pour obtenir une coupe de la chambre de chasse (encadré vert). À l'aide de ces deux coupes orthogonales, perpendiculairement à l'aorte, il réalise ensuite l'acquisition d'une pile de coupe ciné-SSFP (blanc) et d'une série en contraste de phase (rouge). Ce placement peut être également obtenu à partir d'une séquence SSFP 3D sans injection (en haut à droite) pour réaliser les mesures des dimensions aortiques. Réalisation également systématique d'une pile de coupes petit axe pour l'estimation des dimensions ventriculaires gauches. SSFP : *Steady-State Free Precession*.

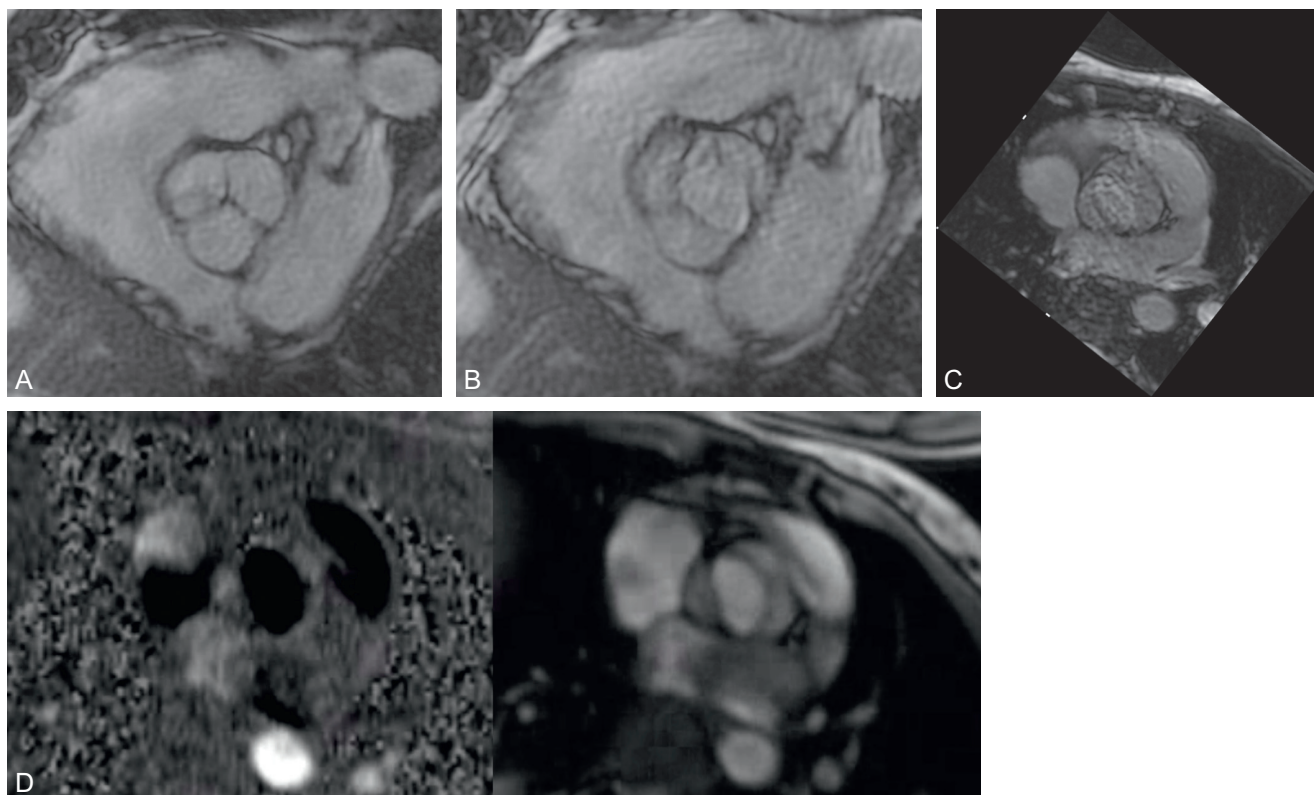


Fig. 11.7 Illustration des difficultés dans l'évaluation de la morphologie valvulaire. Ciné-IRM avec image diastolique (A) et systolique (B) illustrant la nécessité d'une phase systolique pour faire le diagnostic de bicuspidie. C. Image systolique de la valve aortique sur séquence d'IRM ciné-SSFP avec artefact de flux. D. Absence d'artefact sur la séquence en contraste de phase. SSFP : *Steady-State Free Precession*.

