

## LE DOSSIER

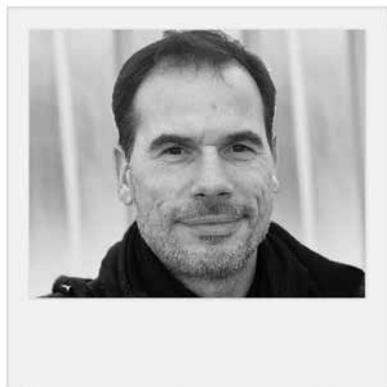
## Étude du VD en pratique

# Étude du ventricule droit en échocardiographie

**RÉSUMÉ:** Souvent négligée car difficile de prime abord, l'étude du ventricule droit est essentielle dans l'évaluation pronostique des cardiopathies congénitales ou acquises.

Dans la pratique quotidienne, on peut obtenir en échographie une évaluation rapide et fiable de la fonction ventriculaire droite globale en combinant les valeurs de trois indices faciles à recueillir, disponibles sur la plupart des appareils commercialisés: en Doppler tissulaire, la vitesse maximale du pic de contraction de l'anneau tricuspide latéral et l'accélération du flux de contraction isovolumique, que l'on complète si besoin par le calcul de la fraction de raccourcissement de surface en mode bidimensionnel. Ils sont tous trois porteurs d'une information pronostique indépendante particulièrement péjorative en cas de dysfonction ventriculaire droite.

La place du *strain* et celle du mode 3D restent à définir en fonction des développements technologiques et des études scientifiques à venir.



→ M. SIMON  
Clinique Saint-Augustin,  
BORDEAUX.

**E**n routine, une grande attention est portée à l'analyse du ventricule et des valves du cœur gauche et, le plus souvent, l'étude du cœur droit se limite au calcul des pressions pulmonaires, le temps d'examen n'étant pas extensible indéfiniment. Les nombreux indices publiés, résumés dans le **tableau I**, démontrent la difficulté d'analyse anatomique et fonctionnelle du VD. Les recommandations de la Société américaine d'échographie médicale parues en 2010 et réactualisées en 2015 les précisent en soulignant pour chacun leurs avantages et limites [1, 2]. Or, la très grande majorité des études publiées citées en référence ne portent que sur des effectifs peu importants (moins de 100 ou, plus souvent, moins de 50 cas), ce qui rend difficile en pratique la comparaison de ces différentes mesures échographiques, en particulier concernant leur signification pronostique.

En pratique quotidienne, on peut rapidement obtenir une évaluation utile

de la fonction ventriculaire droite en s'aidant de quelques mesures simples, à inclure dans tout examen échocardiographique. Dans un but didactique, j'ai choisi de détailler la démarche diagnostique que nous utilisons au quotidien dans notre groupe. Nous l'avons établie au vu des résultats d'une étude menée dans notre laboratoire, en 2011, sur 413 patients consécutifs devant bénéficier d'une intervention de chirurgie cardiaque [3]. Il s'agissait en premier lieu de déterminer l'impact pronostique de la fonction ventriculaire droite mesurée en échographie dans le suivi post-opératoire, laquelle n'est actuellement pas prise en compte dans les scores de risque. L'analyse statistique a permis de mettre en lumière, parmi tous les indices utilisés, ceux qui portent une valeur pronostique indépendante. Cela nous a conduits à adopter une analyse multiparamétrique de la fonction ventriculaire droite, qui nous semble être la plus efficace et la plus précise.

