

## Revue générale

# Quantification de l'insuffisance mitrale primaire

**RÉSUMÉ :** La quantification de l'insuffisance mitrale (IM) primaire (ou organique), dont le modèle est l'insuffisance mitrale par prolapsus valvulaire, repose sur l'échographie transthoracique (ETT). Le caractère primaire ou secondaire de la valvulopathie est parfois difficile à discerner, notamment chez des patients porteurs de valvulopathies restrictives.

En cas d'IM primaire par prolapsus, l'ETT seule suffit généralement pour apprécier le niveau de sévérité de la régurgitation. L'évaluation est basée sur une approche multiparamétrique reposant sur des critères qualitatifs (dont le mécanisme de la fuite), semi-quantitatifs et quantitatifs. L'échographie transœsophagienne (ETO) peut être utile en cas de doute sur la sévérité de l'IM mais aussi pour préciser le mécanisme lésionnel.

La fraction régurgitée volumétrique, obtenue par échocardiographie bidimensionnelle, tridimensionnelle et/ou par IRM cardiaque, est un critère supplémentaire complétant l'évaluation échocardiographique classique et particulièrement utile en cas de paramètres discordants ou si l'examen ETT/ETO n'est pas concluant.



S. MARECHAUX<sup>1</sup>, A. ALTES<sup>1</sup>,  
P.-V. ENNEZAT<sup>2</sup>, F. LEVY<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre des valvulopathies, Laboratoire d'échocardiographie, Service de Cardiologie-USIC, Groupement des Hôpitaux de l'Institut Catholique de Lille, Faculté de médecine et maïeutique de Lille, Université Catholique de LILLE.

<sup>2</sup> Service de Cardiologie, CHU Henri-Mondor, CRÉTEIL.

<sup>3</sup> Centre Cardio-thoracique, MONACO.

### Évaluation de la sévérité de l'IM

En cas d'insuffisance mitrale (IM) primaire, les données issues d'études pronostiques ont démontré l'importance de la quantification de la surface d'orifice régurgitant (SOR) par la méthode de la PISA, les patients présentant une  $SOR \geq 40 \text{ mm}^2$  ayant un plus mauvais pronostic, ce qui définit l'IM sévère. Toutefois, ces données sont essentiellement issues de patients porteurs de prolapsus valvulaire.

Il n'y a pas (ou peu) de données concernant la population de patients présentant une insuffisance mitrale sans prolapsus, avec des valves restreintes ou calcifiées (donc IM plutôt primaire d'origine rhumatismale, médicamenteuse, dégénérative...) mais qui ont la particularité d'être très charge-dépendantes (comme les IM secondaires). L'évaluation de ces patients complexes se fait donc au cas par cas en ne se focalisant pas sur un

seuil arbitraire de sévérité fondé sur l'échocardiographie et la méthode de la PISA, mais en intégrant l'ensemble des données cliniques, échocardiographiques, d'imagerie, d'évolution clinique et de réponse au traitement médical. L'ensemble des données présentées ici concerne donc particulièrement la population de patients porteurs d'une insuffisance mitrale par prolapsus d'un ou des deux feuillets.

### 1. Approche qualitative

Elle repose tout d'abord sur l'aspect en imagerie bidimensionnelle de la valve: "**First, look at the valve**". En cas de prolapsus valvulaire (éversion d'un ou plusieurs segments de la mitrale, type 2 de Carpentier), on distingue tout particulièrement l'aspect de *flail*, qui correspond à une éversion valvulaire complète avec l'extrémité du feuillet mitral qui "tombe" dans l'oreillette gauche (**fig. 1A et B**,

## Revue générale

*flèches blanches*). La présence d'un *flail* est un signe très spécifique d'IM sévère et a été utilisée comme critère d'inclusion dans les études pronostiques évaluant des patients porteurs d'une IM sévère par prolapsus [1].

**Le Doppler couleur sans modification des réglages** (notamment la PRF [vitesse] et la ligne de base) permet d'individualiser 3 composantes du jet régurgité : la zone de convergence, la *vena contracta* (VC) et l'aire du jet (*fig. 1B*). L'aire du jet rapportée à la surface de l'oreillette gauche (OG), initialement utilisée, n'est plus recommandée pour évaluer la sévérité de la régurgitation. En effet, une IM très vélocité et non sévère peut induire un déplacement des globules rouges avoisinants, surtout lorsque la pression dans l'oreillette gauche (POG) est normale, et ainsi être responsable d'une surface de jet importante. À l'inverse, une IM par prolapsus est le plus souvent excentrée et longe la

paroi opposée au prolapsus (effet Coandă), ce qui conduit à une faible surface malgré une IM authentiquement sévère.

