

Echocardiographie transthoracique normale en anesthésie, réanimation et urgences

L Muller, G Louart, JY Lefrant.

CHU Nîmes – Caremeau

Service des réanimations - Pôle Anesthésie, douleur, réanimation et urgences-SAMU

Place du Pr Debré 30029 Nîmes cedex

Résumé

L'échocardiographie transthoracique (ETT) constitue le moyen le moins invasif et le plus rapide pour obtenir une évaluation hémodynamique quasi complète. Si l'examen clinique et l'anamnèse doivent rester la base du raisonnement médical, plusieurs études montrent que la réalisation d'une ETT permet d'améliorer la performance diagnostique du praticien en montrant des anomalies significatives ignorées par la clinique et/ou le cathéter artériel pulmonaire dans 30 à 50 % des cas. La performance diagnostique d'une ETT est d'autant plus élevée que l'étape clinique préalable a été complète et sérieuse. Les compétences nécessaires à l'utilisation de l'ETT dans le champ de l'anesthésie et de la réanimation sont actuellement bien définies par les sociétés scientifiques. La connaissance de l'ETT normale est un préalable incontournable à la pratique de cet examen en pathologie. Les progrès technologiques ont permis une amélioration sensible de la qualité des images en ETT avec une échogénicité suffisante chez plus de 90% des patients.

Abstract

Transthoracic echocardiography (TTE) is a rapid and non-invasive tool to assess hemodynamics of critically ill patients. If clinical examination remains the basis of a good medical practice, TTE allows detection of major cardiac disturbances, frequently ignored by physical examination alone. The TTE skills for ICU physician have been well defined during the five past years by scientific societies. A good knowledge of normal TTE exam is the first and fundamental step for the routine use of this technique in clinical setting. Due to a constant increase of probes quality, the imaging conditions are sufficient in a majority of cases.

Key words : Transthoracic echocardiography, intensive care, critical care.

Introduction

L'échocardiographie transthoracique (ETT) constitue le moyen le moins invasif et le plus rapide pour obtenir une évaluation hémodynamique quasi complète¹. Elle peut être utile avant une anesthésie en urgence pour évaluer la fonction cardiaque globale et les pressions de remplissage, particulièrement en cas d'antécédents cardio-vasculaires. En réanimation et aux urgences, l'ETT permet d'identifier ou d'exclure une cause cardiogénique d'état de choc, de guider le remplissage vasculaire et de préciser la cause et les conséquences ventriculaires droites d'une hypoxémie². Même si les ultrasons ont des effets tissulaires réels, il n'existe après environ 40 ans d'utilisation aucune preuve de toxicité cliniquement significative de cette technique qui peut donc être répétée sans restriction³. Si l'examen clinique et l'anamnèse doivent rester la base du raisonnement médical, plusieurs études montrent que la réalisation d'une ETT permet d'améliorer la performance diagnostique du praticien en montrant des anomalies significatives ignorées par la clinique et/ou le cathéter artériel pulmonaire dans 30 à 50 % des cas^{2,4-6}. La performance diagnostique d'une ETT est d'autant plus élevée que l'étape clinique préalable a été complète et sérieuse. L'utilisation large du cathéter artériel pulmonaire comme outil hémodynamique de référence dans les années 70-90 a mis en évidence d'importantes lacunes des praticiens quant à la connaissance et l'exploitation de cet outil⁷, ce qui explique en partie l'absence d'effet favorable démontré de ce dispositif⁸. Afin d'éviter les mêmes déconvenues avec l'échocardiographie, un effort de formation tout particulier a été entrepris ces dernières années afin de définir le champ d'application de l'ETT chez le patient critique, ainsi que les niveaux de formation requis⁹. La justesse des informations fournies par une ETT est largement conditionnée par un enregistrement des coupes et des flux Doppler le plus exact possible, ce qui impose de connaître parfaitement l'examen ETT normal. En d'autres termes, la connaissance de l'ETT normale est un préalable incontournable à la pratique de cet examen en pathologie. Les progrès technologiques ont permis une amélioration sensible de la qualité des images en ETT avec une échogénicité correcte chez plus de 90% des patients². Au delà de l'évaluation de la volémie, l'échocardiographie facilite le diagnostic de défaillance ventriculaire gauche ou droite^{6,10}. Près de 40 % des patients admis en réanimation ont une anomalie cardiaque échographique significative. Cette anomalie est ignorée par la clinique dans plus de 75% des cas⁴. L'ETT permet d'exclure ou d'affirmer l'origine cardiogénique d'un état de choc avec une sensibilité, une spécificité, une valeur prédictive négative et positive de 100 %, 95%, 97% et 100%, respectivement². Ce texte décrit l'ETT normale vue sous l'angle de l'anesthésie, de la

réanimation et des urgences, en gardant à l'esprit que le but d'une telle exploration n'est pas de réaliser ou de remplacer une consultation de cardiologie.

L'installation en décubitus latéral gauche, lorsqu'elle est possible, améliore la qualité des images. L'utilisation d'un enregistrement ECG sur la machine d'échographie, en temps réel doit être systématique car il facilite l'interprétation des spectres Doppler.

Terminologie simplifiée d'échographie-Doppler

Modes d'échographie (Figure 1):

L'échographie permet des images bidimensionnelles (mode 2D, BD ou mode B comme brillance) ou en temps - mouvement (mode TM ou M). Les images 2D montrent les structures anatomiques et constituent les images échographiques au sens commun du terme. Le mode TM ou M permet la visualisation de structures anatomiques en mouvement en fonction du temps à partir d'un plan de coupe choisi. Il permet la mesure des diamètres des cavités ventriculaires sur un cycle de temps, comme les diamètres télésystoliques et télédiastoliques permettant la mesure de la fraction de raccourcissement ventriculaire gauche ou les diamètres de la veine cave inférieure. Le mode M permet également la mesure des épaisseurs de paroi cardiaque afin de juger du caractère hypertrophique d'une cardiomyopathie.

Modes Doppler :

Quatre modes Doppler sont utilisés en routine : continu, pulsé, couleur et tissulaire. Physiologiquement, les vitesses intra cardiaques sont inférieures à 1,5 m/s. Toute vitesse supérieure est pathologique et correspond en général à une sténose (valvulaire, vasculaire, intraventriculaire) ou à une fuite valvulaire. La base d'un examen Doppler est d'être aligné (angle $< 30^\circ$ entre le flux et le tir Doppler) avec le flux analysé sous peine de sous estimer les vitesses. Un pré repérage en Doppler couleur permet de vérifier visuellement l'alignement du flux et du tir.

• *Doppler pulsé (Figure 2):*

Dans ce mode, les ultrasons (US) sont émis par paquets discontinus. A l'inverse du Doppler continu, le Doppler pulsé permet d'analyser une zone précise, punctiforme mais ne permet pas l'analyse de vitesses supérieures à 1,5 m/s. Il existe donc une bonne résolution spatiale mais une ambiguïté des vitesses. Un flux venant vers la sonde est dit positif et est codé au dessus de la ligne de base (par exemple, flux mitral, *Figure 2*). Un flux venant fuyant la sonde est dit négatif et est codé au dessous de la ligne de base (par exemple, flux aortique, *Figure 2*). L'incapacité de ce mode à analyser les vitesses élevées, se traduit par le phénomène d'*aliasing* ou repliement spectral où le spectre Doppler est décapité sur les hautes vitesses

apparaissant en miroir dans le sens inversé. En pratique, le mode pulsé permet d'analyser les flux physiologiques, en particulier les pressions de remplissage par le flux mitral et le calcul du débit cardiaque par le flux sous aortique.

• *Doppler continu* :

Dans ce mode Doppler, l'émission et la réception des US se font de façon continue par 2 cristaux différents. L'image (spectre) Doppler obtenue correspond à la somme de toutes les vitesses enregistrées sur la totalité de la longueur du trajet des US représenté sur l'image par la ligne de tir. Un flux venant vers la sonde est dit positif et est codé au dessus de la ligne de base. Un flux venant fuyant la sonde est dit négatif et est codé au dessous de la ligne de base (par exemple, flux d'insuffisance tricuspидienne, *Figure 2*). Ce mode permet l'analyse des hautes vitesses ($> 1,5$ m/s) mais ne permet pas de localiser l'endroit de l'accélération du flux. En d'autres termes, le Doppler continu autorise une bonne résolution des vitesses mais entraîne un phénomène d'ambiguïté spatiale. En pratique, ce mode permet de quantifier les sténoses et les fuites.

