

Les Essentielles de l'Echocardiographie pour Assureurs

Dr John Evans

SCOR Paris

Zusammenfassung

Die Doppler-Echokardiografie bildet einen integralen Bestandteil der Untersuchung jedes herzkranken Patienten, und man findet immer häufiger Ergebnisse daraus in den Gesundheitsfragebögen der Lebensversicherungen. Ziel dieses Artikels ist, den Versicherern Informationen zu vermitteln, die es ihnen ermöglichen, die physischen Grundlagen und die medizinischen Anwendungen dieser Untersuchungsmethode grob zu verstehen.

Zusätzlich zu den anatomischen und strukturellen Daten der Herzkammern, -wände und -klappen, die man durch die Echokardiografie im zweidimensionalen und im TM (time-motion)-Modus erhält, kann man noch auf die funktionellen Daten des Blutflusses zugreifen, die man durch Ausnutzung des Dopplereffekts erhält. Die Ergebnisse bieten insgesamt eine zuverlässige und reproduzierbare Möglichkeit zur Diagnose einer Herz-Kreislauf-Erkrankung und ihrer Schwere sowie zur Verfolgung ihrer zeitlichen Entwicklung.

Die Ultraschallwellen sind für die untersuchte Person völlig unschädlich. Die Untersuchung kann sowohl am Krankenhausbett als auch in der Arztpraxis ohne besondere Vorbereitung durchgeführt werden und verursacht geringe Kosten im Vergleich zu anderen modernen kardialen Bildgebungsverfahren.

Somit gehört die Echokardiografie inzwischen zu den medizinischen Elementen, die für die Preisfestsetzung jedes Lebensversicherungsangebots für Personen mit bekannter kardialer Vorgeschichte erforderlich sind.

Résumé

L'échocardiographie ou écho-Doppler cardiaque est une partie intégrante de l'examen de tout patient cardiaque et il est devenu de plus en plus fréquent de voir ses résultats dans les dossiers de souscription d'assurance vie. L'objectif de cet article est de donner aux assureurs une information leur permettant d'entrevoir les bases physiques et les exploitations médicales de l'investigation.

Aux données anatomiques et structurelles des cavités cardiaques, des parois, des valves, obtenues par l'écho-

cardiographie en modes bidimensionnelle et TM (time-motion), s'ajoutent les données fonctionnelles des flux sanguins obtenues en exploitant l'effet Doppler. Les résultats dans leur ensemble donnent un moyen fiable et reproductible de faire un diagnostic d'une maladie cardiaque et de sa sévérité et de suivre son évolution dans le temps.

Les ondes d'ultrason sont sans danger pour la personne examinée. L'examen peut se faire aussi bien au chevet du lit d'hôpital qu'en cabinet médical sans préparation particulière et son coût de revient est faible par rapport à d'autres moyens d'imagerie cardiaque modernes.

Ainsi, l'échocardiographie fait maintenant partie des éléments médicaux nécessaires à la tarification de toute proposition d'assurance vie de personnes suivies pour une maladie cardiaque.

Introduction

Dans les quarante dernières années, l'échocardiographie est sortie du laboratoire spécialisé pour devenir l'outil quotidien et incontournable du cardiologue, aussi bien pour faire le diagnostic que pour le suivi de ses patients.

Ses avantages sont multiples:

- l'examen est devenu facilement disponible partout dans le monde occidental,
- son coût est relativement faible par rapport à d'autres méthodes d'imagerie cardiaque,
- sa pratique est non-invasive permettant de refaire régulièrement des examens sans crainte d'effet secondaire, et
- ses résultats sont reproductibles et disponibles immédiatement.

L'impact des résultats de l'échocardiographie sur le pronostic des maladies cardiaques fait de cet examen un élément important également pour l'assureur dans l'évaluation du risque des propositions d'assurance vie et des garanties d'incapacité et d'invalidité.

L'objet de cet article est de donner les informations de base pour pouvoir prendre des décisions objectives.

Un peu de physique

La base de l'échocardiographie est l'ultrason. La fréquence sonore audible à l'oreille humaine est de 20 à 20 000

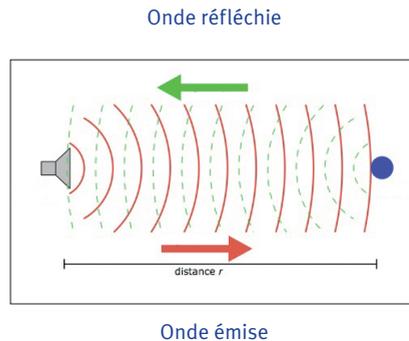
cycles par seconde (Hertz) alors que certains animaux, comme les chiens, entendent des fréquences plus élevées – c'est ce qu'on appelle ultrason.