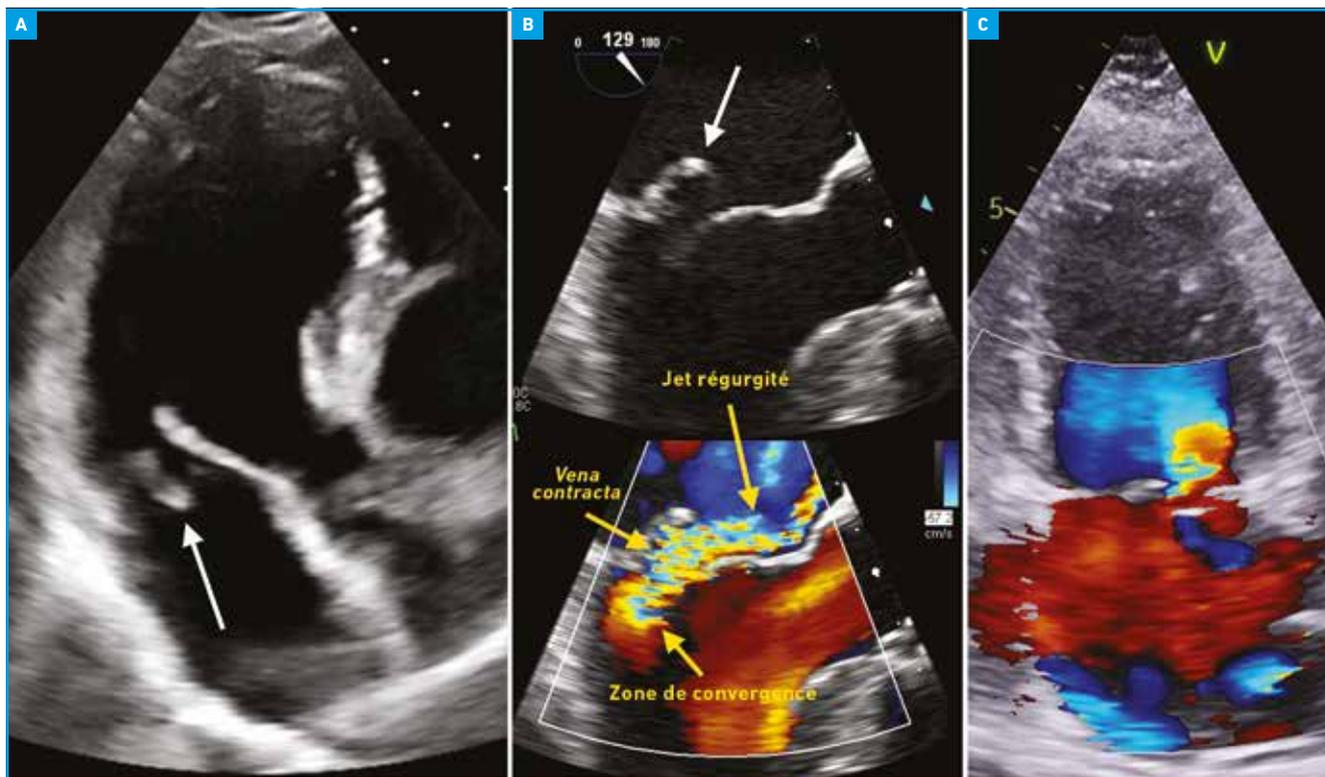
De même, une POG très élevée peut limiter l'extension du jet d'une IM aiguë [2]. L'exploration au Doppler couleur de la mitrale doit se faire en approche multi-vue. Par exemple, la coupe 2 cavités est très importante pour ne pas négliger une éventuelle fuite commissurale, le plus souvent postérieure mais parfois antérieure (*fig. 1C*). La mise en évidence spontanée d'une large zone de convergence de l'IM en Doppler couleur, en l'absence de modification de la ligne de base, est un élément très en faveur d'une IM significative (*fig. 1B*).

L'évaluation qualitative en 2D/Doppler couleur en cas d'IM primaire permet donc de détecter l'IM, d'orienter vers son mécanisme, mais aussi d'orienter vers une fuite potentiellement sévère (présence

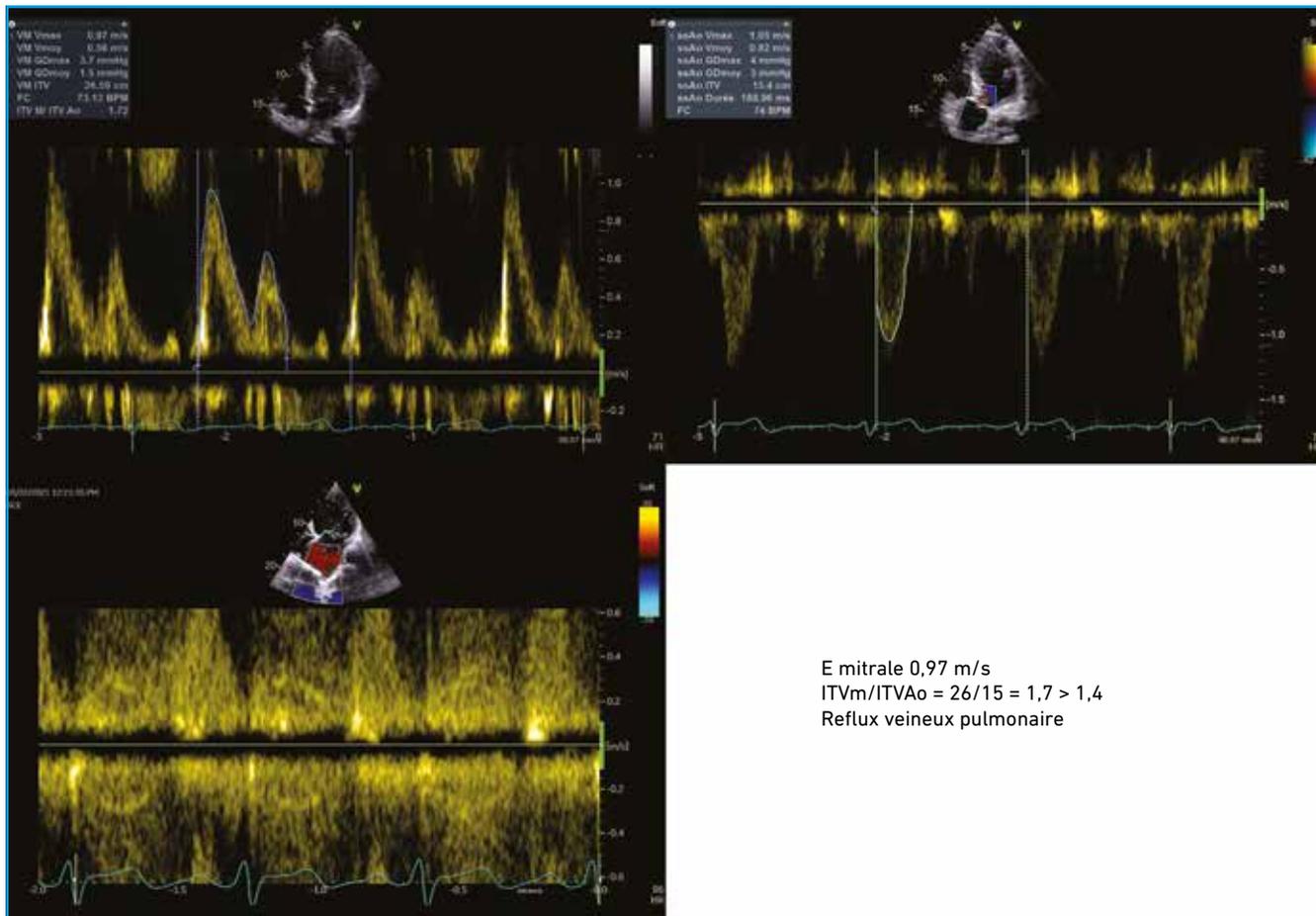
d'un *flail* et/ou d'une zone de convergence spontanée [avant d'avoir modifié la vitesse de repliement spectral]).

