

Dyspnée aiguë : échographie ou biomarqueurs. Pour l'échographie.

X Bobbia, L Muller, PG Claret, JE de La Coussaye

Pôle Anesthésie Réanimation Douleur Urgences - CHU Nîmes - Nîmes France.

Auteur correspondant :

Dr Xavier Bobbia - Pôle Anesthésie Réanimation Douleur Urgences - CHU Nîmes – Place du Pr Robert Debré 30029 Nîmes France

Mail : xavier.bobbia@gmail.com

Points essentiels

- Le but de l'échographie clinique d'urgence (ECU) est d'améliorer la pertinence diagnostique du praticien.
- Les 3 techniques couramment utilisées chez les patients dyspnéiques sont : l'échographie pulmonaire, l'échocardiographie et l'échographie de compression veineuse d'urgence (ECVU).
- L'échographie pulmonaire a une meilleure pertinence diagnostique que l'auscultation ou la radiographie thoracique standard, en particulier grâce à sa bonne sensibilité.
- Si l'examen clinique et le BNP ont de très bons rapports de vraisemblance négatifs, l'échocardiographie est l'examen de référence pour affirmer la part cardiaque d'une dyspnée.
- L'ECVU a un excellent rapport de vraisemblance positif pour affirmer une embolie pulmonaire chez un patient dyspnéique.
- Le bénéfice diagnostique réside dans la réalisation de ces techniques couplées et en complément de l'examen clinique.
- Il n'y a pas, à ce jour, de preuves de haut grade montrant l'impact de l'ECU sur la morbi-mortalité chez les patients dyspnéiques.

I. Introduction

La dyspnée représente environ 4% des motifs de consultation en structure d'urgence. L'examen clinique et le recueil de l'anamnèse constituent les fondements d'une prise en charge diagnostique et thérapeutique optimale. Les limites de l'examen clinique restent cependant importantes et sa variabilité interindividuelle mal étudiée. La miniaturisation et l'amélioration de l'ergonomie des machines d'échographie permettent l'utilisation courante

voir systématique de l'échographie en milieu intra comme préhospitalier. Non invasive, non irradiante, l'échographie devient le prolongement direct de l'examen clinique et l'appareil d'échographie un véritable « stéthoscope ultrasonique » (1-4). Si le nombre de publications relatives à l'échographie pulmonaire chez le patient critique a littéralement explosé ces dernières années(2), d'autres techniques d'échographie clinique d'urgence (ECU) ont montré leur intérêt chez le patient dyspnéique (échocardiographie, échographie de compression veineuse des membres inférieurs). Des recommandations incitant à l'utilisation de l'échographie clinique sont maintenant nombreuses(5-8).

L'objectif de ce texte est de présenter les techniques ECU utiles chez le patient dyspnéique, puis de préciser le bénéfice attendu de leur utilisation.

II. Techniques d'échographie clinique d'urgence du patient dyspnéique:

1. Échographie pleuropulmonaire (figure 1)

i. Principes

Les grands principes de l'analyse échographique de la plèvre et du poumon sont les suivants :

- La technologie est simple et n'utilise pas le Doppler en pratique routinière.
- La sémiologie pleuropulmonaire est dynamique, en mode 2D ou TM et doit analyser les différents quadrants thoraciques, comme pour une auscultation. La sonde est posée sur les mêmes zones que le stéthoscope.
- Cette sémiologie part de l'étude de la plèvre et se poursuit par le recueil d'artéfacts dont le caractère « parasite » peut dérouter, mais qui ont une signification sémiologique forte.
- La plupart des pathologies pulmonaires aiguës observées chez les patients graves ont un contact avec la paroi et génèrent des artéfacts spécifiques analysables en échographie.
- Le poumon normal est invisible en échographie, le poumon pathologique est soit visible soit analysable indirectement par l'analyse d'artéfacts spécifiques.

ii. Sémiologie échographique pulmonaire normale :

A l'état normal, seule la plèvre est visible en échographie. C'est à partir de l'image pleurale, de la présence d'artéfacts normaux et de l'absence d'artéfacts pathologiques que l'on retient l'aspect physiologique d'une échographie pleuropulmonaire.