Des ultrasons de très haute fréquence, de 2.5 à 7 millions de cycles par seconde (Mégahertz), sont utilisés pour les investigations médicales. Ils sont produits par la propriété piézo-électrique des cristaux de quartz ou d'éléments céramiques contenus dans un transducteur. Un courant alternatif appliqué aux bornes de ces cristaux produit des vibrations de haute fréquence. L'ultrason ainsi produit est dirigé, comme un faisceau de lumière, à travers les tissus humains. Le signal est réfléchi à l'encontre des structures de densités différentes et l'écho revient au transducteur pour être converti en courant électrique et transmis à un processeur central dans l'échocardiographe pour former une image.

L'étude des structures cardiaques

L'imagerie du cœur dépend de l'effet « sonar » qui permet de reconstituer les échos en image dynamique. Le temps d'aller-retour du signal sonore est compté et, en sachant la vitesse du son dans le milieu des tissus humains, en-

viron 1540 m / s, on peut en déduire la distance ($V = \text{distance} / \text{temps}$) entre le transmetteur et le réflecteur. Les échos reçus des profondeurs différentes sont renouvelées plusieurs fois par seconde pour pouvoir examiner le cœur battant « en temps réel » en coupes longitudinales, transverses et sagittales.

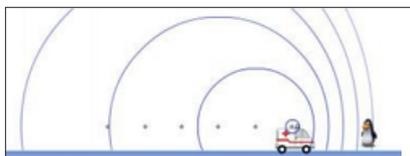


$$\text{Distance} = \text{Vélocité} \times \text{Temps}$$

L'étude des flux sanguins

Le complément de cette étude des structures cardiaques est celle des flux sanguins. L'effet Doppler décrit le phénomène de compression des ondes sonores émises par un objet qui approche l'écouteur. Quand l'objet émetteur du son s'éloigne de l'écouteur, c'est l'inverse qui s'observe. La compression augmente la fréquence perçue alors que la raré-

faction des ondes diminue sa fréquence. Ce décalage de fréquence par rapport à celle émise est appelée la fréquence Doppler. Plus le décalage est important, plus la vitesse est élevée.

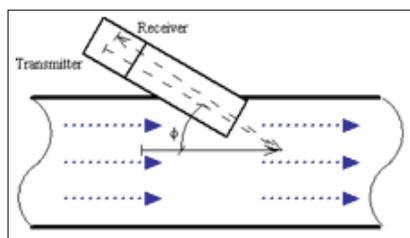


Cette fois, la cible des ultrasons est les globules sanguins; la fréquence des ultrasons réfléchi par les globules est décalée selon la direction et la vitesse de ces derniers. En mesurant la différence entre la fréquence émise et celle reçue « la fréquence Doppler » (fD), il est possible de mesurer la vitesse sanguine (V) en utilisant l'équation suivante:

$$V = \frac{(fD \times c)}{(2f_0 \times \cos\phi)}$$

où fD = la fréquence Doppler; c = la vitesse du son et f_0 la fréquence d'émission des constants connus. Le $\cos\phi$ est angle d'incidence entre les globules en déplacement, nos cibles réflecteurs, et l'axe du rayon d'ultrason. En s'alignant

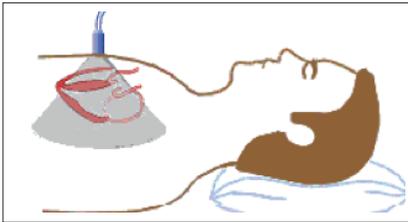
dans l'axe du flux sanguin de façon optimale, donc à 0 ou à 180°, ce cosinus aura une valeur d'unité et peut ainsi être négligée.