### 2. Approche semi-quantitative

La *vena contracta* est le diamètre le plus étroit du jet, juste à la sortie de l'orifice régurgitant. Elle est corrélée à la sévérité de la régurgitation (*fig. 1B*). Il est très important **de ne pas modifier la ligne de base pour la mesure**. La visualisation des 3 composantes du jet régurgitant (zone de convergence, *vena contracta* et aire du jet dans l'OG, *fig. 1B*) est indispensable comme contrôle qualité ; si l'une des 3 composantes est manquante, la mesure ne devrait pas être réalisée. La mesure peut se faire en parasternale grand axe ou sur 2 coupes apicales perpendiculaires à la ligne bicommissurale (4 et 3 cavités). Il s'agit toutefois d'une mesure délicate, avec une variabilité importante, ce qui



**Fig. 1 :** Aspect de *flail* ou éversion de feuillet (*flèches blanches*) en échocardiographie transthoracique (coupe apicale 3 cavités) (A) et transœsophagienne à environ 120° avec représentation des différents constituants du jet d'IM sans modification de la ligne de base Doppler (B). Coupe apicale 2 cavités avec Doppler couleur sans modification de la ligne de base (C) mettant en évidence une zone de convergence spontanée correspondant à une fuite mitrale commissurale antérieure.



**Fig. 2 :** Approche semi-quantitative chez une patiente porteuse d'un prolapsus mitral en P2. Le rapport des ITV mitrale ( $ITV_{Mit}$ ) et aortique ( $ITV_{Ao}$ ) est élevé à 1,7 en faveur d'une IM importante. La vitesse maximale de l'onde E, peu élevée à 0,97 m/s, n'élimine toutefois pas le diagnostic d'IM sévère.

explique une large zone grise (fuite minimale si  $VC < 3$  mm ou sévère si  $VC \geq 7$  mm ou 8 mm si mesure biplan, zone grise entre 3 et 7 mm). Dans notre expérience, la mesure de la VC est surtout utile et fiable en ETO (**fig. 1B**).

La présence d'une régurgitation mitrale significative induit une augmentation de la précharge ventriculaire gauche qui inclut le remplissage diastolique par les veines pulmonaires et le volume régurgité (VR) mitral. On observe en conséquence **une augmentation des vitesses antérogrades mitrales** (échantillon Doppler pulsé positionné au sommet de l'entonnoir mitral, **fig. 2**). Ainsi, en présence d'une IM primaire par prolapsus, une onde E  $> 1,5$  m/s pour l'EACVI et 1,2 m/s pour l'ASE sont très en faveur d'une IM

importante. Il s'agit d'un signe très spécifique mais peu sensible car il dépend étroitement de la surface de l'anneau mitral mais augmente aussi en cas de calcifications annulaires ou valvulaires et d'ouverture restreinte. L'augmentation de l'intégrale temps-vitesse (ITV) mitrale contraste avec la réduction de l'ITV sous-aortique en lien avec la fraction du volume éjecté par le VG régurgitant dans l'OG. Ainsi, **le rapport des ITV mitrale/sous-aortique  $> 1,4$**  est très en faveur d'une IM significative (**fig. 2**). À l'inverse, l'IM est très probablement non significative en cas d'onde A dominante (aspect de trouble de relaxation) et/ou d'ITV mitrale/sous-aortique  $< 1$ .