L'image pleuropulmonaire (figure 1) normale associe un signe dynamique et un artéfact statique:

- **La ligne pleurale et le signe du glissement pleural :** la ligne pleurale est visible sous la forme d'une image linéaire hyperéchogène, scintillante, se déplaçant parallèlement à la sonde en suivant les mouvements respiratoires. Une fois la ligne pleurale repérée, il faut mettre en évidence le signe du glissement pleural. Il correspond au glissement respiratoire physiologique des 2 feuillets pleuraux.
- **La ligne A,** artéfact statique normal est une image de répétition de la ligne pleurale. Il s'agit d'une image linéaire, parallèle et de longueur égale à la ligne pleurale. Lorsque la

ligne A est peu visible et plus courte que la ligne pleurale, on parle de ligne O dont la signification est identique.

- Chez le sujet normal, on peut visualiser une ou 2 **lignes b** : artéfact linéaire vertical en rayon de lumière ou queue de comète partant de la plèvre et rejoignant le bas de l'image. Ces lignes b isolées (1 ou 2 sur une image), n'ont pas de caractère pathologique.

iii. Syndrome alvéolo-interstitiel

Ce syndrome est caractérisé par la présence d'artéfacts spécifiques appelés lignes B(9). Les lignes B sont des artefacts hyperéchogènes linéaires naissant de la ligne pleurale et rejoignant le bas de l'écran sans épuisement (figure 1). À la différence des lignes b, artéfacts en queues de comètes isolés qui peuvent être vus chez le sujet sain, les lignes B sont nombreuses (>2). Les lignes B multiples séparées de 7 mm (lignes B7) correspondent à des épaissements des septa interlobulaires comme on peut le voir dans certaines pathologies pulmonaires fibrosantes. Les lignes B3 multiples séparées de 3 mm correspondent à un œdème alvéolaire bien corrélé à l'aspect scanographique en verre dépoli(2).

iv. Épanchement pleural liquidien

L'épanchement pleural liquidien apparaît comme une image anatomique, hypoéchogène et homogène visible en inspiration et en expiration délimitée en dehors par la paroi thoracique (ligne costale) et en bas par le diaphragme (figure 1). Lorsque l'épanchement est suffisamment important pour entraîner un collapsus pulmonaire, le poumon est visible et mobile au sein de l'épanchement : c'est le signe du poumon flottant (figure 1). Le recours à l'échographie permet de quantifier selon un mode semi-quantitatif les épanchements pleuraux liquidiens(10). La quantification est réalisée à partir de la mesure du décollement pulmonaire postérieur appelée distance interpleurale (DIP).

v. Pneumothorax

Le diagnostic échographique de pneumothorax est plus difficile, demande une formation plus longue et une analyse rigoureuse(2). En revanche, il est assez facile d'éliminer un pneumothorax. Deux signes échographiques supplémentaires non évoqués précédemment sont utiles à connaître :

- Le pouls pulmonaire : Il correspond à la mobilité des feuillets de la plèvre synchrone des battements cardiaques. Il est dû à la transmission des mouvements cardiaques au parenchyme pulmonaire.
 - Point poumon: en cas de pneumothorax partiel, la reconnaissance du « point poumon » (11) est déterminante. Le point poumon correspond, à la zone où les feuillets pleuraux s'accolent en inspiration et se décollent en expiration. Il est visualisé comme une ligne pleurale qui comporte une zone avec un glissement pleural (poumon accolé) et une zone sans glissement (poumon décollé) ; la jonction entre ces 2 zones est le point poumon.