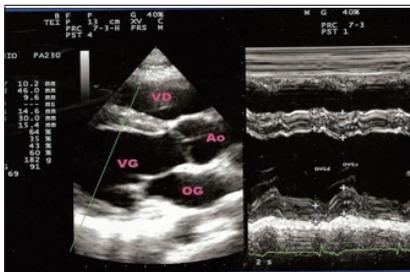
Le déroulement de l'examen

L'échocardiographie transthoracique classique est pratiquée sans préparation particulière et la durée d'examen est généralement moins d'une demi-heure. La personne à examiner se met torse nu en décubitus latéral gauche sur un lit à proximité de l'échocardiographe. L'examineur pose le transducteur, ou sonde, sur la surface du thorax au niveau latéro-sternal dans un espace intercostal. L'examen commence avec l'enregistrement d'une coupe bidimensionnelle (2D) de l'axe longitudinal du cœur permettant la visualisation de la racine aortique jusqu'à la région apicale du ventricule gauche. Cette coupe est obtenue à partir d'un faisceau d'ultrason obtenu par l'activation séquentielle des cristaux

dans le transducteur qui balaye un secteur d'un angle de 60 à 90° sur une profondeur de 5 à 25 cm.



La mesure précise des dimensions des cavités cardiaques et des épaisseurs des parois myocardiques en diastole et en systole se fait en mode TM (time-motion). Les échos sur une ligne du secteur balayé en 2D sont retenus pour cette analyse qui suit les mouvements des parois pendant plusieurs cycles cardiaques et qui est plus fine en raison d'une meilleure résolution.



Ainsi, une gamme de valeurs normales des structures cardiaques a pu être établie. Néanmoins, il faut apprécier que les données dépendent de la taille de la personne examinée et les valeurs des cœurs des femmes et surtout des enfants sont moins importantes que celles des hommes. D'ailleurs, certains laboratoires donnent les résultats indexés à la surface corporelle de la personne examinée mais la majorité les donnent en chiffres bruts. Par rapport aux valeurs normales, les écarts sont qualifiés de modérés, moyens ou importants. Par exemple une dimension diastolique du ventricule gauche de 58mm serait une dilatation modérée, de 60 à 65 mm, moyenne et, au-delà de 66 mm, importante. De même, une épaisseur diastolique de paroi à 12mm serait modérément hypertrophiée, jusqu'à 15 mm moyennement hypertrophiée et, au-delà, il serait une hypertrophie importante. Il faut garder à l'esprit que l'épaisseur de la paroi augmente et systole, comme la contraction de tout muscle du corps.

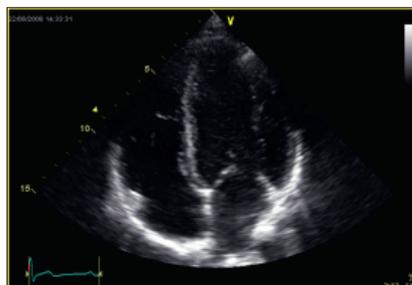
Coupe 2D grand axe parasternal gauche et ligne de TM étudiant les parois et dimensions du ventricule gauche

Ventricule droit (diastole) DdVD	15 mm (7 à 23 mm)
Ventricule gauche (diastole) DdVG	47 mm (37 à 56 mm)
Ventricule gauche (systole) DsVG	32 mm (22 à 40 mm)
Septum inter ventriculaire (diastole) SIVd	9 mm (6 à 11 mm)
Paroi postérieure du ventricule gauche (diastole) PPVGd	9 mm (6 à 11 mm)
Fraction de raccourcissement du ventricule gauche FR %	≥ 30 %
Fraction d'éjection du ventricule gauche FE %	67 ± 8 %
Oreillette gauche en systole OG	27 mm (20 à 37 mm)
Racine aortique en diastole Ao	32 mm (29 à 35 mm)

Les autres coupes standards de l'écho 2D sont les coupes apicale et sous-costale qui permettent de visualiser les quatre cavités cardiaques et surtout d'analyser les structures non visibles par voie para sternale, par exemple, l'apex du ventricule gauche. Ceci est important dans le cadre d'une analyse de la contractilité régionale du ventricule gauche, dans la maladie coronaire par exemple.

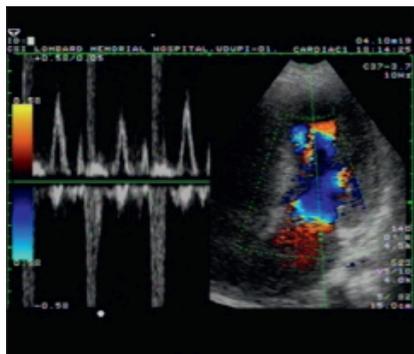
La fraction d'éjection est un des facteurs pronostiques les plus importants parce qu'elle indique la qualité de la « fonction pompe » et doit être recherchée systématiquement pour évaluer l'assurabilité d'une maladie cardiaque. Elle est calculée à partir d'une planimétrie des surfaces systolique et diastolique du ven-

tricule gauche que l'on transforme en volumes par multiplication avec la distance mesurée entre l'apex et le plan de l'anneau mitral ($FE\% = (\text{Volume diastolique} - \text{Volume systolique}) / \text{Volume diastolique} \times 100$).