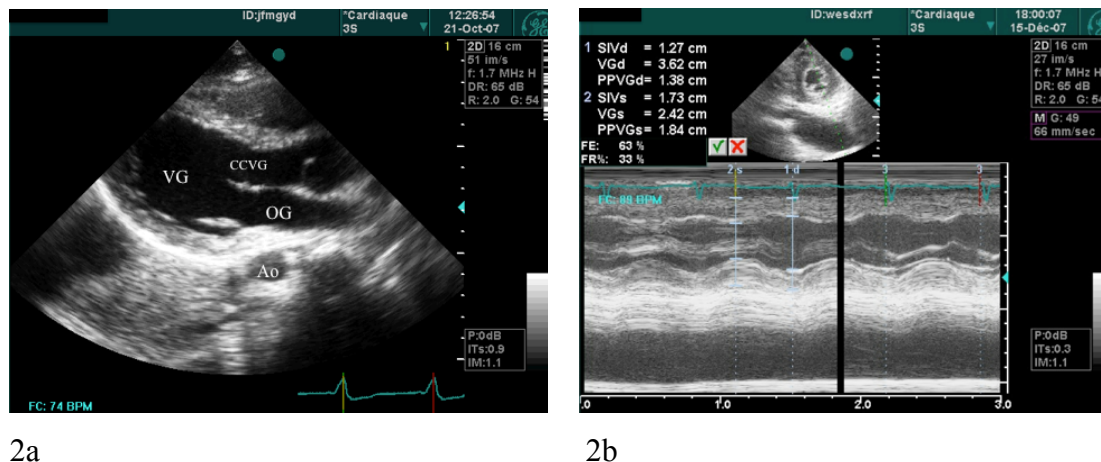
• *Doppler couleur (Figure 3)* :

Le Doppler couleur est un Doppler pulsé. Il comporte donc les limites de ce dernier : bonne résolution spatiale mais ambiguïté des vitesses (*Aliasing*). Le mode couleur consiste en une cartographie des vitesses au sein d'un volume d'échantillonnage matérialisé sur l'image par un secteur trapézoïdal. Au sein du volume d'échantillonnage, chaque globule rouge en mouvement reçoit un code couleur qui est fonction du sens de son déplacement. Un flux venant vers la sonde est dit positif et est codé en rouge. Un flux fuyant la sonde est dit négatif et est codé en bleu. Le phénomène d'*aliasing* est très informatif en Doppler couleur car il se traduit par un codage jaune. La visualisation d'un *aliasing* témoigne d'une accélération régionale du flux et permet de localiser la zone responsable d'une sténose. En cela, le Doppler couleur complète les données du Doppler continu ayant montré une accélération sans permettre de localiser son site. A titre d'exemple, si un flux accéléré est observé en Doppler continu sur la voie d'éjection ventriculaire gauche, on ne peut différencier une sténose aortique d'une obstruction intraventriculaire. La visualisation d'un *aliasing* intraventriculaire plaide pour la seconde hypothèse, un *aliasing* transvalvulaire plaide en faveur d'un rétrécissement aortique.

• *Doppler tissulaire* :

Le Doppler tissulaire (Doppler pulsé avec filtre supprimant les hautes vitesses) enregistre le déplacement de la paroi myocardique et non des globules rouges. Ce mouvement est inversé par rapport au flux sanguin. Il est essentiellement utilisé à l'anneau mitral et tricuspидien. Les

vitesse enregistrées sont faibles, de l'ordre du cm/s. Cette analyse myocardique pariétale permet l'évaluation des propriétés intrinsèques du myocarde, systoliques (Onde S) et diastoliques (Ondes E' (ou Ea) et A' (ou Aa)).



2a

2b

Figure 1 : Modes d'imagerie en échographie. 2a : imagerie bidimensionnelle (coupe parasternale grand axe - PSGA). 2b : échographie TM du ventricule gauche en position médio ventriculaire à partir de la coupe PSGA ou PSPA permettant la mesure des épaisseurs de paroi, des diamètres ventriculaires en systole et en diastole puis le calcul de la fraction de raccourcissement. Ao = Aorte thoracique descendante, VG = ventricule gauche, OG = oreillette gauche, CCVG = chambre de chasse du VG.

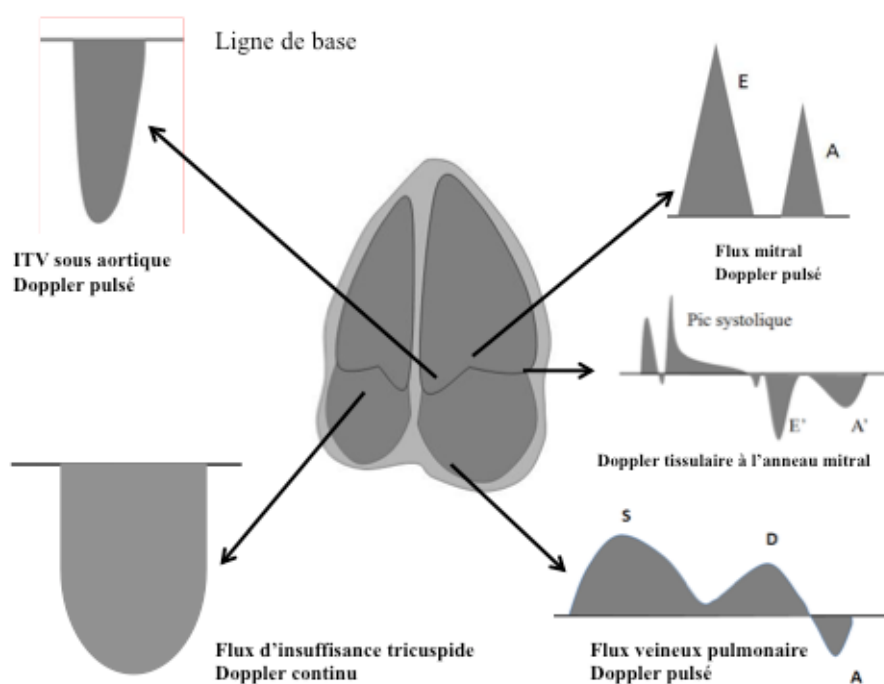


Figure 2 : Modes et flux Doppler utilisés en routine. Le Doppler pulsé permet l'analyse d'un flux physiologique (basse vitesse < 1,5 m/s) en un point donné (bonne résolution spatiale). Il s'agit du mode usuel lors d'une analyse hémodynamique. Le Doppler continu permet l'analyse de flux pathologiques (haute vitesse > 1,5 m/s) lors de fuites ou de sténoses. Un flux positif (venant vers la sonde) est codé au dessus de la ligne de base, un flux négatif en dessous de la ligne de base.