Les dernières recommandations internationales sur l'échographie pleuropulmonaire proposent un arbre diagnostique permettant d'exclure ou d'affirmer un pneumothorax (figure 2) (6).

vi. Consolidation pulmonaire

Un œdème pulmonaire majeur, une pneumopathie, une contusion pulmonaire ou une atélectasie entraînent une perte de l'aération pulmonaire qui limitent l'effet « écran gazeux » ultrasonique et rendent le parenchyme pulmonaire visible en échographie. Le parenchyme pulmonaire ressemble alors au parenchyme hépatique (« hépatisation pulmonaire ») sous forme d'une masse relativement hypoéchogène, on parle de consolidation pulmonaire (figure 1). Au sein de cette consolidation, sont visibles des images punctiformes ou linéaires hyperéchogènes correspondant aux bronches et bronchioles : bronchogramme aérique (figure 1). Ce bronchogramme aérique se renforce (accentuation de l'hyperéchogénicité) en inspiration lorsque l'air y circule efficacement : on parle de bronchogramme dynamique.

2. Échocardiographie

i. Principes

L'échocardiographie est une technique d'ECU à plusieurs niveaux d'apprentissage(12). Elle sera particulièrement pertinente chez le patient dyspnéique lorsque le médecin urgentiste aura un niveau intermédiaire (utilisation des outils Doppler). Les modes utilisés sont :

- Mode B (**figure 3**): 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.
- Modes Doppler : Deux modes Doppler sont utilisés en routine aux urgences: couleur et pulsé. En mode Doppler pulsé, les ultrasons (US) sont émis par paquets discontinus. Il permet d'analyser une zone précise, punctiforme, mais ne permet pas l'analyse de vitesses supérieures à 1,5 m/s. 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. Le Doppler couleur est un Doppler pulsé. Il comporte donc les limites de ce dernier : bonne résolution spatiale, mais ambiguïté des vitesses (Aliasing). La visualisation d'un aliasing témoigne d'une accélération régionale du flux et permet de localiser la zone responsable d'une sténose. En pratique, le mode couleur permet un pré repérage pour vérifier visuellement l'alignement du flux et du tir en doppler pulsé. Il permet également une évaluation semi-quantitative des pathologies valvulaires.

Les coupes d'échocardiographies sont standardisées et sont les premières notions à acquérir lors de l'apprentissage de l'échocardiographie. Le médecin doit savoir à sert chacune des incidences (à quelle question la coupe permet de répondre). Les 5 coupes habituellement utilisées sont la coupe parasternale grand axe (PSGA), parasternale petit axe (PSPA), apicales 4/5 cavités, sous-costale, et l'incidence « veine cave inférieure » (VCI).

ii. Flux Doppler mitral (**figure 4**)

Le flux mitral enregistre le flux de remplissage diastolique du VG. Il est essentiel pour l'étude des pressions de remplissage ventriculaire gauche et donc pour l'évaluation d'une part cardiaque d'une dyspnée. Il est obtenu 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 4). 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, suivie d'une onde télédiastolique, correspondant à la systole auriculaire appelée onde A (atrial). En cas de fibrillation auriculaire, l'onde A est donc 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 mesuré lors de l'analyse du flux mitral (figure 4). Toute la difficulté de l'analyse du flux mitral réside dans le fait que les ondes E et A varient avec l'âge (ou la compliance ventriculaire gauche) et les pressions de remplissage. Malgré ces difficultés d'analyse, la vitesse de l'onde E permet une évaluation grossière des pressions de remplissage : basses en dessous de 0,6 m/s, hautes au-delà de 0,9 m/s(13). Les valeurs comprises entre 0,6 et 0,9 m/s ne permettent aucune conclusion.

