



UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2024

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Courbe d'apprentissage en échographie cardiaque et
pulmonaire dans le cadre du diagnostic d'une dyspnée aiguë
d'internes novices exerçant aux urgences**

Présentée et soutenue publiquement le 17 octobre 2024 à 14 heures

au Pôle Recherche

par Anne-Sophie DAGOT

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Éric WIEL

Assesseurs :

Monsieur le Docteur Florent HENIN

Monsieur le Docteur Alexandre ANDRIES

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Alain-Éric DUBART

AVERTISSEMENT

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

SIGLES

ACEP :	American College of Emergency Physicians
BNP :	Peptide Natriurétique de type B
CH :	Centre Hospitalier
DES :	Diplôme d'état spécialisé
DESMU :	Diplôme d'état spécialisé en médecine d'urgence
ECMU :	Échographie Clinique en Médecine d'Urgence
ETT :	Échocardiographie transthoracique
FAST :	Focused Assessment with Sonography for Trauma
FDR :	False Discovery Rate
FEVG :	Fraction d'éjection du ventricule gauche
LC-CuSum :	Learning Curve Cumulative Summation
NT-proBNP :	Fragment du peptide natriurétique de type B
POCUS :	Point-Of-Care Ultrasound
PRVG :	Pressions de Remplissage du Ventricule Gauche
SFMU :	Société Française de Médecine d'Urgence
TDE :	Temps de décélération de l'onde E
TDR :	True Discovery Rate
TM :	Mode Temps-Mouvement
VG :	Ventricule Gauche

SOMMAIRE

AVERTISSEMENT.....	2
SIGLES.....	3
SOMMAIRE.....	4
RESUME.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCTION.....	8
I - Dyspnée aiguë aux urgences.....	10
A) Contexte.....	10
B) Challenge diagnostique.....	12
C) Apport de l'échographie.....	14
II - Incrimination d'une part cardiaque par l'échographie face à une dyspnée aiguë.....	17
A) Échographie pulmonaire.....	17
B) Échographie cardiaque.....	20
III - Formation à l'échographie.....	23
IV - Intérêt de notre étude.....	26
MATERIEL ET METHODE.....	28
I - Type d'étude.....	28
II - Critères de jugement.....	28
III - Critères d'inclusion et d'exclusion.....	31
IV - Protocole de recueil de données.....	31
A) Population étudiée.....	31
B) La formation théorique.....	33
C) La formation pratique.....	34
D) Questionnaire de ressenti.....	37
V - Matériel utilisé.....	37
VI - Analyses statistiques.....	38
VII - Éthique.....	41
RESULTATS.....	42
I - Caractéristiques des internes.....	42
II - Évolution des performances des internes en échographie pulmonaire, ETT/EA et ETT/EE.....	44
A) Généralités.....	44
B) LC-CuSum pour l'échographie pulmonaire.....	44
C) LC-CuSum pour l'échographie trans thoracique E/E'.....	46

D) LC-CuSum pour l'échographie trans thoracique E/A.....	48
II - Analyse des déterminants de la performance.....	50
III - Analyse de l'évolution du temps nécessaire pour chaque session..	53
IV - Satisfaction des internes vis-à-vis de la formation à l'échographie.	55
A) Réponse au questionnaire.....	55
B) Réponse en texte libre.....	56
DISCUSSION.....	58
I - Synthèse.....	58
A) Intérêt de notre étude.....	58
B) Discussion des résultats.....	62
II - Comparaison avec la littérature.....	68
III - Impact de l'analyse statistique.....	71
IV - Limites.....	74
V - Perspectives.....	77
CONCLUSION.....	80
LISTE DES TABLES ET FIGURES.....	81
REFERENCES.....	82
ANNEXE 1 : DIAPORAMA DE LA FORMATION THEORIQUE.....	88
ANNEXE 2 : CRITERES DE QUALITE ECHOGRAPHIE PULMONAIRE.....	101
ANNEXE 3 : CRITERES DE QUALITE PROFIL MITRAL.....	102
ANNEXE 4 : QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DES CONNAISSANCES A LA FIN DE LA FORMATION PRATIQUE.....	103

RESUME

Contexte : L'échographie pulmonaire couplée à l'analyse du profil mitral est cruciale dans la prise en charge d'un patient présentant une dyspnée aiguë. Mais, trop peu de praticiens y sont formés, et par conséquent cette dernière reste faiblement utilisée. Notre étude a pour objectif d'analyser la courbe d'apprentissage d'internes novices exerçant aux urgences à cet examen.