**L'inversion systolique du flux veineux pulmonaire (FVP)** obtenu en Doppler

pulsé basses vitesses à 1 cm dans la veine pulmonaire supérieure droite est un signe souvent considéré comme spécifique d'IM sévère. Toutefois, une IM excentrée avec un jet dirigé vers une veine pulmonaire peut entraîner sélectivement une inversion systolique du FVP dans cette veine, même si la régurgitation n'est pas sévère. Il faut cependant veiller à ne pas confondre le FVP et le jet propre d'IM, ce qui survient notamment lorsque le curseur n'est pas positionné assez loin dans la VP. Par ailleurs, une franche inversion du FVP – et non simplement une baisse de l'amplitude ou un aplatissement de l'onde S avec inversion du rapport S/D – doit être recherchée. En effet, cet aspect sera fréquemment observé en cas d'élévation de la pression auriculaire gauche ou en présence d'une

## I Revues générales

fibrillation atriale et n'est donc pas spécifique d'une régurgitation mitrale sévère.

### 3. Approche quantitative

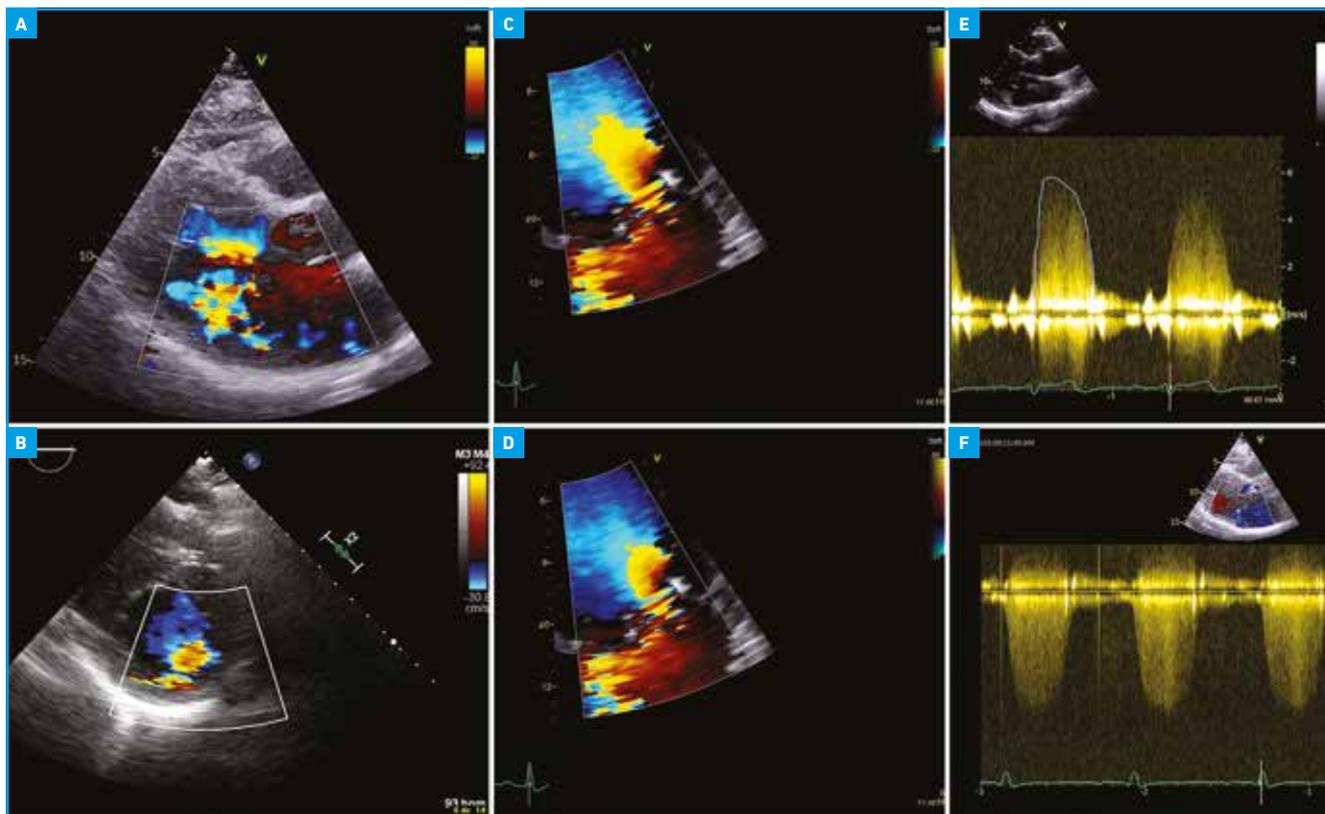
La méthode de la zone de convergence (ou méthode de la PISA, "proximal isovelocity surface area") permet une approche quantitative en apportant un calcul de la SOR en mm<sup>2</sup> et du volume régurgité en mL par battement. Pour être obtenus, ces paramètres nécessitent l'obtention du flux d'IM en Doppler continu et la mise en évidence d'une zone de convergence hémisphérique en Doppler couleur, mais cette fois en diminuant la vitesse d'*aliasing* pour qu'elle soit comprise entre 20 et 40 cm/s, et l'obtention du pic systolique de vitesse du flux d'IM en Doppler continu [3]. La région d'intérêt est zoomée et les incidences sont

multipliées afin de recueillir la plus belle zone de convergence (qui est l'incidence parasternale grand axe notamment en cas de prolapsus de valve antérieure mais parfois aussi l'incidence parasternale petit axe, **fig. 3A et B**).