Une onde E de basse vitesse peut correspondre à une valeur normale chez un sujet âgé. Un rapport E/A > 2 est fréquemment observé chez le sujet jeune sans signification pathologique. Un rapport E/A supérieur à 2 chez un sujet âgé signe dans la plupart des cas des pressions de remplissage élevées (figure 4). Un rapport E/A > 2 semble constituer un excellent élément de prédiction d'une pression artérielle pulmonaire d'occlusion (PAPO) > 18 mmHg, avec une valeur prédictive positive de 100%(14). Le temps de décélération de l'onde E (TDE) varie également avec les pressions de remplissage (figure 4). Le TDE se raccourcit en cas d'hypervolémie ou de trouble de la distensibilité du ventricule gauche. L'intérêt principal du TDE est de diagnostiquer une élévation critique des pressions gauches, notamment dans le cadre d'une détresse respiratoire associée à l'insuffisance circulatoire. Un TDE < 150 ms est fortement évocateur de pressions gauches élevées (15, 16).

iii. Recherche d'un épanchement péricardique

Le diagnostic d'épanchement péricardique repose sur la constatation d'une image hypoéchogène adjacente aux structures cardiaques. En coupe PSGA, le repère fondamental est celui de l'aorte thoracique descendante apparaissant comme une structure arrondie hypoéchogène située sous le cœur, à la jonction VG-OG. La ligne de réflexion péricardique se trouve entre l'aorte thoracique descendante et le VG. Ainsi, un épanchement péricardique aura pour limite la zone située entre l'aorte et le VG (figure 3). La connaissance de ces éléments permet d'éviter le principal piège diagnostique qui est l'épanchement pleural gauche. Dans ce cas, l'épanchement passe en arrière de l'aorte.

iv. Recherche d'une dysfonction systolique ventriculaire gauche :

La fonction contractile du ventriculaire gauche peut être appréciée par des méthodes quantitatives dont la reproductibilité chez le patient critique est cependant médiocre(17). L'évaluation visuelle semi-quantitative a le mérite de la simplicité, très appréciable en urgence compte tenu de la nécessité d'obtenir des informations cliniques rapides. En réanimation, une évaluation visuelle semi-quantitative selon une classification en 3 niveaux (FEVG normale, altération modérée, altération sévère) est bien corrélée aux mesures chiffrées, avec une bonne reproductibilité inter et intra opérateur(18).

v. Recherche d'une dysfonction ventriculaire droite

Les deux causes les plus fréquentes de dysfonction VD aiguë sont l'embolie pulmonaire et la vasoconstriction pulmonaire hypoxique au cours des pneumopathies hypoxémiantes et

plus largement au cours du syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA). L'éjection ventriculaire droite se faisant dans une circulation à basse résistance, le VD est très sensible aux augmentations brutales de post charge. La fonction systolique du VD est ainsi qualifiée de sensible. Contrairement au ventricule gauche, le VD peut se dilater sous l'effet d'une augmentation brutale de post charge. En d'autres termes, la fonction diastolique du VD est tolérante. Ainsi, lors d'une HTAP aiguë, le ventricule droit se dilate brutalement. Comme le péricarde est inextensible en situation aiguë, le volume biventriculaire est constant. Ainsi, toute dilatation du VD s'accompagne d'une compression ventriculaire gauche appelée septum paradoxal (SP) à l'origine d'un obstacle au remplissage de ce dernier et responsable d'une chute du débit cardiaque et d'une instabilité hémodynamique. Ce phénomène définit le cœur pulmonaire aigu (CPA). En échographie, le diagnostic de CPA est fait par la constatation d'une dilatation ventriculaire droite associée à un CPA(19). La dilatation ventriculaire droite est définie par un rapport des surfaces ventriculaires diastoliques du VD / VG > 0,6 (figure 3)(20). Comme pour la FEVG, l'évaluation visuelle de la dilatation du VD est corrélée aux mesures. Le septum paradoxal sera diagnostiqué en coupe PSPA.