# LE DOSSIER

## Étude du VD en pratique

Mode bidimensionnel	Morphologie du VD	Diamètre basal : $33 \pm 4$ mm Diamètre moyen $27 \pm 4$ mm Épaisseur pariétale $3 \pm 1$ mm
	Cinétique segmentaire et globale	Appréciation visuelle
	Fraction de raccourcissement de surface	Dysfonction systolique si $< 35\%$ (norme : $49 \pm 7\%$ )
Mode TM	TAPSE	Dysfonction systolique si $< 17$ mm
Doppler tissulaire : mode pulsé à l'anneau	Vélocité de l'onde S : S'	Dysfonction systolique si $< 9,5$ cm/s
	Index de performance VD (Tei)	Valeur normale : $0,26 \pm 0,085$
	Accélération de l'onde présystolique (IVA)	Dysfonction systolique si $< 1,8$ m/s <sup>2</sup>
Strain longitudinal	Paroi libre du VD	Dysfonction systolique si $> -20$ (norme $-29 \pm 4,5$ )
Fraction d'éjection 3D		Dysfonction systolique si $< 45\%$ (norme $58 \pm 6,5$ )
Pré-charge ventriculaire droite	Pression auriculaire droite	Diamètre et variations respiratoires de la veine cave inférieure E/E' <sub>tricuspid</sub> (anormal si $> 6$ )
	Fonction diastolique VD	Pas d'indice fiable disponible
Post-charge ventriculaire droite	PAP systolique	Gradient max IT + POD Flux d'insuffisance pulmonaire (3 gradient protodiastolique – 2 gradient télédiastolique) + POD Temps d'accélération du flux pulmonaire (anormal si $< 100$ ms)
	Résistances vasculaires pulmonaires	Rapport Vmax IT/ITV sous-pulmonaire $\geq 0,2$ prédit RAP $> 2$ unités Wood
	Pressions de remplissage VG	Flux Doppler mitral, E/E', durée de l'onde A pulmonaire...

TABLEAU 1 : Les indices utiles à l'évaluation de la fonction ventriculaire droite.

### Démarche diagnostique échographique

#### 1. Mode bidimensionnel

L'examen du ventricule droit en échographie débute par l'étude de sa morphologie : on utilise de multiples incidences du fait de la complexité de la géométrie de la cavité ventriculaire, de sa position antérieure proche de la sonde qui diminue la qualité de l'imagerie ultrasonore et de la présence de trabéculations en plus de la bandelette anciforme qui gênent la délimitation précise de l'endocarde (fig. 1). On peut dès lors estimer en mode bidimensionnel sa taille, son volume, sa fonction systolique globale et segmentaire, visuellement puis de manière plus précise si besoin.

L'indice de référence utilisé à l'heure actuelle, validé par de nombreux travaux, est le calcul de la fraction de raccourcissement de surface (FRS) (fig. 2) : en incidence apicale 4 cavités centrée sur le ventricule droit, on mesure la surface télédiastolique (STD) puis télésystolique (STS) de la cavité. On obtient la FRS par simple calcul (STD-STS)/STD. Elle est anormale si elle est  $< 35\%$ . Entre 35 et 45 %, cet indice n'est pas déterminant pour évaluer la fonction ventriculaire du fait des difficultés de délimitation précise de l'endocarde. On suspecte alors une altération (ou non) de la fonction systolique ventriculaire droite. Il faut garder à l'esprit que les conditions de charge peuvent modifier de façon importante la morphologie et la cinétique globale du ventricule droit : en mode bidimensionnel, une élévation de

la post-charge (HTAp) induira une sous-évaluation de la fonction systolique VD, tandis qu'une baisse de la pré-charge (hypovolémie) induira une surévaluation de cette fonction.

#### 2. Acquisition en mode DTI pulsé de la vitesse de contraction de l'anneau tricuspidé latéral

Elle est simple, rapide et offre une excellente reproductibilité. On obtient ainsi une estimation de la vitesse de déplacement instantanée de l'anneau tricuspidé latéral, en rapport avec la composante longitudinale de la vitesse de contraction des fibres myocardiques.