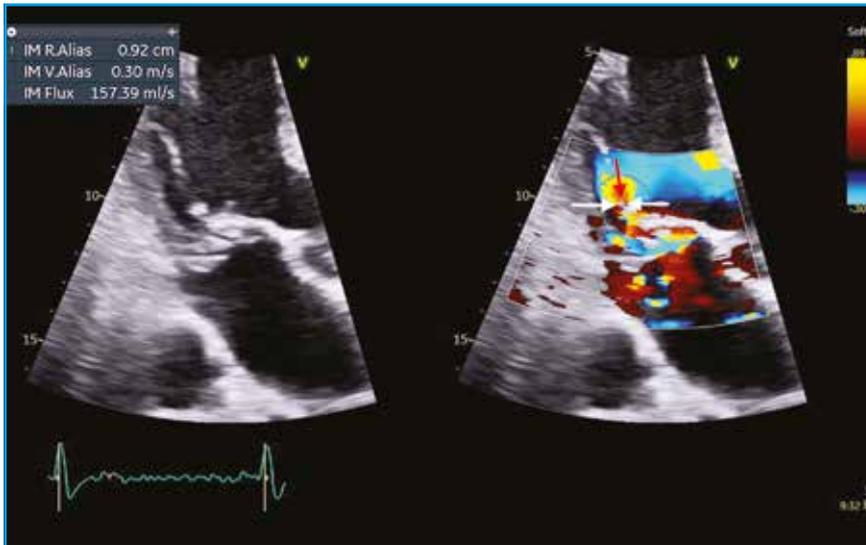
La méthode de la PISA peut être appliquée en ETT et/ou en ETO bien que les données pronostiques reposent sur l'évaluation ETT. Il n'est par ailleurs pas recommandé de retirer la fenêtre Doppler couleur pour délimiter le rayon de la zone de convergence. La forme de la zone de convergence est très souvent circulaire et non hémisphérique. Cela est lié aux problèmes d'alignement en Doppler, les parties latérales de la zone de convergence n'étant pas alignées avec le Doppler, ce qui induit une diminution des vitesses en périphérie, donnant cette forme cir-

culaire alors qu'elle en réalité hémisphérique (**fig. 4**). La zone de convergence peut parfois être confinée auprès d'une paroi, notamment dans le cas des fuites commissurales ou à proximité d'une calcification. La zone de convergence devient alors oblongue, il ne faut par conséquent pas hésiter à augmenter la vitesse d'*aliasing*, ce qui permet de récupérer une hémisphère (**fig. 3C et D**).

L'ajout des SOR en cas de fuites multiples, calculées à partir d'une enveloppe Doppler continue unique, peut être réalisé mais souffre de problèmes de reproductibilité. Il convient en pratique de ne tenir compte que du jet principal si les autres sont minimes. L'alignement incorrect du flux d'IM en Doppler continu avec sous-estimation des vitesses peut amener à une surestimation de la SOR



**Fig. 3 :** A: IM sur prolapsus antérieur en A2 avec visualisation optimale de la zone de convergence en coupe parasternale grand axe. B: zone de convergence obtenue de façon optimale sur une coupe parasternale petit axe chez un patient porteur d'un prolapsus de valve antérieure. C: confinement de la zone de convergence chez un patient porteur d'un prolapsus en P2; le confinement est lié ici à une calcification annulaire mitrale. La remontée de la vitesse d'*aliasing* de 32 à 40 cm/s permet de récupérer une PISA plus sphérique (D). E et F: alignement optimal du flux régurgité obtenu en Doppler continu en parasternale grand axe sur un prolapsus postérieur (E) et antérieur (F).



**Fig. 4 :** Zone de convergence en Doppler couleur avec diminution de la vitesse d'aliasing pour calcul de la PISA chez un patient porteur d'un prolapsus mitral en P2. Noter que la zone de convergence apparaît circulaire en raison de la diminution des vitesses en périphérie de la sphère du fait d'un défaut d'alignement avec le flux (**flèches blanches**) alors que l'alignement avec le flux est parfait au centre (**flèche rouge**). La zone de convergence est par ailleurs ici confinée par la paroi inférolatérale basale.

et de la sévérité de l'IM. En cas d'IM longeant le *septum* interventriculaire (classique sur un prolapsus de valve postérieure), un tir Doppler continu dans la voie d'éjection du VG permet parfois d'obtenir une belle enveloppe de l'IM.

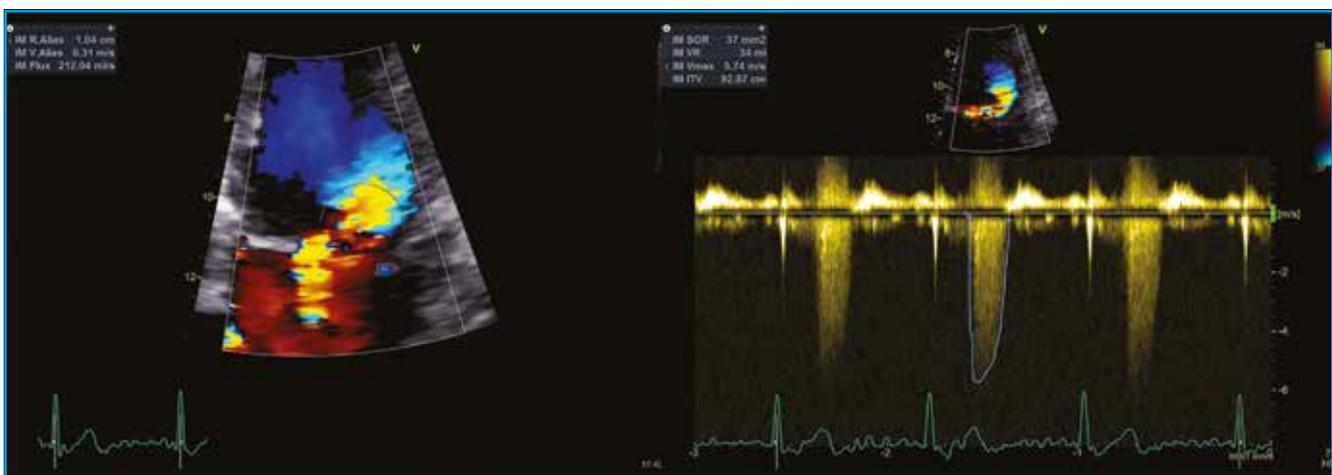
La recherche d'un alignement optimal du flux ne doit pas être réalisée uniquement par les vues apicales : en effet, l'alignement optimal peut être obtenu par voie