3. Échographie de compression veineuse des membres inférieurs (ECVU)

i. Principes

L'ECVU est une technique simple améliorant la pertinence du clinicien à la recherche d'une thrombose veineuse profonde des membres inférieurs et donc indirectement d'une embolie pulmonaire chez le patient dyspnéique. La technique demande l'utilisation de la sonde échographique linéaire haute fréquence (5-10 Hz) en mode B. La veine fémorale commune et la veine poplitée sont les objectifs à visualiser. Pour chacune des deux, l'examen consiste en la recherche d'un contenu hyperéchogène dans la veine et l'application d'une force de compression avec la sonde d'échographie pour rechercher la compressibilité de la veine. Une veine compressible est une veine qui se collabe complètement sous la force de compression. La déformation ovoïde de l'artère correspondante est un signe de l'application d'une force suffisante. Les modes Doppler couleur et le pulsé sont utiles pour un meilleur repérage anatomique, mais non indispensables.

L'ECVU est une technique rapide (21), reproductible ($\kappa=1$) (22), d'apprentissage rapide(23).

ii. Examen normal vs pathologique

Selon les principes de la technique décrite ci-dessus, l'étude de la compressibilité veineuse est primordiale. En l'absence de TVP, la veine est facilement compressible. Les deux seuls critères déterminant du résultat normal de l'ECVU sont l'absence de visualisation d'un contenu hyperéchogène et l'impossibilité de comprimer la veine.

La visualisation d'un contenu hyperéchogène et l'absence de compressibilité de la veine doivent faire évoquer le diagnostic de TVP.

Deux types de mode de réalisation de l'examen sont décrits :

- Basé uniquement sur la compressibilité :
 - o Compression de la veine fémorale commune
 - Si incompressible : examen pathologique ; fin de l'examen.
 - Si compressible : poursuite de l'examen.

- Compression de la veine poplitée
Si incompressible : examen pathologique.
Si compressible : examen normal.
Fin de l'examen.
- Basé sur la visualisation d'un contenu hyperéchogène (thrombus) et la compressibilité : Au niveau de chaque site (fémoral puis poplitée), le clinicien recherche la présence d'un contenu hyperéchogène dans la veine. S'il y a un contenu hyperéchogène, l'examen est considéré comme pathologique et est terminé. Dans le cas contraire, l'examineur réalisera le test de compression comme décrit précédemment.

III. Bénéfice attendu de l'utilisation de l'ECU chez le patient dyspnéique

1. Principe

Le but d'une technique d'échographie clinique est d'améliorer la pertinence diagnostique. Les études sur le gain apporté par les techniques d'échographie clinique montrent habituellement que ce sont dans les situations (fréquentes) d'incertitude diagnostique où ce gain est majeur (24). Il n'y a cependant pas d'opposition entre examen clinique classique et avec ECU. Le médecin qui pratique l'échographie clinique cumulera les pertinences de l'examen clinique et de l'échographie.

2. Échographie pleuropulmonaire

De nombreuses études suggèrent que l'évaluation clinique d'une dyspnée(1, 25) ou de la sévérité d'un épanchement pleural (2, 4, 10, 26) peut se révéler insuffisante et être significativement améliorée par l'examen échographique. La comparaison de la pertinence de l'auscultation au stéthoscope vs l'échographie pulmonaire montre un gain de sensibilité majeur pour tous les syndromes pulmonaires étudiés(3).

La présence de lignes B multiplent bilatérales chez un patient dyspnéique a, par exemple, une application clinique simple dans l'orientation diagnostique étiologique des dyspnées aiguës. Dans un travail portant sur 66 patients admis aux urgences pour détresse respiratoire aiguë, 40/40 patients présentant un œdème aigu pulmonaire présentaient des lignes B alors que 24 sur 26 patients victimes de décompensation isolée de BPCO ne présentaient pas de lignes B(1). Dans cette étude, 80 individus de la population témoin (absence de symptomatologie pulmonaire clinique ou radiologique) ne présentaient aucune ligne B. De même, le diagnostic d'épanchement pleural liquidien est facile(27) et explique l'engouement pour la technique dans le guidage du drainage pleural(9, 28, 29).

Il existe également de multiples études montrant la supériorité de l'échographie à la radiographie du thorax pour les diagnostics pulmonaires courants en situation d'urgence(3, 30, 31). L'échographie permet de diagnostiquer les pneumothorax passés inaperçus radiologiquement, particulièrement en traumatologie (11, 32, 33).