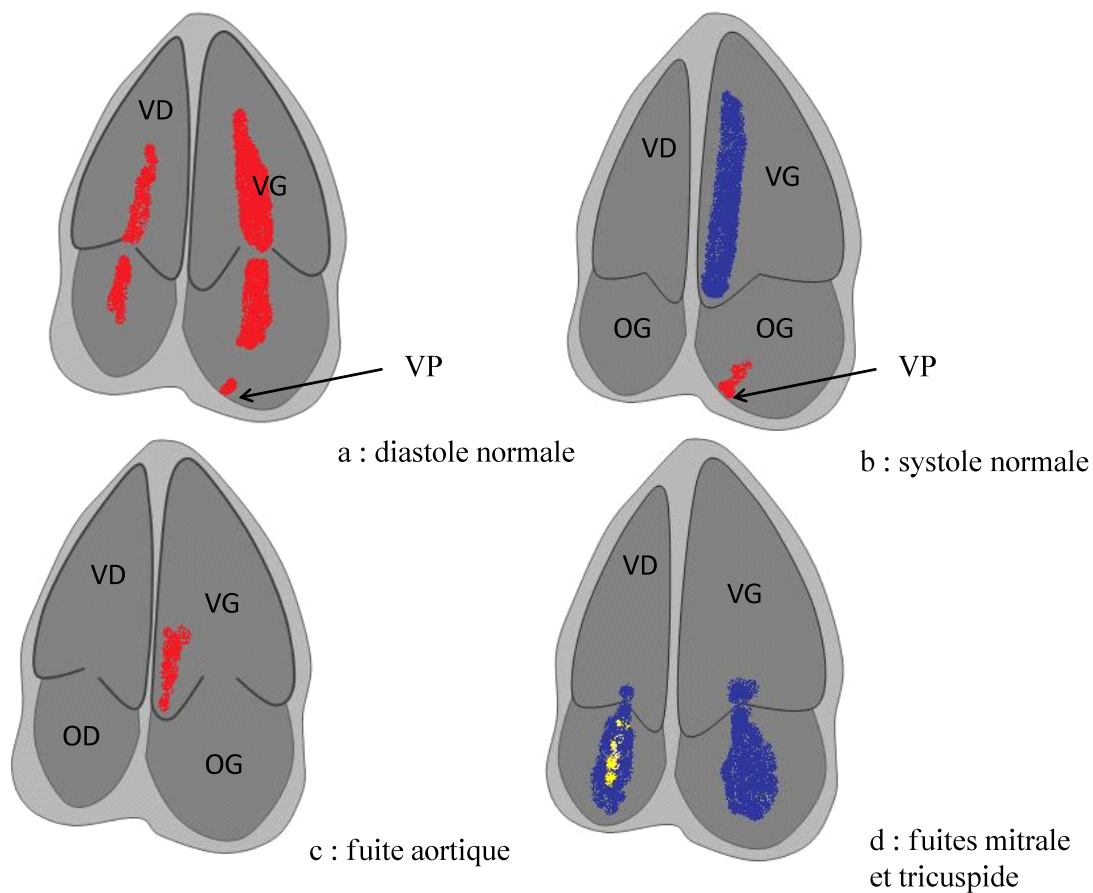


Figure 3 : flux Doppler couleur normaux et pathologiques en diastole (a et c) et en systole (b et d). En diastole, le flux de remplissage auriculo ventriculaire, codé en rouge, vient vers la sonde (a). En systole, le flux d'éjection ventriculaire, codé en bleu, fuit la sonde (b). Le flux veineux pulmonaire (VP), pouvant aider à l'évaluation des pressions ventriculaires gauches, est un flux systolo-diastolique (a et c) recueilli en ETT à la base de l'oreillette gauche à partir de la veine pulmonaire supérieure droite.

Coupes échographiques bidimensionnelles de base

Fenêtres acoustiques utilisables en ETT (figure 4):

Comme pour les foyers d'auscultation cardiaque, les images d'échographie cardiaque sont recueillies au niveau de 5 régions thoraciques offrant une moindre résistance à la pénétration des ultrasons, appelées fenêtres acoustiques. Les fenêtres parasternales, apicales et sous costales sont les 3 voies préférentielles en réanimation. Pour chacune de ces trois fenêtres, la rotation de la sonde sur son grand axe sagittal permet d'obtenir des plans de coupe différents. Ainsi, pour une fenêtre donnée, il existe plusieurs plans de coupe définissant les principales coupes échocardiographiques.

Principales coupes en ETT : 6 coupes fondamentales

Il s'agit des premières notions à acquérir lors de l'apprentissage de l'échocardiographie. Ces coupes doivent être parfaitement connues par l'opérateur. Pour fixer les idées, la connaissance de ces coupes peut être considérée acquise lorsque l'opérateur en apprentissage est capable de les dessiner de mémoire.

- ***Coupe parasternale grand axe (PSGA) (Figure 5, Vidéo 1) :***

La sonde est appliquée au bord gauche du sternum, son axe suivant un ligne imaginaire reliant le mamelon gauche à la zone médio claviculaire droite. Les structures visualisées sont décrites en Figure 5. Cette coupe est fondamentale pour la recherche et la quantification d'un épanchement péricardique grâce à la visualisation du péricarde postérieur qui apparaît hyperéchogène et de son feuillet de réflexion. Ce dernier se trouve entre l'OG et l'aorte thoracique descendante. Ainsi, en cas d'épanchement péricardique, le liquide se localise entre l'OG et l'aorte, à la différence d'un épanchement pleural qui passe en arrière de l'aorte. Cette coupe est donc précieuse pour le diagnostic différentiel d'épanchement péricardique et pleural gauche. La coupe PSGA permet la mesure du diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche (VG) qui est utile au calcul du débit cardiaque (diamètre bord à bord interne au ras de l'insertion de feuillets aortiques, côté VG). Cette coupe permet la mesure en mode TM des diamètres télédiastoliques (DTDVG = 37 – 56 mm, au delà : cardiomyopathie dilatée) et systoliques du VG (DTSVG = 22 – 40 mm) et des épaisseurs de la paroi ventriculaire gauche septale et postérieure (6 – 11 mm, au delà : cardiomyopathie hypertrophique). L'épaisseur de myocarde est homogène quelle que soit la localisation. Si hypertrophie septale isolée : suspecter une cardiomyopathie obstructive. En déplaçant le plan de coupe TM au niveau de l'aorte ascendante et de l'OG, on mesure le diamètre latéral de l'OG (19-40 mm), indice grossier de volume auriculaire et le diamètre de la racine aortique (20-37 mm). On mesure

ensuite la fraction de raccourcissement en diamètre (FRD) ($FRD = DTDVG - DTSVG$, Normale = 26 – 40 %) qui permet une extrapolation de la fraction d'éjection par la formule de Teicholz, qui transforme les diamètres en volume ($V = 7D^3 / (2,4 + D)$). Cette technique n'est valable qu'en l'absence de troubles de cinétique segmentaire. Enfin, on étudie visuellement l'aspect et la cinétique des valves aortiques et mitrales en mode 2D et Doppler couleur pour la détection rapide d'une valvulopathie majeure.

- *Coupe parasternale petit axe (PSPA) (Figure 6, Vidéo 2):*

A partir de la position précédente, une rotation de 90° dans le sens horaire est appliquée à la sonde. Cette coupe visualise le VG et le ventricule droit (VD) en coupe transversale, séparés par le septum interventriculaire (*Figure 6*). Le VG doit apparaître parfaitement discoïde. L'intérêt de cette coupe est d'analyser les cinétiques globale et régionale du VG puisqu'elle montre la paroi latérale, antérieure, postérieure et le septum interventriculaire (SIV). Cette coupe permet de calculer la fraction d'éjection du VG, soit en mode TM avec calcul de la fraction de raccourcissement en diamètre, soit en mode 2D avec calcul de la fraction de raccourcissement de surface (FRS) qui donne directement la fraction d'éjection sans nécessité d'appliquer la formule de Teicholz. La FRS se calcule en figeant l'image en télédiastole (STDVG) puis en télésystole et en traçant le contour interne du VG (STSVG) à ces deux temps, puis en appliquant la formule : $FRS = STDVG - STSVG / STDVG$. (Normale 55-100%). Cette coupe a enfin un intérêt majeur dans le diagnostic du cœur pulmonaire aigu où elle permet la mise évidence du septum paradoxal.

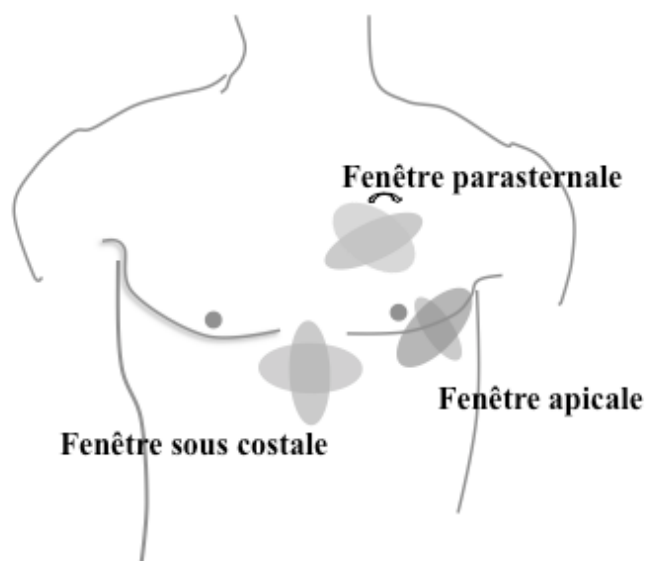


Figure 4 : Fenêtres acoustiques en échocardiographie. Les 3 fenêtres principales sont les fenêtres parasternales, apicales et sous costales. Les fenêtres sus-sternales et parasternales droites utilisées en cardiologie ont un intérêt limité en réanimation. **Les ombres ovales grises représentent la zone cutanée sur laquelle est posée la surface d'émission de la sonde d'échographie, les flèches la rotation de la sonde pour obtenir les différentes coupes sur une même fenêtre.**