Matériel et Méthodes : 13 internes novices ont été inclus dans cette étude, dont 10 internes de médecine d'urgence et 3 internes de médecine générale. Après une courte formation théorique, ils ont réalisé à 10 reprises sur volontaire sain les mesures suivantes : E/A, E/E', échographie pulmonaire dans le quadrant antérosupérieur. Les images ont été relues par un évaluateur en aveugle, qui les a notées comme des réussites ou des échecs. Une courbe d'apprentissage a ensuite été modélisée pour chaque interne par la méthode LC CUSUM. Les participants ont répondu à un questionnaire de connaissance à la fin de notre étude.

Résultats : Les courbes d'apprentissage des internes réalisées par la méthode LC-CUSUM, avec une limite h fixée à 1.25, montrent que 2 participants ont acquis la compétence globale au bout des 10 sessions. La réalisation seule de l'échographie pulmonaire, du E/A et du E/E' a été acquise pour chacune d'entre elles par 4 participants au bout des 10 sessions.

Conclusion : Notre étude a montré une progression notable après une formation théorique et pratique à l'échographie couplée cardiaque et pulmonaire dans le diagnostic d'une dyspnée aiguë. L'apprentissage psychomotrice de ces différentes coupes nécessiterait environ 10 sessions d'entraînement. D'autres études impliquant un suivi prolongé et un nombre accru de participants seraient nécessaires pour valider nos résultats.

ABSTRACT

Context : Lung ultrasound coupled with analysis of the mitral profile is crucial in the management of a patient with acute dyspnea. However, few practitioners are trained in this technique, and as a result, its use remains limited. Our study aims to analyze the learning curve of novice interns working in emergencies settings for this exam.

Materials and Methods : Thirteen novice medical residents were included in this study, consisting of 10 emergency medicine residents and 3 general medicine residents. After a brief theoretical training, they performed the following measurements 10 times on healthy volunteers: E/A, E/E', and lung ultrasound in the anterosuperior quadrant. The images were reviewed by a blinded evaluator, who rated them as either passes or failures. A learning curve was then modeled for each resident using the LC-CUSUM method. Participants also completed a knowledge questionnaire at the conclusion of the study.

Results : The learning curve of the interns, modeled using the LC-CUSUM method with a threshold h set at 1.25, shows that 2 participants acquired overall competence after 10 sessions. The ability to perform lung ultrasound, E/A, and E/E' independently was achieved for each of them by 4 participants after 10 sessions.

Conclusion : Our study demonstrated significant progress following theoretical and practical training in combined cardiac and pulmonary ultrasound for the diagnosis of acute dyspnea. Psychomotor learning of these ultrasound images would likely require approximately 10 training sessions. However, further studies with longer follow-up and a larger number of participants would be necessary to confirm our results.

INTRODUCTION

L'échographie est une technique d'imagerie médicale fondée sur l'utilisation des ultrasons pour visualiser en temps réel les structures internes du corps humain. Elle repose sur l'émission et la réflexion d'ondes sonores de haute fréquence, généralement comprises entre 1 et 20 MHz, qui traversent les tissus à des vitesses variables en fonction de leur densité et de leur composition. Un transducteur appliqué à la surface de la peau émet des ondes, lesquelles, lorsqu'elles rencontrent une interface entre deux types de tissus (par exemple, entre le muscle et un liquide comme le liquide amniotique), sont partiellement réfléchies, créant ainsi un écho. Les différences de densité entre les tissus influencent la réflexion des ondes, offrant ainsi des informations cruciales sur l'anatomie interne. Son utilisation permet ainsi de diagnostiquer une variété de pathologies (1).