Coupe apicale des quatre cavités cardiaques montrant par convention le ventricule gauche, valve mitrale et l'oreillette gauche à droite et le ventricule droit et l'oreillette droite à gauche de la figure.

Les informations concernant la direction et vitesses des flux sont présentées en 2D par le Doppler couleur. Les pixels d'un secteur de l'image sont colorés en rouge pour les flux qui se dirigent vers la sonde et en bleu pour les flux qui s'éloignent de la sonde. Plus les flux sont rapides, plus les couleurs sont vives. En complément, comme le mode Tm pour l'imagerie, il est possible de sélectionner une ligne de l'image pour analyser les flux à un endroit choisi en Doppler spectral.



Doppler spectral du flux transmitral montrant un flux turbulent proto-systolique après le remplissage bimodal diastolique du ventricule gauche avec la coupe apicale en Doppler couleur à droite

Exemple clinique

L'écho-Doppler cardiaque a pris une place importante dans l'évaluation de toutes les maladies du cœur et les maladies valvulaires en sont un bon exemple.

Les anomalies structurelles valvulaires, par exemple l'épaississement valvulaire avec mobilité réduite, qui se voient dans les sténoses mitrale ou aortique, sont relevées en modes TM et 2D. Elles permettent également dans un bon nombre de cas de déterminer la cause de la maladie, dégénérative, dystrophique, infectieuse ou post-rhumatismale. De plus, on prêter attention aux dimensions des cavités ventriculaires et des oreillettes, souvent augmentées dans les insuffisances mitrale et aortique (responsables de surcharges volumiques) et aux épaisseurs des parois du ventricule gauche qui sont hypertrophiées en cas de surcharge de pression secondaire à une sténose aortique.

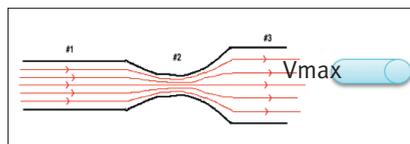
L'écoulement normal du sang à travers les valves se fait de façon laminaire, c'est-à-dire, constitué de lames liquidiennes concentriques glissant les unes sur les autres à vitesse relativement

faible, sans turbulence. En cas de maladies valvulaires, sténoses et fuites, le diamètre de passage du sang est réduit, les vitesses sanguines augmentent et l'écoulement devient turbulent. La pression en amont de l'anomalie se transforme en vitesse, accélérant les globules sanguins en forme de jet. C'est ce que le Doppler permet de repérer et de quantifier.

Le cas de la sténose aortique est un bon exemple de la valeur ajoutée de l'examen Doppler qui donne plus de précisions quantitatives sur le degré de sténose valvulaire. On peut appliquer des formules de physique hydraulique à l'écoulement sanguin à travers l'orifice rétréci.

L'équation de Bernoulli simplifiée permet d'estimer les gradients de pression de part et d'autre des sténoses. En amont de la sténose la pression du sang est augmentée mais la vitesse sanguine est lente. En aval de la sténose on observe le contraire, la vitesse est élevée mais la pression est basse. On dit qu'il existe « un gradient de pression ». A condition d'avoir une fonction contractile du ventricule gauche préservée (une

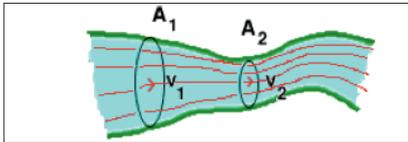
fraction d'éjection normale), plus la sténose est sévère et plus le gradient sera important. En mesurant la vitesse maximale à travers la sténose, on peut estimer ce gradient de pression.



La sonde (transducteur)

La mesure du gradient maximal se fait en alignant la sonde dans l'axe du flux trans-sténotique et en enregistrant la vitesse maximale (V_{max}). Le gradient de pression maximal est estimé à $4 \times V_{max}^2$. Les vitesses des flux normaux intracardiaques sont inférieures à 1 m/s. Dans le cas de sténose aortique serrée, la vitesse maximale peut s'élever, par exemple, à 4 m/s. En appliquant la formule ci-dessus, ceci donne un gradient maximal de $4 \times 4^2 = 64$ mmHg.