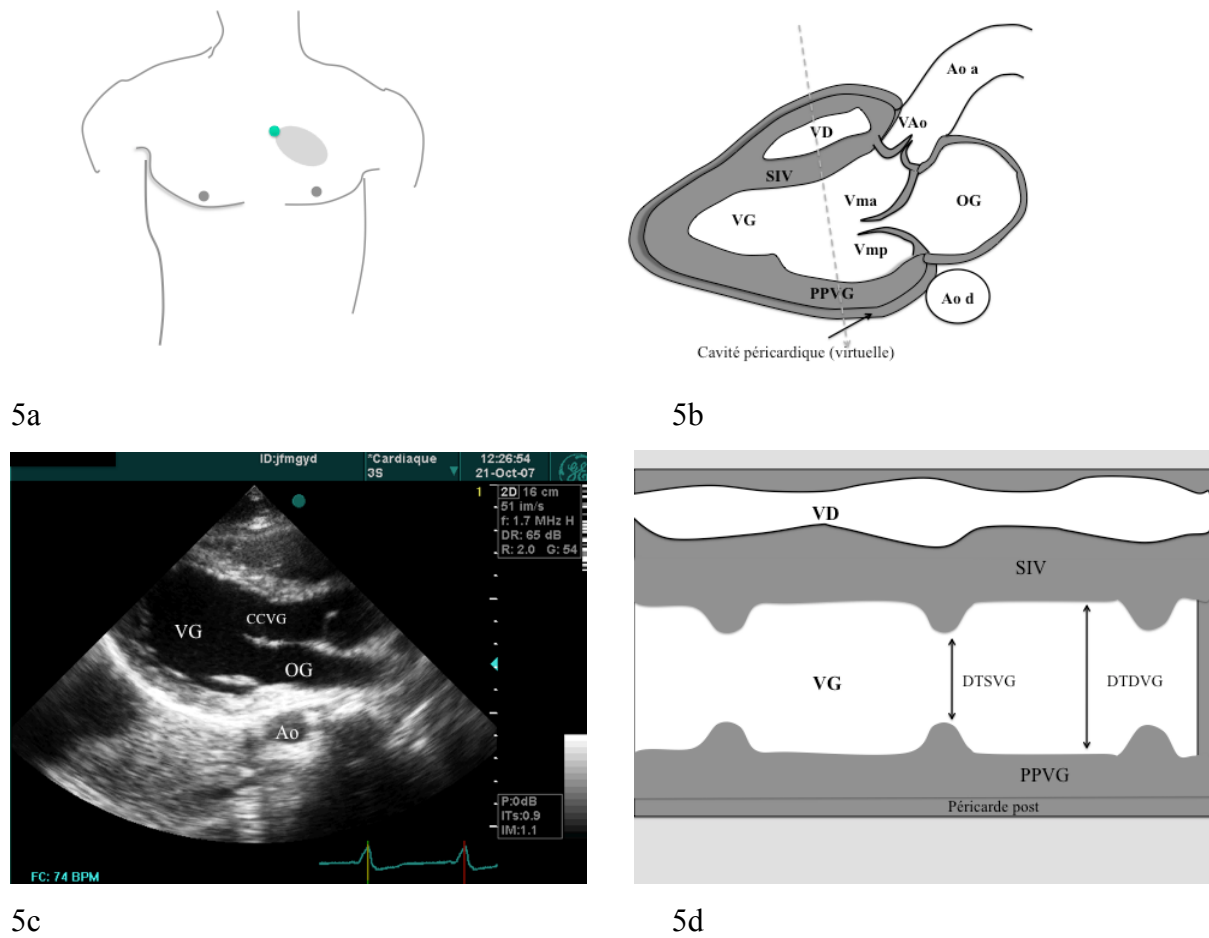


Figure 5 : Coupe parasternale grand axe : **5a :** Position de la sonde sur le thorax, le point vert représentant le curseur de la sonde. **5b et 5c :** Structures anatomiques visibles : VG : ventricule gauche, VD : ventricule droit, OG : oreillette gauche, CCVG : chambre de chasse du VG, SIV : septum interventriculaire, PPVG : paroi postérieure du VG, Vao : valve aortique, Vma : feuillet mitral antérieur, Vmp : feuillet mitral postérieur, Aod : aorte thoracique descendante, Aoa : aorte ascendante. **5d :** coupe TM en position médio ventriculaire obtenue selon le plan de coupe signalé par la ligne pointillée en 5b. La Fraction de raccourcissement en diamètre est obtenue grâce à l'application de la formule $\text{DTSVG}/\text{DTDVG}$ (Normale 26-40%) et directement transformée par la machine en fraction d'éjection (Normale 55-100%) grâce à la formule de Teicholz.

• *Coupe apicale 4 et 5 cavités 5 (Figure 7a et 7c ; vidéos 3 et 4):*

Ces deux coupes sont obtenues en positionnant la sonde au niveau du choc de pointe, au dessous et en dehors du mamelon gauche, en « visant » l'épaule droite. La pointe du cœur se trouve dans le sommet du cône d'image, les 4 cavités cardiaques (VG, VD, oreillette gauche (OG), oreillette droite (OD)) sont visualisées en positionnant par convention les cavités gauches à droite de l'image. Une bascule minime tangentielle (10°) de la sonde du patient permet de dégager la chambre de chasse du ventricule gauche qui constitue la cinquième cavité permettant de visualiser le flux d'éjection ventriculaire gauche nécessaire au calcul du débit cardiaque. Ces 2 coupes sont les plus informatives en réanimation. La première analyse visuelle est le rapport des surfaces ventriculaire télédiastoliques droite et gauche. Physiologiquement, le VD a une forme triangulaire et sa surface est de 60 % de celle du VG¹¹. Le rapport STDVD/STDVG est mesuré en incidence 4 cavité par planimétrie des 2 ventricules et est égal à 0,6. Toutefois ce calcul peut être remplacé par une évaluation visuelle (dilatation majeure, modérée, absente), notamment pour le diagnostic de dilatation aigue du ventricule droit au cours du cœur pulmonaire aigu¹¹. Elles permettent une appréciation globale de la fonction contractile ventriculaire gauche (attention : seules les parois latérale et septale sont analysées dans cette incidence), le diagnostic d'une valvulopathie mitrale, tricuspide ou aortique majeure (la valve pulmonaire n'est pas visualisée), le diagnostic d'une dilatation ventriculaire gauche et surtout droite. Un épanchement péricardique important sera bien visualisé sur ces coupes. Enfin, du fait du bon alignement des flux avec l'axe de tir Doppler, elles permettent l'analyse des flux Doppler intra cardiaques mitral, aortique et tricuspide (à l'exception du flux de l'artère pulmonaire) qui permettent l'évaluation des pressions de remplissage gauche, du débit cardiaque, de la pression artérielle pulmonaire et la quantification grossière d'une valvulopathie par Doppler couleur. Le calcul de la FEVG par méthode de Simpson qui permet de reconstruire les volumes diastoliques et systoliques à partir de leur planimétrie est théoriquement la méthode de référence mais elle est difficile et peu reproductible, donc peu utile en pratique¹². *A contrario*, l'évaluation visuelle de la FEVG est validée et bien adaptée à la pratique clinique^{12,13}.