parasternale gauche ou droite (**fig. 3E et F**). Si l'alignement du jet est impossible (situation rare en pratique), le calcul de la SOR peut être simplifié en considérant que la  $V_{max}$  de l'IM est de 5 m/s avec une vitesse d'aliasing à 40 cm/s donnant une  $SOR = R^2/2$ . Le VR obtenu par la méthode de la PISA n'a pas de réalité physiologique et surestime parfois de façon majeure le VR réel (cf. infra); il n'est donc pas nécessaire de le reporter systé-

matiquement dans les comptes rendus. Le calcul du VR est toutefois utile en cas d'IM téléstolotique isolée, où l'on pourra observer une SOR élevée contrastant avec un VR modéré car la régurgitation n'existe que pendant une partie de la systole [4]. Le VR permet de ne pas conclure dans cette situation à une IM sévère alors qu'elle est en réalité modérée (**fig. 5**).

Les valeurs seuils de PISA proposées dans l'approche multiparamétrique pour considérer une IM primaire sévère sont une  $SOR \geq 40 \text{ mm}^2$  et un  $VR \geq 60 \text{ mL}$  [5]. Trois grades de régurgitation sont ainsi proposés (**tableau 1**) : "mild, moderate or severe" [6] de traduction française difficile pour *moderate* qui ne signifie pas "modéré". Les IM *moderate* regroupent les *mild-to-moderate* ( $SOR 20-29 \text{ mm}^2$ ,  $VR 30-44 \text{ mL}$ ) et les *moderate-to-severe* ( $SOR 30-39 \text{ mm}^2$ ,  $VR 45-59 \text{ mL}$ ). De façon pragmatique, les IM *mild* correspondraient aux IM de grade 1, les *mild-to-moderate* aux IM de grade 2, les *moderate-to-severe* aux IM de grade 3 et les *severe* aux IM de grade 4.

Il est très important de souligner que même si les recommandations de prise en charge interventionnelle des IM concernent les IM sévères (grade 4) [5], force est de constater que les IM de grade 3 sont régulièrement opérées non seu-



**Fig. 5 :** Quantification de l'IM par la méthode de la PISA en cas d'IM téléstolotique. On note que la SOR est élevée à  $37 \text{ mm}^2$  mais que le VR est bas à  $34 \text{ mL}$  car la fuite ne survient que la moitié du temps. Il ne faut donc pas conclure à une IM de grade 3 dans ce cas sur les données de la SOR mais bien à une IM de grade 2 sur les données du VR.

## Revue générale

### POINTS FORTS

- L'ETT est l'examen paraclinique principal pour le diagnostic d'insuffisance mitrale primaire et pour évaluer sa sévérité ; l'ETO n'est utilisée qu'en cas de doute ou à visée préthérapeutique pour préciser le mécanisme lésionnel.
- Une approche multiparamétrique systématique est utilisée afin d'évaluer la sévérité de la régurgitation.
- La FR de l'IM calculée par échocardiographie et/ou l'IRM cardiaque peut orienter vers une fuite significative quand les paramètres classiques sont non concluants ou mis en défaut ; elle devrait être intégrée dans notre routine clinique.
- Puisqu'aucun des paramètres échocardiographiques ne discerne parfaitement les IM de grade 3 des IM de grade 4 (*moderate-to-severe* et *severe*), nous proposons d'utiliser en routine clinique le terme d'IM significative pour celles pouvant relever d'une prise en charge chirurgicale ou interventionnelle (évaluées grade 3 ou 4), surtout si elles s'accompagnent de symptômes ou de signes de retentissement délétère sur le VG ou sur la circulation pulmonaire.

lement dans la littérature mais aussi en pratique, car elles peuvent être symptomatiques et/ou s'accompagner de signes de retentissement sur le VG ou sur la circulation pulmonaire. En

fait, les méthodes de quantification de l'IM discernent souvent mal les IM de grade 3 des IM de grade 4 dans les publications de validation de ces indices [7]. En pratique, une IM doit

être considérée comme significative si elle est *moderate-to-severe*, c'est-à-dire *moderately severe*, ou *severe* c'est-à-dire de grade 3 ou 4.

Le volume régurgité mitral peut être calculé à l'aide de la méthode quantitative volumétrique, en l'absence de régurgitation aortique autre que minime associée. Il consiste à mesurer le volume éjecté total par le VG (à la fois à travers la valve aortique et régurgité par la mitrale) en systole. Ce volume éjecté total peut être calculé en échocardiographie bi-dimensionnelle par la méthode classique de Simpson biplan, mais aussi à l'aide de l'échocardiographie tridimensionnelle (**fig. 6**) ou par l'IRM cardiaque (**fig. 7**). Le volume d'éjection systolique (VES) aortique est obtenu en échocardiographie dans la chambre de chasse ventriculaire gauche à l'aide de l'ITV sous-aortique par Doppler pulsé et du calibre de la chambre de chasse VG (**fig. 6**).