L'équation de continuité est une autre application hydraulique utilisée en cardiologie permettant d'estimer la surface fonctionnelle d'une sténose. Plus la sténose est serrée, plus la surface est petite.



Si on mesure la surface de section en amont d'une sténose (A_1) et la vitesse du flux à cet endroit (V_1), la mesure de la vitesse maximale trans-sténotique (V_2) va permettre la déduction de la surface de sténose (A_2).

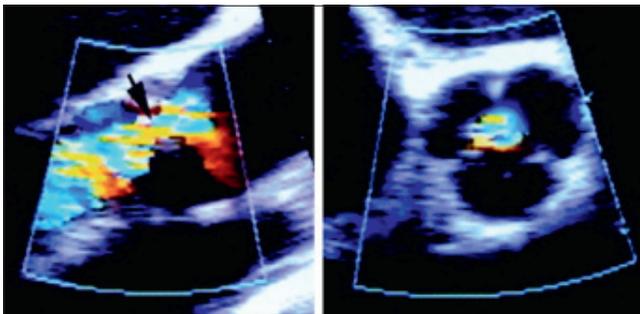
$$A_2 = A_1 \times V_1 / V_2.$$

Généralement, V_1 est négligeable car sa valeur est environ 1 m / sec et la formule se simplifie à $A_2 = A_1 / V_{max}$.

Pour une sténose aortique, la surface de section de la chambre de chasse du ventricule gauche (A_1) est autour de 3.3 cm^2 et pour une vitesse maximale,

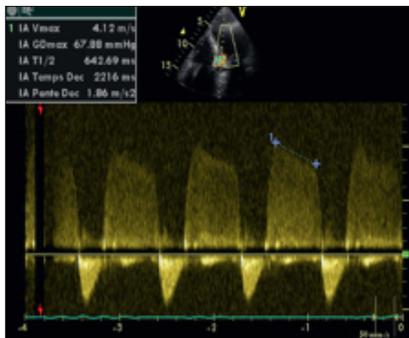
pour reprendre notre exemple de 4 m / s, le formule indiquerait un rétrécissement serré à $3.3 / 4$ soit 0.825 cm^2 .

Pour ce qui concerne les fuites nous prendrons comme exemple l'insuffisance aortique. Un diagnostic semi-quantitatif est possible en mesurant le diamètre du jet de régurgitation à son origine (le trou dans la valve) et par planimétrie du jet en Doppler couleur. Le Doppler spectral permet la mesure du temps de demi-pression de la fuite aortique. Le temps de décélération du flux est inversement proportionnel à la dimension de l'orifice par lequel il s'écoule. Quand l'orifice est étroit, le gradient de pression entre la cavité d'amont (l'aorte ascendante) et la cavité d'aval (le ventricule gauche) diminue très lentement. Les fuites importantes ont un temps de demi-pression $< 600 \text{ ms}$.



Jet d'insuffisance aortique

Origine du jet de l'insuffisance aortique au niveau des valves aortiques vues en coupes longitudinale (gauche) et sagittale (droite)

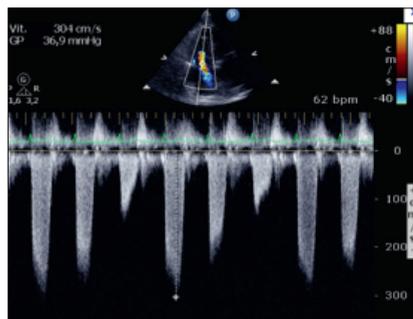


Mesure du temps de demi-pression du jet de l'insuffisance aortique (642ms) en Doppler spectral

Des calculs plus précis du volume de sang régurgitant et de la surface de régurgitation sont également possibles mais, en pratique courante, la sévérité d'une fuite est cotée de façon semi-quantitative comme modérée, moyenne ou sévère ou par un score 1/4 (minime) à 4/4 (très sévère). Cependant, dans la mesure où les fuites entraînent une surcharge en volume des cavités « réceptrices », c'est-à-dire le ventricule gauche pour l'insuffisance aortique, en général, leurs dimensions mesurées en mode TM renseignent également sur l'importance de la fuite.

L'évaluation des pressions dans les cavités droites du cœur s'effectue en mesurant la vitesse maximale du jet de

régurgitation tricuspидienne, pratiquement constamment présent, même dans les cœurs normaux.