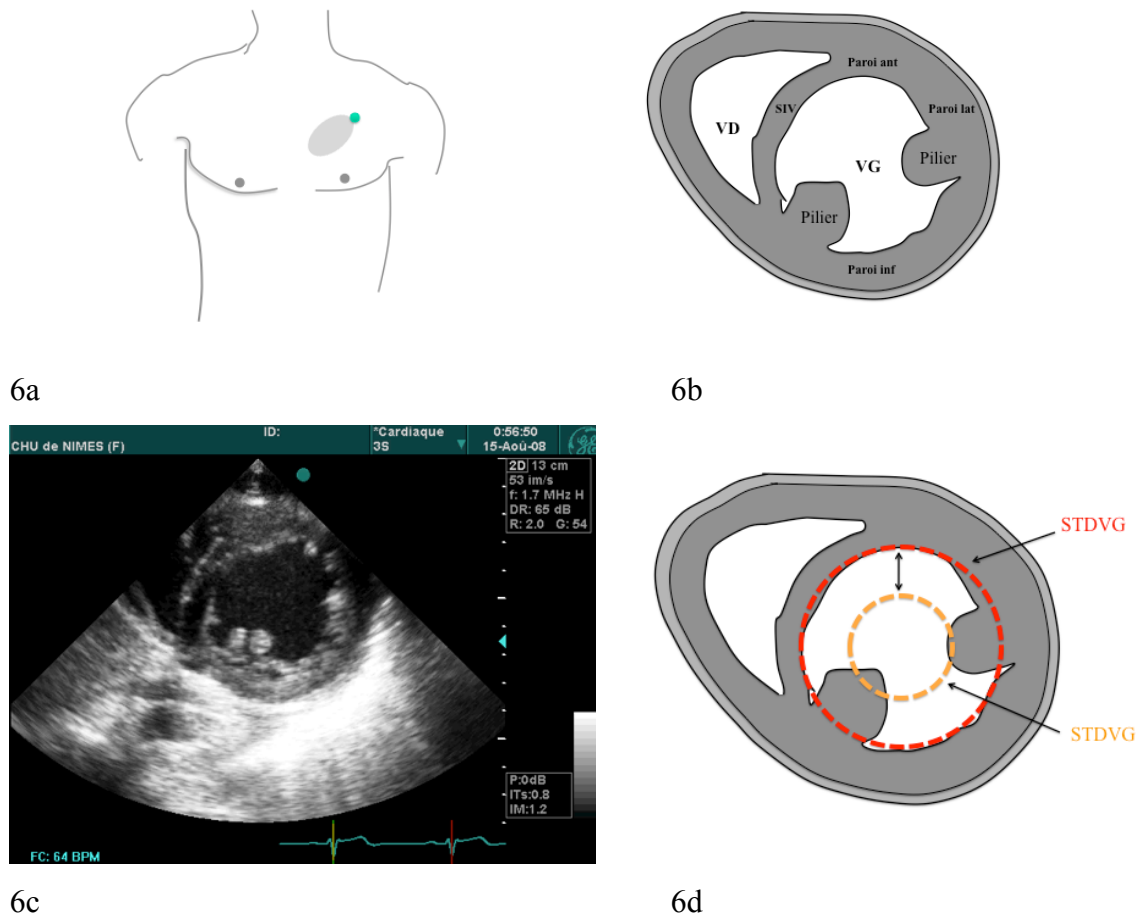


Figure 6 : Coupe parasternale petit axe : **6a** : Position de la sonde sur le thorax, le point vert représentant le curseur de la sonde. **6b et 6c** : Structures anatomiques visibles : VG : ventricule gauche, VD : ventricule droit, OG : oreillette gauche, SIV : septum interventriculaire, **6d** : Principe de mesure de la fraction de raccourcissement de surface (FRS) = $STDVG - STSVG / STDVG$, qui est égale à la fraction d'éjection (Normale 55-100%) sans recours à la formule de Teicholz.

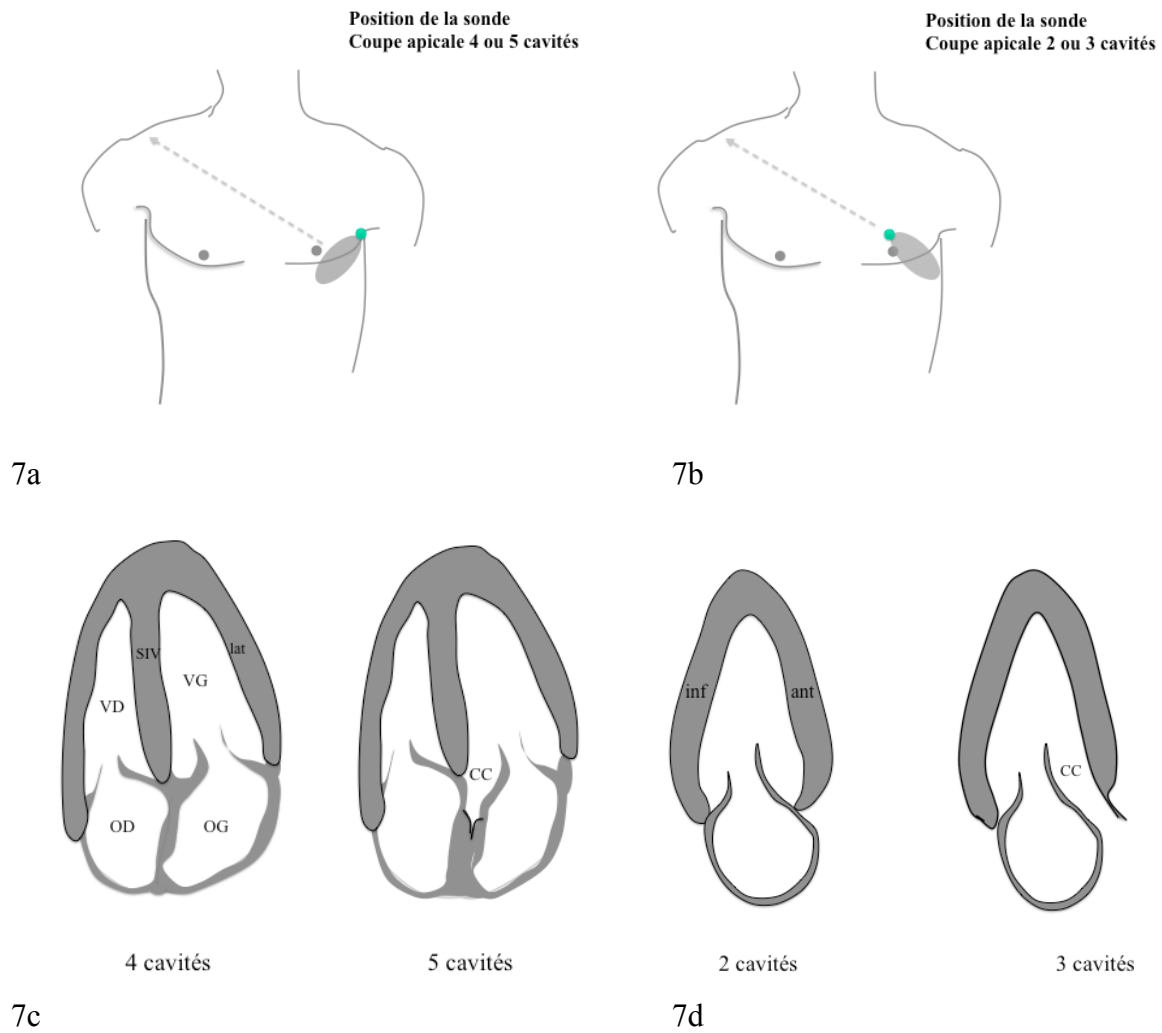


Figure 7 : Coupes apicales: 7a et 7c : Position de la sonde sur le thorax, le point vert représentant le curseur de la sonde. **7b et 7d :** Structures anatomiques visibles : VG : ventricule gauche, VD : ventricule droit, OD et OG : oreillette droite et gauche, SIV : septum interventriculaire, CC : chambre de chasse du ventricule gauche. Lat, inf, ant : paroi latérale, inférieure et antérieure du VG, respectivement.

- *Coupes apicales 2 et 3 cavités (Figure 7b et 7d, vidéo 5):*

Ces 2 coupes sont obtenues à partir de la précédente en effectuant une rotation de 90° de la sonde dans le sens anti horaire. Comme précédemment, le passage de la coupe 2 cavités à 3 cavités est obtenu en effectuant une bascule minimale de la sonde. La coupe 2 cavités montre le VG et l'OG dans leur grand axe longitudinal, la coupe 3 cavités montre les mêmes éléments plus la chambre de chasse du VG et la valve aortique. L'intérêt de ces coupes est de pouvoir étudier la cinétique des parois antérieures et inférieures du VG, non vues sur les coupes 4 et 5 cavités. Elles permettent aussi l'enregistrement du flux mitral et du flux d'éjection du VG lorsque ceux-ci n'ont pu être recueillis en coupes 4 ou 5 cavités.

- *Coupes sous costales (Figure 8, Vidéos 6 et 7) :*

La sonde est appliquée au creux épigastrique, horizontalement, en « visant » le médiastin, permettant d'obtenir une coupe 4 cavités oblique sur l'écran. En effectuant une rotation de 90° dans le sens anti horaire et en « visant » bord droit du rachis, il est possible de dérouler la veine cave inférieure (VCI) en coupe longitudinale. L'étude des variations respiratoires de la VCI est un reflet indirect du statut volémique. Bien que moins précise en terme anatomique et ne permettant pas un bon alignement des flux Doppler, la coupe sous costale reste parfois la seule exploitable lorsque le patient est peu échogène et fournit des éléments 2D précieux : fonctions systoliques VG et VD visuelles, épanchement péricardique. Une rotation de la sonde de 90° dans le sens anti horaire et en direction du médiastin permet d'obtenir une coupe transversale dont les informations fournies sont comparables à celles fournies par la coupe PSPA.