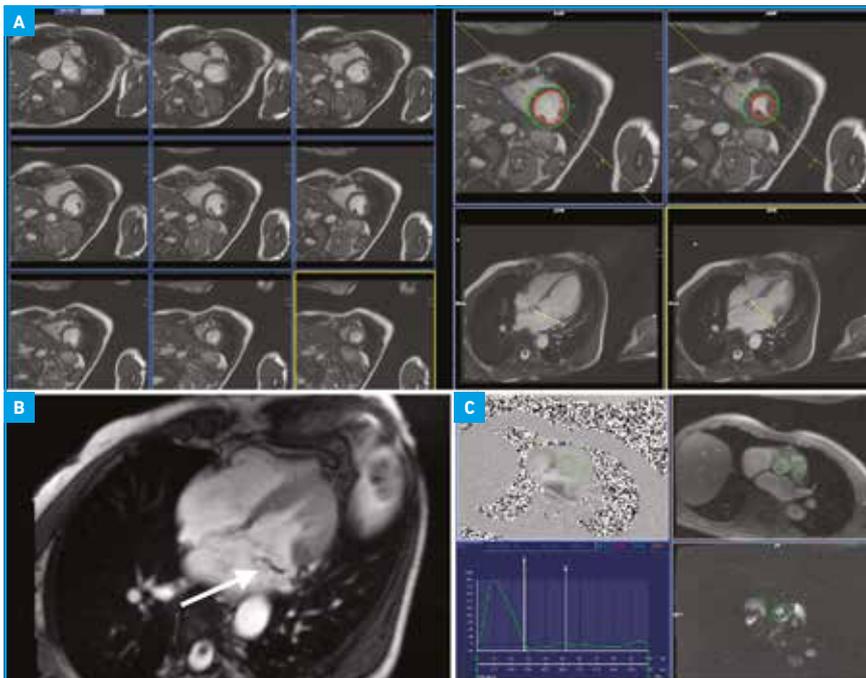
En IRM, le volume éjecté est obtenu en contraste de phase dans l'aorte ascendante, environ 1 cm au-dessus des sigmoïdes aortiques (**fig. 7**). Le volume régurgité est obtenu en soustrayant le VES aortique au volume éjecté total.

Paramètres	IM <i>mild</i> (grade 1)	IM <i>moderate</i> (grades 2-3)	IM <i>severe</i> (grade 4)
<b>Qualitatifs</b>			
Morphologie valvulaire	Normale/anormale	Normale/anormale	<i>Flail</i> , rupture de muscle papillaire
Zone de convergence spontanée	Pas ou petite	Intermédiaire	Large
Signal du jet d'IM	Faible/parabolique	Dense/parabolique	Dense/triangulaire
<b>Semi-quantitatifs</b>			
Largeur de la <i>vena contracta</i>	< 3 mm	Intermédiaire	≥ 7 mm (> 8 en biplan)
ITV mitrale /ITV aortique	< 1	Intermédiaire	> 1,4
Flux mitral	Onde A dominante	Variable	Onde E dominante (>1,5 m/s EACVI ; >1,2 m/s ASE)
Flux veineux pulmonaire	Dominance systolique	Émoussement systolique	Reflux systolique
<b>Quantitatifs</b>			
SOR (mm <sup>2</sup> )	< 20 mm <sup>2</sup>	20-39 cm <sup>2</sup>	≥ 40 cm <sup>2</sup>
VR (mL)	< 30 mL	30-59 mL	≥ 60 mL
Fraction régurgitée (ASE ; ACC/AHA)	< 30 %	30-49 %	≥ 50 %

**Tableau 1 :** Résumé des paramètres de quantification de l'insuffisance mitrale primaire d'après l'EACVI, l'ASE et l'ACC/AHA.



**Fig. 6 :** Quantification de l'IM par la méthode volumétrique 3D (EchoPAC General Electric ici) ; le VES VG total obtenu en 3D est de 206 mL et le VES aortique est calculé à 74 mL, soit un VR à 132 mL et une FR à 64 %, ce qui est cohérent avec une IM significative. VES VG total = 206 mL ; VES aortique = 74 mL ; volume régurgité = 132 mL ; fraction régurgitée =  $132/206 = 64\%$



**Fig. 7 :** Quantification de l'IM par IRM cardiaque à l'aide de la méthode volumétrique. Le VES VG total est mesuré sur des coupes petit axe couvrant l'intégralité du ventricule gauche (A). Le VES aortique est mesuré environ 1 cm au-dessus des sigmoïdes aortiques dans l'aorte ascendante sur des séquences d'imagerie en contraste de phase, en veillant à adapter la vitesse d'encodage (C). On visualise un *flow void* correspondant à l'IM par prolapsus postérieur, ici sur la vue longitudinale 4 cavités (flèche blanche, B), mais qui ne permet pas de quantification. Le VES aortique (ici 69 mL) est retiré du volume VES total VG (149 mL) pour le calcul du VR (69 mL) et de la FR ( $69/149 = 46\%$ ).