3. Échographie cardiaque

La réalisation de l'échocardiographie paraît une nécessité dans la prise en charge des dyspnées aux urgences. La fréquence des décompensations cardiaques gauches à fonction systolique conservée ne permet pas à la seule évaluation visuelle de la FEVG de juger de l'imputabilité d'une insuffisance cardiaque dans une dyspnée (34). L'intérêt de l'échocardiographie sera donc significatif lors de la réalisation d'un Doppler mitral permettant l'évaluation de la fonction diastolique et des pressions de remplissages du VG. Si l'examen clinique et le BNP ont des rapports de vraisemblance négatifs très satisfaisants (capacité d'exclure la maladie) pour juger de la part cardiaque d'une dyspnée aux urgences, l'échocardiographie avec analyse du profil mitral est l'examen qui permet le mieux d'en affirmer la présence. Il est probable que pour améliorer cette pertinence, l'apprentissage de la réalisation du Doppler tissulaire à l'anneau mitral soit une nécessité (35).

La dilatation majeure du VD (surface télédiastolique du VD > surface télédiastolique du VG) est un critère qui a très bon rapport de vraisemblance positif chez les patients des urgences suspects d'EP(36). Les autres signes de CPA (septum paradoxal notamment) sont encore plus spécifiques mais présents majoritairement dans les cas d'EP graves.

4. ECVU

En cas de suspicion d'embolie pulmonaire (EP), l'ECVU a une excellente spécificité (99%) mais une mauvaise sensibilité (39%)(37). La technique utilisée est alors appelée 4 points car l'examen est réalisé aux 2 membres inférieurs. Une ECVU positive chez un patient suspect d'EP confirmera donc le diagnostic. A contrario, une ECVU négative n'exclura pas le diagnostic d'EP.

5. Intérêt des techniques couplées

De la même façon que l'examen clinique doit être complet, l'intérêt diagnostique de l'ECU est potentialisé par la réalisation des techniques décrites précédemment de façon couplée. Ainsi dans l'historique « *blue protocol* », l'ECVU est couplée à l'échographie pulmonaire (38). Une étude récente française montre que l'association échographie pulmonaire et cardiaque est supérieure à l'échographie pulmonaire seule pour le diagnostic des pneumopathies et oedème pulmonaire cardiogénique chez les patients en détresse respiratoire aiguë (39).

IV. Conclusion

La pertinence diagnostique de l'échographie, qu'il est aujourd'hui difficile de remettre en question, l'absence d'irradiation et la rapidité d'accès à l'examen imposent son utilisation chez les patients dyspnéiques en médecine d'urgence.

Actuellement, il n'est pas mis en évidence de preuve du bénéfice-patient (gain en terme de morbi-mortalité). Il paraît cependant difficile de penser que le gain d'efficacité diagnostique, dans des situations d'urgences qui requièrent la mise en oeuvre rapide d'une thérapeutique adaptée, n'entraîne pas un bénéfice pour le patient. Les recommandations de pratique de l'échographie clinique(6-8) ayant précédé ces preuves sur l'impact en termes de morbi-mortalité, il semble difficilement envisageable la réalisation d'études de haut niveau de preuve (études randomisées avec vs sans échographie) pour prouver ce gain...

La situation cliniquement (et radiologiquement) compliquée du diagnostic étiologique des détresses respiratoires du sujet polypathologique en est l'illustration. La mise en place d'un traitement probabiliste inadéquat a un impact direct négatif pour ce type de patient (25, 40, 41). Une pertinence diagnostique initiale confortée par les données de l'échographie, devrait donc améliorer ce type de prise en charge.