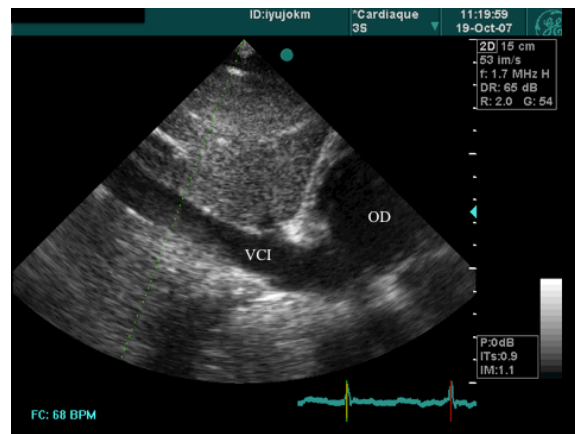
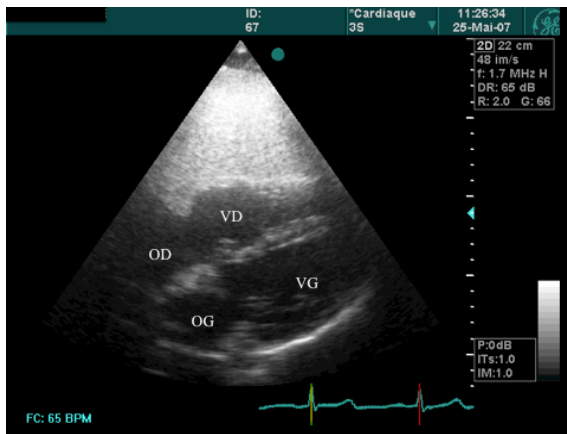
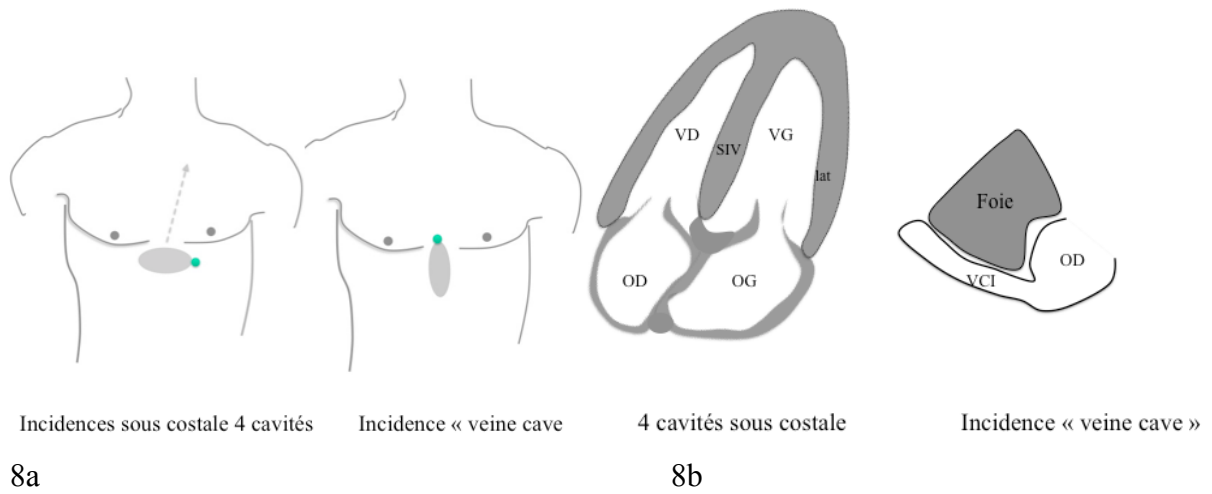


Figure 8 : Coupes sous costales: **8a** : Position de la sonde sur le thorax, le point vert représentant le curseur de la sonde. **8b, c et d** : Structures anatomiques visibles : VG : ventricule gauche, VD : ventricule droit, OD et OG : oreillette droite et gauche, VCI : veine cave inférieure.

Flux Doppler intra cardiaques normaux : 5 flux fondamentaux.

- ***Doppler mitral, Doppler tissulaire à l'anneau mitral (Figures 2 et 9, Tableau 1) et à l'anneau tricuspide:***

Le flux mitral enregistre les flux de remplissage diastolique du VG. Il est essentiel pour l'étude des pressions de remplissage ventriculaire gauche. Il est obtenu, en ETT comme en ETO, à partir de la coupe 4 cavités, en Doppler pulsé, en positionnant la fenêtre Doppler au ras de l'extrémité des 2 feuillets mitraux en position ouverte (*Figure 2*). Le flux mitral normal est positif, codé en rouge en couleur et montre deux ondes : une précoce appelée onde E (early) correspondant au remplissage passif, une télédiastolique, correspondant à la systole auriculaire appelée onde A (atrial) (*Figure 9*). Le profil mitral ne peut être analysé sans enregistrement simultané de l'électrocardiogramme qui seul permet de différencier ces 2 ondes. L'onde E est située juste après l'onde T, l'onde A entre l'onde P et le complexe QRS. En cas de fibrillation auriculaire, l'onde A est absente. Le temps de décroissance de l'onde E (TDE = temps séparant le pic et le point de retour de l'onde E sur la ligne de base) est un paramètre systématiquement enregistré lors de l'analyse du flux mitral. Toute la difficulté de l'analyse du flux mitral réside dans le fait que les ondes E et A varient avec l'âge (*Tableau 1*) et les pressions de remplissage. La vitesse de l'onde E permet une évaluation grossière des pressions de remplissage : normale entre 0,7 et 0,9 m/s, basses en dessous de 0,7 m/s et hautes au delà de 0,9 m/s¹⁴. Le Doppler tissulaire à l'anneau mitral enregistre le déplacement du tissu myocardique, avec des vitesses de déplacement basses (de l'ordre du cm/s) et dans un sens inverse du flux sanguin. Le spectre obtenu est donc l'inverse du flux de remplissage mitral (*Figure 2*) avec une onde E et une onde A négatives appelées ondes E' et A' (ou Ea et Aa). La vitesse de déplacement de l'anneau mitral en protodiastole évaluée par Doppler tissulaire (E') dépend de la relaxation du VG et est indépendante des conditions de charge de ce dernier. Le choix du recueil de E' à l'anneau mitral septal ou latéral reste controversé¹⁵. En réanimation, le choix du site latéral semble préférable¹⁶. Les valeurs normales de E' sont > 8 cm/s à l'anneau septal et > 10 cm/s à l'anneau latéral. En deçà de ces valeurs, une insuffisance cardiaque diastolique doit être suspectée¹⁵. Le rapport entre la vitesse maximale de l'onde E (dépendant de la précharge gauche et de la relaxation) et la vitesse maximale de l'onde E' (dépendant de la relaxation) permet d'annuler au numérateur et au dénominateur la relaxation. Dans ces conditions, le rapport E/ E' dépend uniquement de la précharge (Normale entre 7 et 11)¹⁵. Au niveau de l'anneau tricuspide latéral, une vitesse maximale de la composante systolique (Onde S) supérieure à 11 cm/s signe une fonction ventriculaire droite normale.