On peut alors calculer la fraction régurgitée (FR) de l'IM en rapportant le VR au volume éjecté total. Le volume régurgité et la FR calculés à partir du VES obtenu par l'échocardiographie tridimensionnelle et/ou l'IRM semblent plus fiables que ceux calculés par la méthode de

Simpson biplan qui a tendance à sous-estimer en pratique les volumes ventriculaires gauches et souffre de problèmes de reproductibilité [7-9]. Il faut toutefois être attentif au matériel et au logiciel d'échocardiographie 3D utilisés, dans la mesure où les valeurs obtenues dépendent du

constructeur et des versions des logiciels de post-traitement [10]. Il faut noter que les seuils de VR retrouvés par cette méthode volumétrique sont souvent assez similaires entre échocardiographie et IRM mais différent souvent de ceux obtenus par la méthode de la PISA (sur- et sous-estimation possibles).

Le VR mitral peut également être calculé en IRM en calculant la différence entre le volume VG total éjecté et le volume d'éjection systolique du ventricule droit (tous deux obtenus à l'aide de séquences ciné SSFP) en l'absence d'insuffisance tricuspide > minime. Cette approche semble toutefois moins reproductible que la méthode combinant contraste de phase et volumétrie VG en routine clinique. Les volumes d'éjection aortique et pulmonaire en contraste de phase sont égaux en cas d'insuffisance mitrale (en l'absence d'insuffisance aortique) et ne permettent donc pas de calculer le VR. Quoiqu'il en soit, la méthode d'obtention du VR doit être bien décrite dans le compte rendu car elle peut porter à confusion. Le calcul de la FR a l'avantage d'apporter un indice différent, moins ambigu. Dans notre pratique, une FR supérieure à 35-40 % identifie une IM significative (grade 3-4) avec une très bonne spécificité [8, 11]. La méthode classique débitmétrique à l'anneau mitral n'est plus recommandée en raison de gros problèmes de reproductibilité.

## I Revues générales

En parallèle de l'évaluation de l'IM, il est indispensable de mesurer le retentissement de la fuite sur le VG à l'aide de l'échocardiographie et/ou l'IRM avec évaluation des diamètres VG (DTDVG, le DTSVG étant "le diamètre pronostique"), des volumes VG, de la FEVG ainsi que les dimensions de l'OG (volume OG en Simpson biplan) et la pression artérielle pulmonaire systolique, tous facteurs pronostiques dans le cadre de l'IM et pouvant parfois orienter, y compris en l'absence de symptômes, vers une indication chirurgicale. De plus, la présence de signes de mauvaise tolérance du VG ou d'une hypertension pulmonaire sur une IM initialement jugée non significative devra amener à une réévaluation de celle-ci, à l'aide de l'intégralité des outils disponibles (ETO et/ou IRM).

### ■ Conclusion

L'échocardiographie demeure la pierre angulaire de la quantification de l'IM primaire à l'aide d'une approche multiparamétrique intégrant des données qualitatives, semi-quantitatives et quantitatives. Le calcul de la FR par échocardiographie (2D/3D) et/ou IRM doit désormais être intégré à notre routine clinique.

### BIBLIOGRAPHIE

1. TRIBUILLOY C, RUSINARU D, GRIGIONI F *et al.* Long-term mortality associated with left ventricular dysfunction in mitral regurgitation due to flail leaflets: a multicenter analysis. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014;7:363-370.
2. CHAO K, MOISES VA, SHANDAS R *et al.* Influence of the Coanda effect on color Doppler jet area and color encoding. In vitro studies using color Doppler flow mapping. *Circulation*, 1992;85:333-341.
3. BARGIGLIA GS, TRONCONI L, SAHN DJ *et al.* A new method for quantitation of mitral regurgitation based on color flow Doppler imaging of flow convergence proximal to regurgitant orifice. *Circulation*, 1991;84:1481-1489.
4. TOPILSKY Y, MICHELENA H, BICHARA V *et al.* Mitral valve prolapse with mid-late systolic mitral regurgitation: pitfalls of evaluation and clinical outcome compared with holosystolic regurgitation. *Circulation*, 2012;125:1643-1651.
5. VAHANIAN A, BEYERSDORF F, PRAZ F *et al.* 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*, 2022;43:561-632.
6. LANCELLOTTI P, MOURA L, PIERARD LA *et al.* European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr*, 2010;11:307-332.
7. MARECHAUX S, LE GOFFIC C, ENNEZAT PV *et al.* Quantitative assessment of primary mitral regurgitation using left ventricular volumes: a three-dimensional transthoracic echocardiographic pilot study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2014;15:1133-1139.
8. LE GOFFIC C, TOLEDANO M, ENNEZAT PV *et al.* Quantitative Evaluation of Mitral Regurgitation Secondary to Mitral Valve Prolapse by Magnetic Resonance Imaging and Echocardiography. *Am J Cardiol*, 2015;116:1405-1410.
9. LEVY F, MARECHAUX S, IACUZIO L *et al.* Quantitative assessment of primary mitral regurgitation using left ventricular volumes obtained with new automated three-dimensional transthoracic echocardiographic software: A comparison with 3-Tesla cardiac magnetic resonance. *Arch Cardiovasc Dis*, 2018;111:507-517.
10. CASTEL AL, TOLEDANO M, TRIBUILLOY C *et al.* Assessment of left ventricular size and function by 3-dimensional transthoracic echocardiography: Impact of the echocardiography platform and analysis software. *Am Heart J*, 2018;202:127-136.
11. MARECHAUX S, LE GOFFIC C, ENNEZAT PV *et al.* Quantitative assessment of primary mitral regurgitation using left ventricular volumes: a three-dimensional transthoracic echocardiographic pilot study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2014;15:1133-1139.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.