En coupe apicale 4 cavités centrée sur le VD, on place la ligne Doppler pulsé de façon à ce que la porte soit sur l'anneau

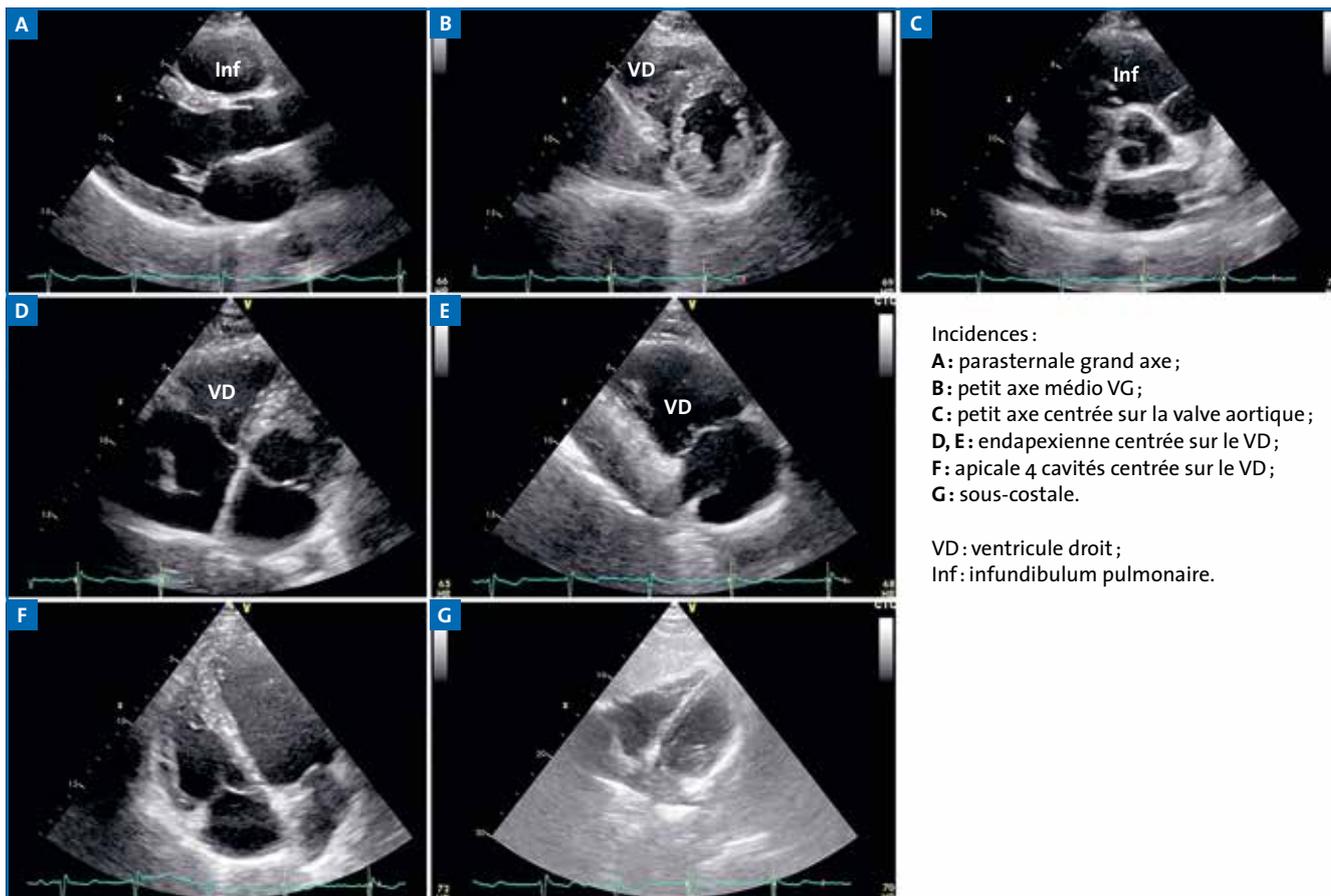


FIG. 1 : Les principales incidences utiles à l'étude du ventricule droit en échographie.