Tableau 1 : Valeurs normales du flux mitral. TDE = temps de décélération de l'onde E

Âge	2-20 ans	21-40 ans	41-60 ans	> 60 ans
Onde E (cm/s)	88 ± 14	75 ± 13	71 ± 14	71 ± 11
Onde A (cm/s)	49 ± 12	51 ± 11	57 ± 13	75 ± 12
Rapport E/A	1,88 ± 0,45	1,53 ± 0,40	1,28 ± 0,25	0,96 ± 0,18
TDE (ms)	142 ± 19	166 ± 14	181 ± 19	200 ± 29

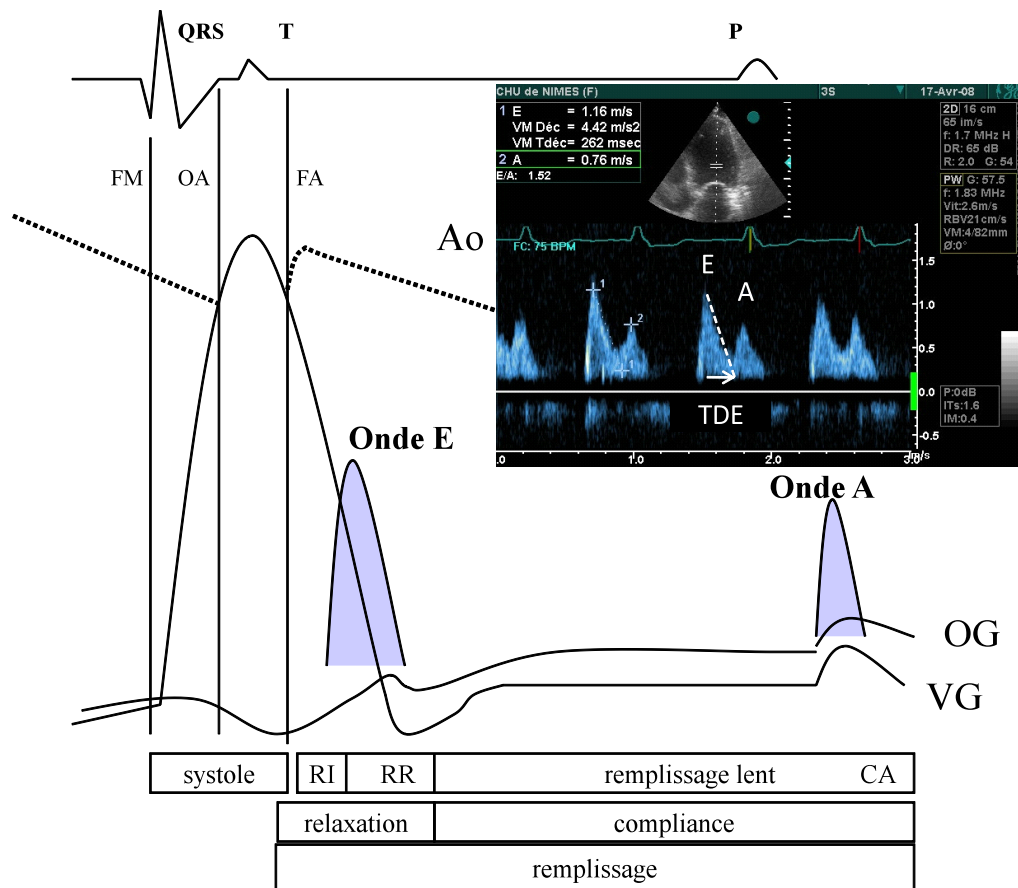


Figure 9 : Signification physiologique du flux Doppler mitral. Ce flux correspond au remplissage diastolique du ventricule gauche et est caractérisé par une onde E protodiastolique correspondant au remplissage passif et une onde A télédiastolique correspondant à la systole auriculaire. L'enregistrement simultané de l'ECG est impératif pour différencier l'onde E de l'onde A. FM = fermeture mitrale, OA = ouverture aortique, FA = fermeture aortique, RI = relaxation isovolumétrique, RR = remplissage rapide, TDE = temps de décélération de l'onde E, Ao = courbe de pression aortique, OG = courbe de pression auriculaire gauche, VG = courbe de pression ventriculaire gauche.

• **Flux veineux pulmonaire (FVP) (Figure 2, Tableau 2):**

Le FVP est un flux systolo-diastolique recueilli en ETT au niveau de la base de l'OG par la veine pulmonaire supérieure droite. En ETO, le flux de la veine pulmonaire supérieure gauche est facilement recueilli en coupe 2 cavités à 75°. Ce flux, triphasique comprend une onde systolique (S, parfois bifide S1, S2), un onde diastolique (D) et une onde auriculaire négative rétrograde (Ar) correspondant au reflux sanguin vers les veines pulmonaires lors de la systolique auriculaire (Figure 2). Physiologiquement, le rapport S/D est positif sauf chez les sujets jeunes (< 20 ans). La vitesse de Ar est inférieure à 30 cm/s et sa durée est égale à la durée de l'onde A mitrale.

Tableau 2 : valeurs normales du flux veineux pulmonaire. S = onde systolique, D = onde diastolique, Ar = onde auriculaire rétrograde. Rapport S/D = rapport des pics de vitesse des ondes S et D.

Age	2-20 ans	21-40 ans	41-60 ans	> 60 ans
Rapport S/D	0,82 ± 0,18	0,98 ± 0,32	1,21 ± 0,2	1,39 ± 0,47
Pic Ar (cm/s)	16 ± 10	21 ± 8	23 ± 3	25 ± 9
Durée Ar (ms)	66 ± 39	96 ± 33	112 ± 15	113 ± 30

• **Flux d'éjection ventriculaire gauche (flux sous aortique intraventriculaire) et mesure du débit cardiaque :**

Ce flux est enregistré en coupe 5 cavités (Figure 2). Ce flux fuit la sonde et est codé en bleu en Doppler couleur. Son orientation est parallèle au septum interventriculaire. La constatation d'un flux couleur bleu homogène (absence d'*aliasing*) signe qu'il n'existe aucune accélération pathologique du flux. En positionnant la fenêtre de Doppler pulsé dans le ventricule gauche, juste sous la valve aortique, un spectre négatif est enregistré. La surface (ou intégrale) de ce spectre peut être tracée grâce au logiciel qui équipe toutes les machines d'échographie. Cet intégrale temps – vitesse (ITV, normale 14 à 20 cm) sous aortique est un des déterminants majeur du volume d'éjection systolique (VES). Le VES est le produit de l'ITV par la surface de la chambre de chasse du VG obtenue en mesurant le diamètre (D) de cette dernière en PSGA (la surface (S) est obtenue en appliquant la formule $\pi D^2/4$). Le débit cardiaque (DC) est obtenu en multipliant le volume d'éjection systolique par la fréquence cardiaque (FC).

$$DC = FC \times ITV \times S$$

Physiologiquement, la vitesse maximale du flux d'éjection ventriculaire gauche est inférieure à 1,5 m/s. En cas d'accélération, un obstacle à l'éjection ventriculaire doit être suspecté, les 2 causes principales étant l'obstruction intra ventriculaire (cardiomyopathie hypertrophique obstructive, CMO) et la sténose aortique. En pathologie, le suivi des variations d'ITV suffit. Le diamètre de la chambre de chasse et la fréquence cardiaque variant peu sur des périodes de temps courtes, ces valeurs peuvent être négligées et la variation du débit cardiaque (par exemple sous l'effet d'une expansion volémique) peut être suivie par les variations d'ITV, faciles à recueillir et reproductibles¹⁷.

• **Flux tricuspide :**

Il existe une fuite tricuspide physiologique chez la majorité des sujets sains et a fortiori en cas d'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP). La vitesse maximale (Vmax) de la fuite tricuspide est proportionnelle à la pression artérielle pulmonaire systolique qui peut être évaluée en ETT grâce aux données suivantes. Le gradient de pression (ΔP) entre le ventricule droit et l'artère pulmonaire est obtenu grâce à la formule :

$$\Delta P = 4 \times (V_{max})^2$$

La valeur de pression de l'artère pulmonaire systolique (PAPs) est calculée en ajoutant la valeur de la pression de l'oreillette droite (POD) à ce gradient de pression :

$$PAPs = \Delta P + POD$$

Si le patient n'est pas équipé d'un cathéter veineux central, la POD peut être évaluée chez le patient en ventilation spontanée en échographie transthoracique en mesurant le diamètre de la VCI et ses variations ventilatoires (*Tableau 3*). Une étude récente suggère que le seuil de collapsibilité classique de la VCI de 50 % devrait être revu à la baisse pour une valeur critique de 40%¹⁸.

Tableau 3 : Evaluation semi quantitative de la pression de l'oreillette droite (POD) à partir du diamètre et des variations respiratoires de la veine cave inférieure (ΔVCI) en ventilation spontanée¹⁹.

Diamètre de la VCI (mm)	ΔVCI (%)	POD (mmHg)
Bas : < 15	100	0-5
Normal : 15-25	> 50	6-10
	< 50	11-15
Elevé : > 25	< 50	16-20
	Absentes	> 20

Conclusion : proposition de standardisation de l'examen ETT (*Tableau 4*)

Tableau 4 : Examen ETT normal standardisé et valeurs normales, par ordre chronologique d'analyse.