Éléments à analyser

Morphologie valvulaire

- Valve bi ou tricuspide (unicuspide ou quadricuspide très rarement). Si la valve est bicuspidie, il faut préciser le type d'ouverture (droite – gauche ou antéropostérieure), la fusion commissurale (sinus non coronaire – sinus coronaire droite, sinus non coronaire – sinus coronaire gauche, sinus coronaire droite – sinus coronaire gauche) et s'il y a présence ou non d'un raphé (fig. 11.8).
- Présence ou non de calcification (TDM) (fig. 11.9).
- Présence d'image d'addition : végétation/masse valvulaire (TDM) (cf. fig. 11.9) [12].

Mouvement valvulaire/mécanisme de fuite

- Localisation du jet (IRM : origine centrale ou périphérique, jet central ou excentré) en regardant le déphasage sur les séquences ciné ou en utilisant le contraste de phase 2D ou 4D (cf. fig. 11.9). L'importance du déphasage sur les séquences ciné n'est pas bien corrélée à la sévérité de la fuite.
- Prolapsus valvulaire (TDM ++ ou IRM).
- Perforation valvulaire (TDM ++ ou IRM) (cf. fig. 11.9).

Quantification de la fuite (IRM)

- Sur le contraste de phase 2D : volume régurgitant et fraction de régurgitation (fig. 11.10). Selon les dernières recommandations, ce sont les seuils dérivés de l'échocardiographie qui sont utilisés en IRM pour classer la sévérité de la fuite (tableau 11.1) [1].

- On peut s'assurer de la cohérence des mesures en comparant le volume antérograde aortique au volume d'éjection ventriculaire obtenu en Simpson (en cas d'absence de fuite mitrale) ou en vérifiant l'égalité du débit net aortique et du débit net pulmonaire [1, 10].
- Il existe plusieurs limites à la quantification par contraste de phase [13] : on fait l'hypothèse que la mesure est réalisée perpendiculaire à un flux, qui possède un régime laminaire, mais cette hypothèse est le plus souvent fautive en cas de valve aortique anormale. Le positionnement de la coupe en aval de la valve et la dilatation aortique souvent associée à l'insuffisance aortique influencent aussi la quantification. En cas de dilatation, il est important de mesurer le flux antérograde au plus près de la valve car au sein de la dilatation, une bonne partie des particules circulantes font au cours de la systole un aller-retour, c'est-à-dire qu'elles effectuent un passage antérograde en début de systole et reviennent ensuite vers la valve alors que la valve est toujours ouverte. Cela provoque une sous-estimation du volume antérograde et une surestimation potentielle de la fraction de régurgitation. Une solution proposée consiste à estimer le volume antérograde au plus près de la valve, voire sous la valve en cas de sténose valvulaire associée, et à prendre le flux rétrograde plus en aval de la valve pour le calcul du volume régurgitant. L'acquisition est moyennée sur plusieurs cycles ; l'arythmie influence la précision des mesures comme pour les autres techniques d'imagerie. Enfin, les courants de Foucault produisent un biais dans la mesure de vitesse, relativement faible en valeur absolue (< 5 cm/s) mais qui est systématique, et quand cette erreur est intégrée sur