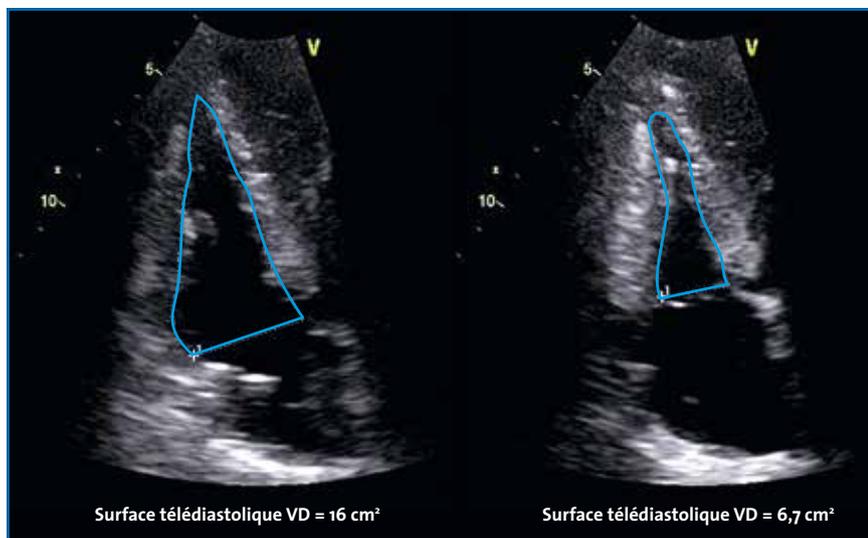


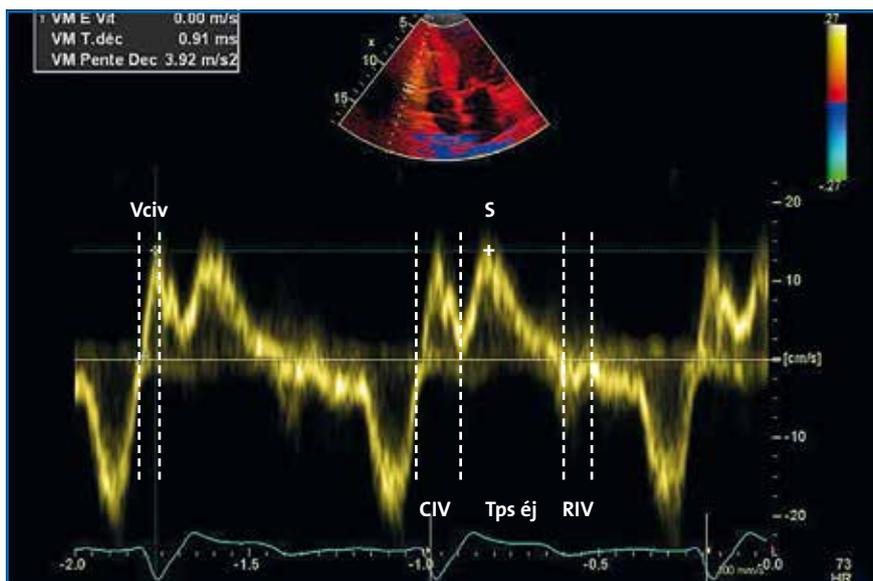
FIG. 2 : Fraction de raccourcissement de surface. Calcul de la fraction de raccourcissement de surface (FRS) à partir d'une incidence apicale 4 cavités centrée sur le ventricule droit (chez un sujet sain) :  $FR = \frac{\text{Surface VD télédiast} - \text{surface VD télésyst}}{\text{Surface VD télédiast}} = \frac{16-6,7}{16} \times 100 = 58,7\%$ .

tricuspide au niveau de la paroi libre (alignée avec la composante longitudinale de contraction de cette paroi), puis on allume le Doppler pulsé tissulaire (au mieux pendant une courte apnée ou en fin d'expiration, de façon à limiter l'effet de déplacement des structures cardiaques lié à la respiration). On obtient cette courbe avec 2 pics en systole : le pic de vitesse pendant la phase de contraction isovolumique (V<sub>civ</sub>), puis le pic de vitesse systolique (S') pendant l'éjection VD (fig. 3).