<p>1. Coupe parasternale grand axe :</p> <p><i>Mode B :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Rechercher un épanchement péricardique. Si présent : 1. le différencier d'un épanchement pleural gauche (la localisation entre l'aorte thoracique descendante et l'OG correspond à un épanchement péricardique). 2. le quantifier et affirmer ou infirmer l'existence d'une tamponnade (question exclue de cet exposé). Cinétique et anatomie visuelle des valves mitrale et aortique. Mesure du diamètre de la chambre de chasse sous aortique en télésystole pour le calcul du débit cardiaque <p><i>Mode TM en position médio ventriculaire :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Mesure DTDVG (37-56 mm), DTSVG (22-40mm), épaisseur de paroi VG (6-11mm). Calcul FRD (26-40%) et extrapolation FEVG par méthode de Teicholz (> 55 %). <p><i>Mode TM en position aorte ascendante – oreillette gauche</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Mesure du diamètre latéral de l'OG (19-40 mm) Mesure du diamètre de la racine aortique (20-37 mm) <p><i>Doppler couleur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> De principe sur les valves mitrale et aortique afin de détecter une fuite majeure
<p>2. Coupe parasternale petit axe :</p> <p><i>Mode B :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Cinétique visuelle globale et segmentaire (parois latérale, antérieure et septale) du VG : FEVG visuelle semi quantitative (normale, modérément altérée, très altérée) Cinétique du septum IV, recherche de septum paradoxal Cinétique et anatomie visuelle de la valve mitrale <p><i>Mode TM en position médio ventriculaire :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Mesure STDVG, STSVG Calcul FRS (= FEVG sans nécessité d'équation de Teicholz) (> 55 %).
<p>3. Coupes apicales 4 et 5 cavités</p> <p><i>Mode B :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Cinétique visuelle globale et segmentaire (parois latérale et septale) du VG : FEVG visuelle semi quantitative (normale, modérément altérée, très altérée) Cinétique et anatomie visuelle des valves mitrale, aortique et tricuspide Rapport visuel VD/VG (< 1) Fonction VD Surface OG : marqueur de dysfonction diastolique (< 20 cm²) Eventuellement : rechercher un épanchement péricardique non vu en PSGA ou un thrombus intra cavitaire (apex VG, OD) <p><i>Doppler couleur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Sur les valves mitrale, tricuspide et aortique afin de détecter une fuite majeure Sur la chambre de chasse du VG afin de repérer une obstruction intra ventriculaire <p><i>Doppler Pulsé :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Mitral : Onde E (0,7-0,9 m/s), TDE (140 – 220 ms), rapport E/A (0,8-2,2) (Incidence 4 cavités) Sous aortique intraventriculaire : ITV (14-20 cm) (Incidence 5 cavités) Flux veineux pulmonaire : rapport S/D (0,7-1,8), Durée onde Ar (40-140 ms), Vitesse Ar (< 35 cm/s) <p><i>Doppler tissulaire :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Anneau mitral latéral (fonction diastolique) : Onde E' (Ea) (> 8 cm/s), E'/A' > 1 Anneau tricuspide : Onde S = Fonction systolique ventriculaire droite (> 11 cm/s) <p><i>Doppler continu :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Inutile par définition en cas d'échographie normale, utile si valvulopathie ou HTAP
<p>4. Coupes apicales 2 et 3 cavités</p> <p><i>Mode B :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Cinétique visuelle globale et segmentaire (parois inférieure et antérieure) du VG : FEVG visuelle semi quantitative (normale, modérément altérée, très altérée) Cinétique et anatomie visuelle des valves mitrale et aortique. <p><i>Doppler couleur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Sur les valves mitrale et aortique afin de détecter une fuite majeure Sur la chambre de chasse du VG afin de repérer une obstruction intra ventriculaire <p><i>Doppler Pulsé (si non contributif en 4 et 5 cavités) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Idem 4 et 5 cav sauf flux veineux pulmonaire
<p>5. Coupes sous costales:</p> <p><i>Mode B :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Idem 4 cavités sauf diamètre de la chambre de chasse <p><i>Mode TM en incidence veine cave dans sa zone la plus variable :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Diamètre : (15-25 mm) Variabilité respiratoire (indice de collapsibilité) : diamètre max-min/max (< 40%)
<p>6. A la fin de l'examen :</p> <ul style="list-style-type: none"> Enregistrer les boucles vidéos et les flux Doppler sous le nom du patient. Rédiger un compte rendu en concluant « Echographie cardiaque normale », soit à un diagnostic de pathologie, en précisant les conditions d'examen (bonnes ou mauvaises).

Bibliographie :

1. Mayo PH: Training in critical care echocardiography. *Ann Intensive Care* 2011; 1: 36
2. Joseph MX, Disney PJ, Da Costa R, Hutchison SJ: Transthoracic echocardiography to identify or exclude cardiac cause of shock. *Chest* 2004; 126: 1592-7
3. Shankar H, Pagel PS: Potential adverse ultrasound-related biological effects: a critical review. *Anesthesiology* 2011; 115: 1109-24
4. Bossone E, DiGiovine B, Watts S, Marcovitz PA, Carey L, Watts C, Armstrong WF: Range and prevalence of cardiac abnormalities in patients hospitalized in a medical ICU. *Chest* 2002; 122: 1370-6
5. Orme RM, Oram MP, McKinstry CE: Impact of echocardiography on patient management in the intensive care unit: an audit of district general hospital practice. *Br J Anaesth* 2009; 102: 340-4
6. Fontes ML, Bellows W, Ngo L, Mangano DT: Assessment of ventricular function in critically ill patients: limitations of pulmonary artery catheterization. Institutions of the McSPI Research Group. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1999; 13: 521-7
7. Gnaegi A, Feihl F, Perret C: Intensive care physicians' insufficient knowledge of right-heart catheterization at the bedside: time to act? *Crit Care Med* 1997; 25: 213-20
8. Shah MR, Hasselblad V, Stevenson LW, Binanay C, O'Connor CM, Sopko G, Califf RM: Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients: meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA* 2005; 294: 1664-70
9. Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, Oropello J, Vieillard-Baron A, Axler O, Lichtenstein D, Maury E, Slama M, Vignon P: American College of Chest Physicians/La Societe de Reanimation de Langue Francaise statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 2009; 135: 1050-60
10. Costachescu T, Denault A, Guimond JG, Couture P, Carignan S, Sheridan P, Hellou G, Blair L, Normandin L, Babin D, Allard M, Harel F, Buithieu J: The hemodynamically unstable patient in the intensive care unit: hemodynamic vs. transesophageal echocardiographic monitoring. *Crit Care Med* 2002; 30: 1214-23
11. Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, Dubourg O, Jardin F: Echo-Doppler demonstration of acute cor pulmonale at the bedside in the medical intensive care unit. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 1310-9
12. Bergenzaun L, Gudmundsson P, Ohlin H, Daring J, Ersson A, Ihrman L, Willenheimer R, Chew MS: Assessing left ventricular systolic function in shock: evaluation of echocardiographic parameters in intensive care. *Crit Care* 2011; 15: R200
13. Vieillard-Baron A, Charron C, Chergui K, Peyrouset O, Jardin F: Bedside echocardiographic evaluation of hemodynamics in sepsis: is a qualitative evaluation sufficient? *Intensive Care Med* 2006; 32: 1547-52
14. Dokainish H, Nguyen J, Sengupta R, Pillai M, Alam M, Bobek J, Lakkis N: New, simple echocardiographic indexes for the estimation of filling pressure in patients with cardiac disease and preserved left ventricular ejection fraction. *Echocardiography* 2010; 27: 946-53

15. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, Oh JK, Smiseth OA, Waggoner AD, Flachskampf FA, Pellikka PA, Evangelisa A: Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10: 165-93
16. Vignon P, Allot V, Lesage J, Martaille JF, Aldigier JC, Francois B, Gastinne H: Diagnosis of left ventricular diastolic dysfunction in the setting of acute changes in loading conditions. *Crit Care* 2007; 11: R43
17. Muller L, Toumi M, Bousquet PJ, Riu-Poulenc B, Louart G, Candela D, Zoric L, Suehs C, de La Coussaye JE, Molinari N, Lefrant JY: An increase in aortic blood flow after an infusion of 100 ml colloid over 1 minute can predict fluid responsiveness: the mini-fluid challenge study. *Anesthesiology* 2011; 115: 541-7
18. Brennan JM, Blair JE, Goonewardena S, Ronan A, Shah D, Vasaiwala S, Kirkpatrick JN, Spencer KT: Reappraisal of the use of inferior vena cava for estimating right atrial pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2007; 20: 857-61
19. Wong SP OC: Echocardiographic findings in acute and chronic pulmonary disease. In : *The practice of clinical echocardiography*. Philadelphia : WB Saunders Company 2002: 739-760