Références

1. Lichtenstein D, Meziere G. A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive care medicine*. 1998;24(12):1331-4.
2. Bouhemad B, Zhang M, Lu Q, Rouby JJ. Clinical review: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Critical care*. 2007;11(1):205.
3. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology*. 2004;100(1):9-15.
4. Vignon P. [Portable echocardiographs: useful or futile?]. *Arch Mal Coeur Vaiss*. 2003;96(12):1202-9.
5. Via G, Hussain A, Wells M, Reardon R, ElBarbary M, Noble VE, et al. International evidence-based recommendations for focused cardiac ultrasound. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. 2014;27(7):683 e1- e33.
6. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive care medicine*. 2012;38(4):577-91.
7. Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, et al. American College of Chest Physicians/La Societe de Reanimation de Langue Francaise statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest*. 2009;135(4):1050-60.
8. American College of Emergency P. Emergency ultrasound guidelines. *Annals of emergency medicine*. 2009;53(4):550-70.
9. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, Gepner A. The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive care medicine*. 1999;25(4):383-8.
10. Roch A, Bojan M, Michelet P, Romain F, Bregeon F, Papazian L, et al. Usefulness of ultrasonography in predicting pleural effusions > 500 mL in patients receiving mechanical ventilation. *Chest*. 2005;127(1):224-32.
11. Lichtenstein DA, Meziere G, Lascols N, Biderman P, Courret JP, Gepner A, et al. Ultrasound diagnosis of occult pneumothorax. *Critical care medicine*. 2005;33(6):1231-8.
12. Cholley BP, Vieillard-Baron A, Mebazaa A. Echocardiography in the ICU: time for widespread use! *Intensive care medicine*. 2006;32(1):9-10.
13. Dokainish H, Nguyen J, Sengupta R, Pillai M, Alam M, Bobek J, et al. New, simple echocardiographic indexes for the estimation of filling pressure in patients with cardiac disease and preserved left ventricular ejection fraction. *Echocardiography*. 2010;27(8):946-53.

14. Boussuges A, Blanc P, Molenat F, Burnet H, Habib G, Sainty JM. Evaluation of left ventricular filling pressure by transthoracic Doppler echocardiography in the intensive care unit. *Critical care medicine*. 2002;30(2):362-7.
15. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, Oh JK, Smiseth OA, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *European journal of echocardiography : the journal of the Working Group on Echocardiography of the European Society of Cardiology*. 2009;10(2):165-93.
16. Yamamoto K, Nishimura RA, Chaliki HP, Appleton CP, Holmes DR, Jr., Redfield MM. Determination of left ventricular filling pressure by Doppler echocardiography in patients with coronary artery disease: critical role of left ventricular systolic function. *Journal of the American College of Cardiology*. 1997;30(7):1819-26.
17. Bergenzaun L, Gudmundsson P, Ohlin H, Doring J, Ersson A, Ihrman L, et al. Assessing left ventricular systolic function in shock: evaluation of echocardiographic parameters in intensive care. *Critical care*. 2011;15(4):R200.
18. 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 medicine*. 2006;32(10):1547-52.
19. 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. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2002;166(10):1310-9.
20. Jardin F, Vieillard-Baron A. Is there a safe plateau pressure in ARDS? The right heart only knows. *Intensive care medicine*. 2007;33(3):444-7.
21. Jang T, Docherty M, Aubin C, Polites G. Resident-performed compression ultrasonography for the detection of proximal deep vein thrombosis: fast and accurate. *Acad Emerg Med*. 2004;11(3):319-22.
22. Lensing AW, Prandoni P, Brandjes D, Huisman PM, Vigo M, Tomasella G, et al. Detection of deep-vein thrombosis by real-time B-mode ultrasonography. *The New England journal of medicine*. 1989;320(6):342-5.
23. Frazee BW, Snoey ER, Levitt A. Emergency Department compression ultrasound to diagnose proximal deep vein thrombosis. *The Journal of emergency medicine*. 2001;20(2):107-12.
24. Lapostolle F, Petrovic T, Lenoir G, Catineau J, Galinski M, Metzger J, et al. Usefulness of hand-held ultrasound devices in out-of-hospital diagnosis performed by emergency physicians. *The American journal of emergency medicine*. 2006;24(2):237-42.
25. Mueller C, Scholer A, Laule-Kilian K, Martina B, Schindler C, Buser P, et al. Use of B-type natriuretic peptide in the evaluation and management of acute dyspnea. *The New England journal of medicine*. 2004;350(7):647-54.
26. Vignon P, Chastagner C, Berkane V, Chardac E, Francois B, Normand S, et al. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Critical care medicine*. 2005;33(8):1757-63.
27. Rozycki GS, Pennington SD, Feliciano DV. Surgeon-performed ultrasound in the critical care setting: its use as an extension of the physical examination to detect pleural effusion. *The Journal of trauma*. 2001;50(4):636-42.