- Vitesse maximale de contraction : S'. C'est l'indice le plus simple à recueillir, avec une excellente reproductibilité, même en cas de conditions d'échogénicité non optimales (réanimation, patient non mobilisable...). Il reste cependant relativement dépendant des conditions

# LE DOSSIER

## Étude du VD en pratique



**FIG. 3 :** Vitesses enregistrées en DTI sur l’anneau tricuspide latéral. CIV : contraction isovolumique ; Tps éj : temps d’éjection ventriculaire droite ; RIV : relaxation isovolumique ; S’ : vitesse maximale de déplacement de l’anneau tricuspide latéral ; Vciv : vitesse maximale enregistrée pendant la phase de contraction isovolumique. L’accélération du pic de contraction isovolumique (Acc civ) est obtenue en divisant Vciv par le temps séparant le début de la CIV du pic de vitesse Vciv ou plus simplement par la mesure de la pente de la droite figurée ci-dessus en trait plein (dans l’exemple, Acc civ est mesurée à 3,92 m/s<sup>2</sup>, valeur normale).

de charge [3] et n’est pas suffisant pour affirmer l’altération de la fonction ventriculaire droite. Dans notre laboratoire, nous le préférons à la mesure en mode TM de l’amplitude maximale d’excursion systolique de l’anneau tricuspide latéral (TAPSE), redondante par rapport

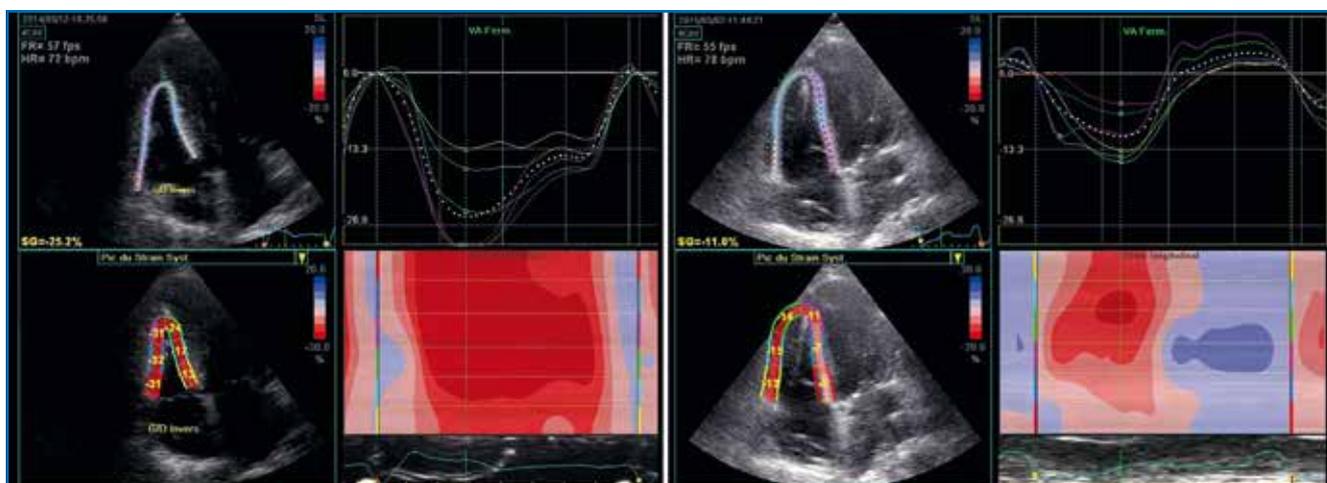
à S’et qui nous est apparue en pratique quotidienne plus difficile à recueillir, avec une moins bonne reproductibilité, surtout en cas de suspicion de dysfonction ventriculaire droite. De la même façon, en routine, la mesure de l’index de performance myocardique VD (Tei) s’est

révélee moins aisée à utiliser, n’apportant pas d’information complémentaire aux autres indices dans les cas litigieux, car particulièrement sensible à l’augmentation de pression dans l’oreillette droite (pré-charge).