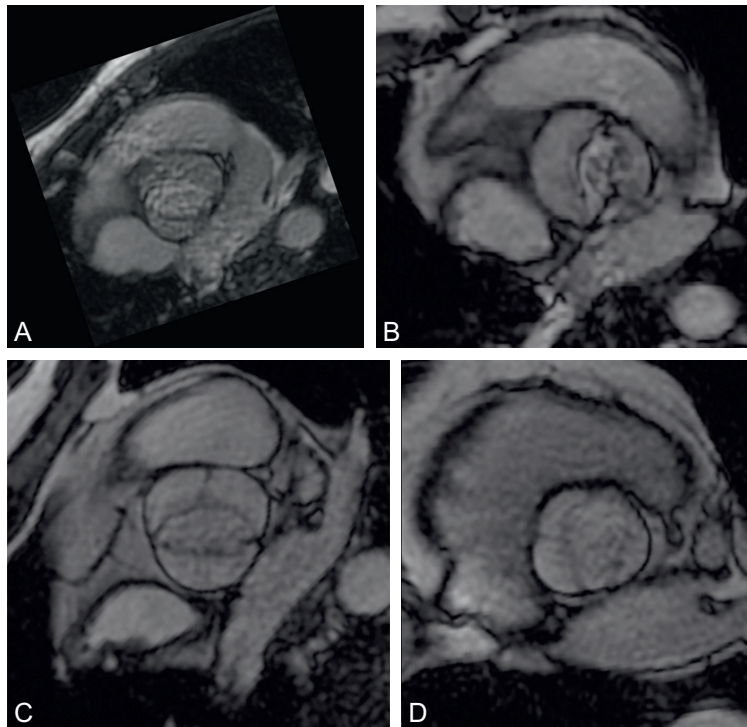


Fig. 11.8 Illustration des types fréquents de bicuspidie valvulaire aortique. **A.** Bicuspidie avec ouverture antéropostérieure sans raphé. **B.** Bicuspidie avec ouverture gauche – droite sans raphé. **C.** Bicuspidie avec ouverture antéropostérieure et raphé entre les sigmoïdes coronaire gauche et coronaire droite. **D.** Bicuspidie avec ouverture gauche – droite avec raphé entre les sigmoïdes coronaire droite et non coronaire. Les autres types, à savoir valve unicuspidie (2 raphés) ou avec ouverture gauche – droite et fusion des sigmoïdes gauche et non coronaire, sont rares (<5 et 3 % respectivement).

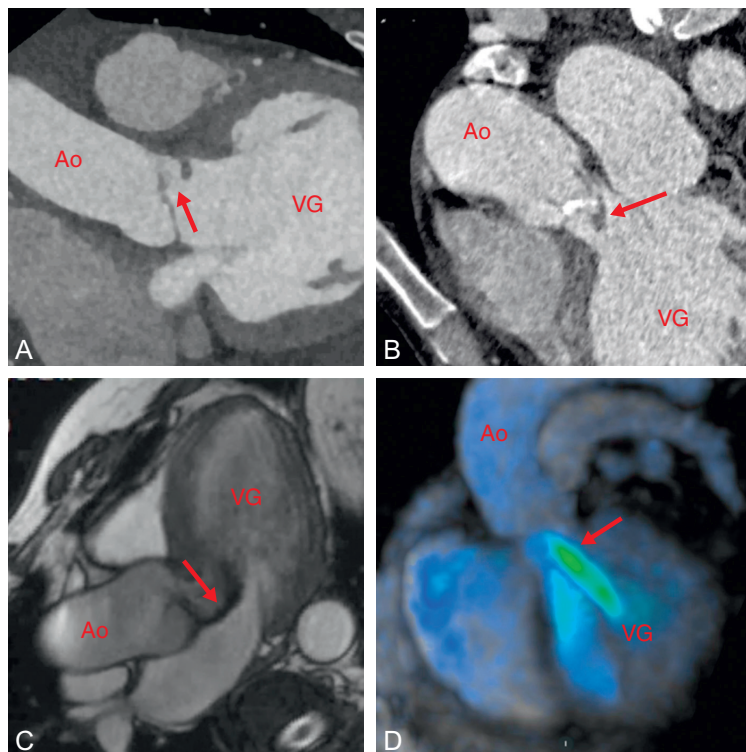


Fig. 11.9 Illustration de mécanismes et étiologies des fuites aortiques à partir de différentes modalités. **A.** TDM : image diastolique montrant une perforation de la sigmoïde antérogauche. **B.** TDM montrant une végétation appendue à la sigmoïde non coronaire. À noter la présence d'une calcification de la valve. **C.** Ciné-IRM SSFP en diastole montrant le jet de la régurgitation aortique lié au déphasage des spins, ce jet est excentré venant au contact de la valve mitrale antérieure. **D.** Intensité de projection maximale des vitesses en IRM de contraste de phase 4D montrant une fuite aortique centrale. Ao : aorte ; SSFP : *Steady-State Free Precession* ; VG : ventricule gauche.