Mesure de la vitesse maximale d'une fuite tricuspидienne vue en haut en Doppler couleur avec le Doppler spectral en bas. On ne prend en compte que la vitesse la plus élevée, ici 3.04 m/s; les valeurs plus faibles résultent d'un défaut d'alignement de l'axe d'examen

Toute défaillance du cœur gauche, qu'elle soit d'origine valvulaire ou autre, entraîne une élévation de ces pressions. Dans le cas ci-dessus, en appliquant la formule de Bernoulli simplifiée ($4V_{max}^2$) à la vitesse maximale de la fuite (3.04 m/s), on obtient le gradient de pression entre l'artère pulmonaire et l'oreillette droite de 37 mmHg. Il suffit d'ajouter une valeur pour la pression de l'oreillette droite, habituellement de 5 mmHg, pour obtenir la pression systo-

lique de l'artère pulmonaire (42 mmHg). Normalement, ces pressions ne dépassent pas 36 mmHg.

Les résultats de l'écho-Doppler cardiaque doivent être étudiés dans leur intégralité. Par exemple, il est exceptionnel qu'un rétrécissement aortique serré avec un orifice réduit à $< 1 \text{ cm}^2$ ne soit pas accompagné d'une élévation importante des gradients de pression transvalvulaire. Néanmoins, ceci reste possible quand la fonction contractile du ventricule gauche est très altérée. De même, une insuffisance aortique (ou mitrale) importante devrait s'accompagner d'une dilatation du ventricule gauche mais ce paramètre peut être pris en défaut en cas d'une fuite aigüe n'ayant pas laissé assez de temps pour la cavité réceptrice de se dilater.

Enfin, il faut rappeler que dans toutes les maladies cardiaques, et les maladies valvulaires ne font pas exception, la fonction contractile du ventricule gauche joue un rôle pronostique déterminant. La fraction d'éjection est donc un élément d'appréciation incontournable. En général, quand la fraction d'éjection est $< 40\%$, on se trouve face à une insuffi-

sance cardiaque et le pronostic à long et moyen terme est très réservé.

Un bémol, la qualité des résultats de l'examen écho-Doppler cardiaque est dépendante de l'échogénicité de la personne examinée. Certaines déformations thoraciques réduisent les fenêtres acoustiques praticables, ne permettant qu'une visualisation partielle des structures cardiaques. Les patients atteints d'emphysème ou de bronchite chronique sont difficiles à examiner parce que les ultrasons ne se propagent pas facilement à travers l'air. Ces limitations peuvent être contournées en utilisant une sonde transoesophagienne mais cette solution est plus invasive et contraignante pour la personne examinée.

La qualité globale de l'examen écho-Doppler cardiaque est également dépendante de l'expérience de l'opérateur manipulant la sonde. Si les coupes de mesure du ventricule gauche ne sont pas perpendiculaires aux structures mesurées, les dimensions de la cavité ou l'épaisseur des parois peuvent sembler plus grandes que la réalité et induire une fausse dilatation ou hypertro-

phie. L'examen Doppler peut aussi être pris en défaut si l'examineur n'aligne pas sa sonde correctement dans le flux sanguin, entraînant une sous-estimation des vitesses sanguines, des gradients de pression et de l'importance d'une sténose.

Conclusion

Notre but est donc de permettre au lecteur de comprendre comment l'écho-Doppler cardiaque est pratiqué pour mieux utiliser ses résultats. Nous avons essayé de montrer sa valeur pour obtenir des informations pertinentes pour la tarification des maladies valvulaires cardiaques par la quantification des sténoses et fuites. Mais toutes les autres maladies cardiaques, acquises et congé-

nitales, peuvent et doivent être explorées par cette même modalité, avec des points d'intérêt différents selon la pathologie considérée. L'échocardiographie est aujourd'hui un outil indispensable pour l'exploration des sujets présentant une suspicion de pathologie cardiaque. Le cardiologue l'utilise quotidiennement dans son cabinet pour faire le diagnostic et pour orienter le traitement et suivi de ses patients. Il ne faut pas hésiter à la demander dans le cadre d'une souscription présentant une anomalie cardiaque possible (ou non expliquée) qu'elle soit fonctionnelle comme une douleur thoracique, clinique comme un souffle cardiaque, ou para-clinique comme un trouble de l'électrocardiogramme.