- L’accélération de la vitesse de contraction isovolumique, obtenue par la mesure de la pente du pic de contraction isovolumique (en cm/s<sup>2</sup>) nous est apparue beaucoup plus intéressante (fig. 3). C’est l’indice le moins dépendant des conditions de charge [3, 4]. En dessous de 1,8 cm/s<sup>2</sup>, il est en faveur d’une altération de la fonction contractile ventriculaire droite globale. En cas de valeur limite de la fraction de raccourcissement de surface (35-45 %) ou de valeur de S’(8 à 10 cm/s), il permet d’orienter le diagnostic vers une altération significative de la fonction ventriculaire droite, apportant aussi dans notre étude une valeur pronostique indépendante.

### 3. Qu’en est-il des autres techniques mentionnées dans les recommandations ?

- Le *strain* ventriculaire droit (fig. 4) : c’est la mesure du pic systolique de déformation myocardique sur la paroi latérale



**FIG. 4 :** Mesure du *strain* ventriculaire droit. Exemple de mesure du *strain* de la paroi ventriculaire droite en 2D *speckle tracking*. À gauche chez un sujet sain : les 3 valeurs calculées sur la paroi libre sont normales, à plus de 30 % (en valeur absolue). À droite dans un cas de dysfonction ventriculaire droite : les 3 valeurs sur la paroi libre sont altérées, toutes inférieures à 20 % (de 13 à 15 % en valeur absolue).

Veine cave inférieure	Variations respiratoires	Estimation POD
Petite (< 15 mm)	Vidange complète en inspiration	5 mmHg
Normale (15-25 mm)	Vidange > 50 %	10 mmHg
Normale (15-25 mm)	Vidange < 50 %	15 mmHg
Dilatée (> 25 mm)	Vidange < 50 %	20 mmHg
VCI et VSH dilatées	Pas de variation	> 20 mmHg



En incidence sous-costale, la mesure du diamètre de la veine cave inférieure s'effectue perpendiculairement à l'axe du vaisseau, à environ 1 cm de son abouchement dans l'oreillette droite, pour plus de précision en mode bidimensionnel, en expiration (A) puis en inspiration (B).

TABLEAU II : Estimation de la pression auriculaire droite (POD) par l'étude des variations respiratoires de la veine cave inférieure.

du ventricule droit en coupe apicale 4 cavités centrée sur le VD. Elle s'effectue *off-line* grâce à un logiciel fourni par le constructeur (on détourne en fait le logiciel conçu pour l'étude du ventricule gauche, en ne retenant que les valeurs obtenues sur la paroi libre du VD, la paroi septale ventriculaire droite n'étant pas analysable séparément de celle du ventricule gauche). Plusieurs études suggèrent un intérêt pronostique dans l'insuffisance cardiaque ou encore dans l'infarctus [5, 6]. Mais cette technique reste en cours de validation, les valeurs obtenues différant selon les constructeurs et variant en fonction des conditions de charge [3].

- Mesure 3D de la fonction ventriculaire droite : elle est *a priori* très séduisante, car elle permet l'évaluation la plus complète des volumes ventriculaires en incluant l'infundibulum [7]. Mais, en pratique, sa mise en œuvre n'est pas envisageable en routine, car elle demande encore un temps trop long. Bien validée chez les témoins sains, elle reste en cours d'évaluation dans les différentes situations pathologiques.

#### 4. Conditions de charge du VD

On ne peut poser le diagnostic de dysfonction ventriculaire droite sans avoir

une évaluation des conditions de charge, le VD y étant particulièrement sensible [8]. En particulier, en cas de dysfonction ventriculaire droite, il faut pouvoir suspecter qu'une part de cette altération est liée à une augmentation de la post-charge, plus probablement réversible qu'une altération de la contractilité.