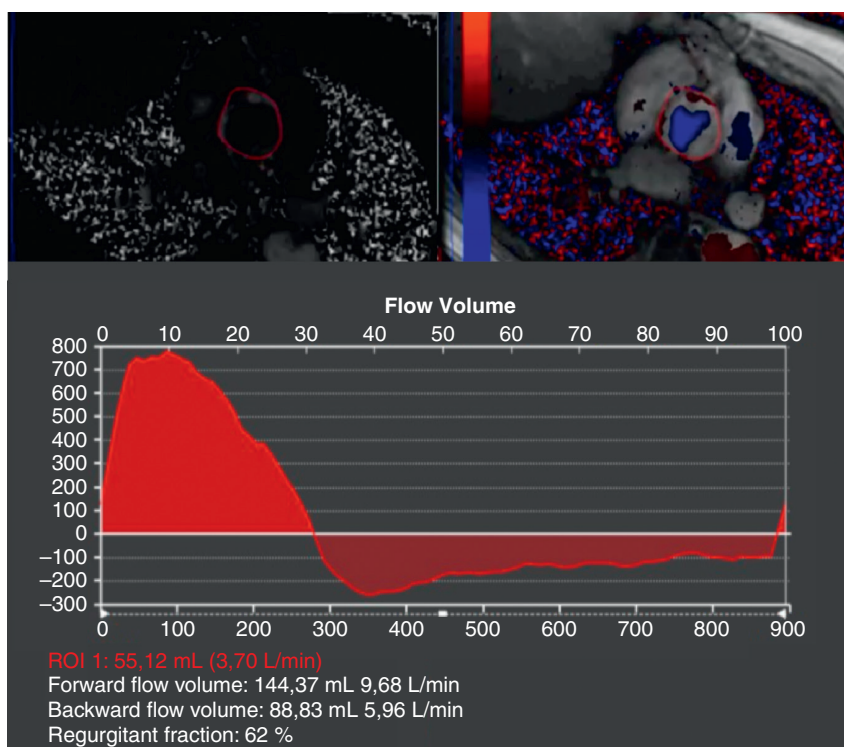


Fig. 11.10 Quantification de la régurgitation aortique en contraste de phase 2D. Coupe de contraste de phase 2D située juste au-dessus de la valve, au niveau de la jonction sinotubulaire, avec à gauche l'image de phase et à droite l'image de magnitude montrant la région d'intérêt (ROI) qui entoure l'aorte. En bas, la courbe du flux en mL/s à travers la région d'intérêt du flux antérograde systolique au début du cycle cardiaque puis du flux rétrograde, ici holodiastolique; le volume régurgitant (rétrograde) est calculé en faisant l'intégrale sous la courbe du flux diastolique, et la fraction de régurgitation est déduite de la formule Volume rétrograde/Volume antérograde.

Tableau 11.1 Seuils de sévérité d'une insuffisance aortique (IA) en contraste de phase.

Paramètre	IA modérée	IA moyenne	IA sévère
Volume régurgitant (mL)	< 30	30–59	≥ 60
Fraction de régurgitation (%)	< 30	30–49	≥ 50

D'après [1].

l'ensemble du cycle cardiaque, l'erreur dans la mesure du volume d'éjection ou de régurgitation peut être grande et fausser la quantification de l'insuffisance aortique. Les sources d'erreurs dans la mesure en contraste de phase et la façon de les limiter sont fournies dans le tableau 11.2.

- Le contraste de phase 4D est incomplètement validé pour la quantification des fuites valvulaires à l'heure actuelle (cf. fig. 11.9D) [14].
- Pour mémoire, certains ont proposé de mesurer directement la surface de l'orifice régurgitant de l'insuffisance

Tableau 11.2 Sources d'erreur en contraste de phase 2D pour l'évaluation de la fuite aortique : conséquences et comment les minimiser.

Erreur	Conséquence	Contre mesure
Coupe non perpendiculaire au flux	Sous-estimation des valeurs de vitesse	S'assurer d'être au moins perpendiculaire au vaisseau
Vitesse d'encodage trop faible	Repliement des vitesses (<i>aliasing</i>)	Idéalement : refaire l'acquisition en augmentant la vitesse d'encodage À défaut, correction en post-traitement
Vitesse d'encodage trop élevée	Bas rapport vitesse sur bruit	Choisir vitesse d'encodage à 80 % de la vitesse maximale attendue
Erreur de phase d'arrière-plan due aux courants de Foucault	Faible erreur sur les vitesses, mais erreur potentiellement importante sur les volumes	Placer l'aorte au centre du champ d'acquisition Idéalement : correction par fantôme stationnaire (mais difficilement réalisable en pratique clinique) À défaut, soustraction de l'erreur à partir d'un ajustement des tissus stationnaires
Coupe trop loin de la valve	Sous-estimation des volumes régurgitants	Se placer juste au-dessus de la valve aortique; la jonction sinotubulaire apparaît un bon compromis, facilement repérable
Coupe trop près de la valve	Potentielles turbulences et/ou vitesses élevées en cas de sténose associée	