28. Mayo PH, Goltz HR, Tafreshi M, Doelken P. Safety of ultrasound-guided thoracentesis in patients receiving mechanical ventilation. *Chest*. 2004;125(3):1059-62.
29. Bobbia X, Hansel N, Muller L, Claret PG, Moreau A, Genre Grandpierre R, et al. Availability and practice of bedside ultrasonography in emergency rooms and prehospital setting: a French survey. *Annales francaises d'anesthesie et de reanimation*. 2014;33(3):e29-33.
30. Bourcier JE, Paquet J, Seinger M, Gallard E, Redonnet JP, Cheddadi F, et al. Performance comparison of lung ultrasound and chest x-ray for the diagnosis of pneumonia in the ED. *The American journal of emergency medicine*. 2014;32(2):115-8.
31. Alrajhi K, Woo MY, Vaillancourt C. Test characteristics of ultrasonography for the detection of pneumothorax: a systematic review and meta-analysis. *Chest*. 2012;141(3):703-8.
32. Kirkpatrick AW, Sirois M, Laupland KB, Liu D, Rowan K, Ball CG, et al. Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: the Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma (EFAST). *The Journal of trauma*. 2004;57(2):288-95.
33. Zhang M, Liu ZH, Yang JX, Gan JX, Xu SW, You XD, et al. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Critical care*. 2006;10(4):R112.
34. Kumar R, Gandhi SK, Little WC. Acute heart failure with preserved systolic function. *Critical care medicine*. 2008;36(1 Suppl):S52-6.
35. Combes A, Arnoult F, Trouillet JL. Tissue Doppler imaging estimation of pulmonary artery occlusion pressure in ICU patients. *Intensive care medicine*. 2004;30(1):75-81.
36. Dresden S, Mitchell P, Rahimi L, Leo M, Rubin-Smith J, Bibi S, et al. Right ventricular dilatation on bedside echocardiography performed by emergency physicians aids in the diagnosis of pulmonary embolism. *Annals of emergency medicine*. 2014;63(1):16-24.
37. Le Gal G, Righini M, Sanchez O, Roy PM, Baba-Ahmed M, Perrier A, et al. A positive compression ultrasonography of the lower limb veins is highly predictive of pulmonary embolism on computed tomography in suspected patients. *Thrombosis and haemostasis*. 2006;95(6):963-6.
38. Lichtenstein DA, Meziere GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. 2008;134(1):117-25.
39. Bataille B, Riu B, Ferre F, Moussot PE, Mari A, Brunel E, et al. Integrated use of bedside lung ultrasound and echocardiography in acute respiratory failure: a prospective observational study in ICU. *Chest*. 2014;146(6):1586-93.
40. Bales AC, Sorrentino MJ. Causes of congestive heart failure. Prompt diagnosis may affect prognosis. *Postgraduate medicine*. 1997;101(1):44-9, 54-6.
41. Wuerz RC, Meador SA. Effects of prehospital medications on mortality and length of stay in congestive heart failure. *Annals of emergency medicine*. 1992;21(6):669-74.

V. Déclaration d'intérêts :

Le premier auteur (Dr Xavier Bobbia) déclare avoir des conflits d'intérêts avec GE Healthcare (réalisation de formations clients).