En pratique quotidienne, on estime la pré-charge (soit la pression auriculaire droite) par l'étude des variations respiratoires de la veine cave inférieure en incidence sous-costale (**tableau II**). La mesure de la taille de l'oreillette droite, du rapport E/E'<sub>tricuspide</sub> ou l'étude du flux veineux sus-hépatique peuvent

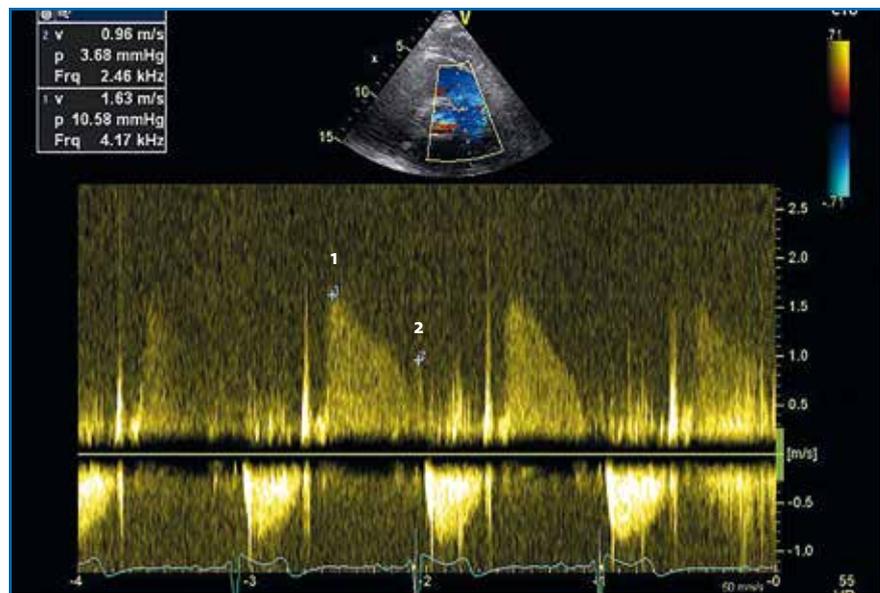
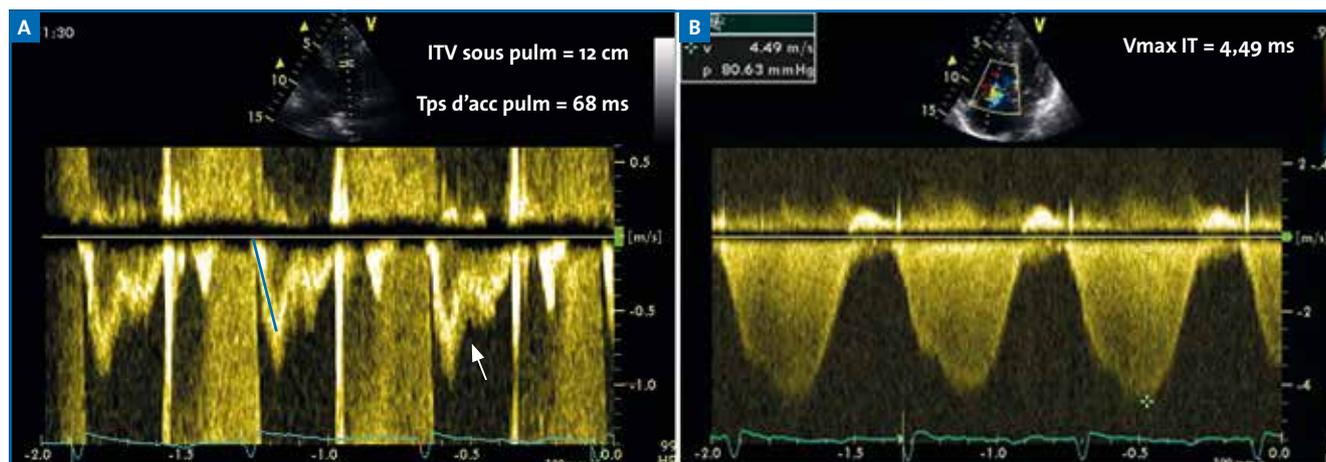


FIG. 5 : Flux d'insuffisance pulmonaire (IP) enregistré en Doppler continu. Estimation des pressions pulmonaires à partir du flux d'IP :

- Pression artérielle pulmonaire moyenne (PAPm) : gradient protodiastolique (1) + POD = 10 mmHg + POD.
- Pression artérielle pulmonaire diastolique (PAPd) : gradient télésystolique (2) + POD = 4 mmHg + POD.
- Pression artérielle pulmonaire systolique : (3 PAPm - 2 PAPd) + POD = 22 mmHg + POD.

# LE DOSSIER

## Étude du VD en pratique



**FIG. 6 :** Résistances pulmonaires et étude de l'ITV sous-pulmonaire. **A.** Morphologie typique du flux d'ITV sous-pulmonaire d'HTAp importante avec temps d'accélération (délai entre début et pic de l'ITV) court (< 100 ms) et crocheteur téléstolotique (flèche). **B.** Vitesse maximale du flux d'IT à 4,49 m/s (gradient VD/OD à 80 mmHg), soit rapport  $V_{max} IT/ITV$  sous-pulmonaire à  $4,49/12 = 0,37$  soit  $> 0,2$ : forte probabilité d'élévation des résistances pulmonaires.

aussi aider à préciser la pression auriculaire droite, mais plus difficilement au cours d'un examen de routine. La post-charge est évaluée par la mesure des pressions et résistances pulmonaires.

Comme chacun sait, on obtient facilement une estimation de la PAPs par le biais de la vitesse maximale du flux d'insuffisance tricuspide en Doppler continu ( $PAPs = 4V^2_{max} IT + POD$ ), de la PAPm et de la PAPd grâce au flux d'insuffisance pulmonaire (vitesses maximales proto-et télédiastoliques) (fig. 5). Il est aussi souvent très utile de suspecter une élévation des résistances pulmonaires (> 2 unités Wood) lorsque le rapport  $ITV$  sous-pulmonaire/ $V_{max} IT$  est supérieur à 0,2 [9] pour confirmer l'élévation de la post-charge ventriculaire droite (fig. 6). De même, en cas d'absence de fuite tricuspide ou pulmonaire enregistrable, l'enregistrement de l'ITV du flux sous-pulmonaire permet de prouver de façon indirecte la présence d'une hypertension artérielle pulmonaire (fig. 6).

### 5. Complément

Enfin, on complète, bien sûr, l'examen échographique par l'étude du ventricule gauche: évaluation de la fonction sys-

tolique segmentaire et globale, du débit cardiaque, des pressions de remplissage, recherche de valvulopathies et d'un épanchement péricardique.

### Bibliographie

1. LANG RM, BADANO LP, MOR-AVI V *et al.* Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015; 28:1-39.e14.
2. RUDSKI LG, LAI WW, AFLALO J *et al.* Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010;23:685-713 (quiz 786-788).
3. PEYROU J, PARSAI C, CHAUVEL C, SIMON M *et al.* Echocardiographic assessment of right ventricular systolic function in a population of unselected patients before cardiac surgery: a multiparametric approach is necessary. *Arch Cardiovasc Dis*, 2014; 107:529-539.
4. VOGEL M, SCHMIDT MR, KRISTIANSEN SB *et al.* Validation of myocardial acceleration during isovolumic contraction as a novel noninvasive index of right ventricular contractility: comparison with ventricular pressure-volume relations in an animal model. *Circulation*, 2002;105:1693-1699.

5. GUENDOUZ S, RAPPENEAU S, NAHUM J *et al.* Prognostic significance and normal values of 2D strain to assess right ventricular function in chronic heart failure. *Circ J*, 2012;76:127-136.
6. ANTONI ML, SCHERPTONG RW, ATARY JZ *et al.* Prognostic value of right ventricular function in patients after acute myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2010;3:264-271.
7. OSTENFELD E, A FLACHSKAMPF F. Assessment of right ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography: from geometric approximations to realistic shapes. *Echo Res Pract*, 2015;2:R1-R11.
8. HADDAD F, HUNT SA, ROSENTHAL DN *et al.* Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: Anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation*, 2008;117: 1436-1448.
9. ABBAS AE, FORTUIN FD, SCHILLER NB *et al.* A simple method for noninvasive estimation of pulmonary vascular resistance. *J Am Coll Cardiol*, 2003;41:1021-1027.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.