L'histoire de l'échographie en médecine débute dans les années 1960, avec ses premières applications en obstétrique, offrant une visualisation non invasive du fœtus. Les avancées technologiques, avec notamment l'apparition de sondes à haute fréquence et avec l'avènement du Doppler ont permis son adoption rapide dans d'autres spécialités comme la cardiologie ou les services d'imagerie médicale.

À partir des années 1980, l'échographie a connu un tournant majeur avec son intégration progressive dans les services de soins intensifs. Son adoption s'explique par sa capacité à fournir des diagnostics rapides, précis, non invasifs et directement réalisables au chevet du patient, ce qui peut être crucial pour des patients non transportables car instables hémodynamiquement (2).

Elle s'est secondairement généralisée aux différents motifs de consultation d'urgence pour évaluer une grande variété de pathologies. Le développement de l'échographie dans les services d'urgence a conduit à la définition de la POCUS que l'on retrouve dans les recommandations de l'ACEP. La POCUS est décrite comme une échographie réalisée directement au chevet du patient par le clinicien. Elle a pour objectif de répondre à une question spécifique en temps réel. Cet outil diagnostique complémentaire de l'examen clinique traditionnel permet aux cliniciens de prendre des décisions cliniques rapides, jouant ainsi un rôle crucial dans la prise en charge de patients en soins critiques (3). Son utilisation a ainsi permis l'avènement de protocoles, comme la FAST permettant de détecter rapidement des épanchements dans les cavités abdominales et thoraciques après des traumatismes, contribuant ainsi à une réduction notable de la mortalité dans les services d'urgence.

Dans ses dernières directives de 2017, l'ACEP identifie ainsi cinq champs d'application de la POCUS (1) :

1. Réanimation

2. Diagnostic

3. Guidage de procédures invasives, comme les ponctions pleurales ou l'insertion de cathéters.

4. Évaluation d'un symptôme donné

5. Évaluation thérapeutique et monitoring des patients

Le 4ème domaine est d'une importance capitale en médecine d'urgence car il souligne l'approche transversale que doit avoir l'urgentiste. Une échographie intégrant plusieurs organes cibles est réalisée devant un motif de consultation, comme la dyspnée aiguë, afin de guider le diagnostic vers une étiologie particulière.

Notre travail ne concerne que l'utilisation de l'échographie ciblée dans le cadre d'une démarche diagnostique chez un patient présentant une dyspnée aiguë d'origine non traumatique.

I - Dyspnée aiguë aux urgences

A) Contexte

L'OMS définit la dyspnée aiguë comme une sensation subjective de difficulté respiratoire, qui survient de manière soudaine. Elle peut être associée à des signes cliniques tels que l'augmentation de la fréquence respiratoire, un effort respiratoire accru, ou une détresse respiratoire visible. La dyspnée est une

expérience subjective, dont l'intensité peut varier en fonction des conditions sous-jacentes et de la perception individuelle du patient.

La dyspnée aiguë constitue un motif fréquent de consultation dans les services d'urgence. En France, elle représente environ 4 % de l'ensemble des motifs de consultations en structures d'urgence (4). Outre sa fréquence élevée, le taux de mortalité à 30 jours chez ces patients reste préoccupant, atteignant entre 8 et 13 % (5). En effet, il a été démontré que la mortalité est plus élevée chez les patients consultant pour une dyspnée aiguë que pour d'autres motifs de consultation aux urgences (6).

La majeure partie des patients consultant aux urgences pour une dyspnée aiguë est représentée par les personnes âgées. Or, l'enjeu diagnostique que représente la dyspnée aiguë est majeur chez ces patients. En effet, il a été montré dans la littérature que ce symptôme est associé à une mortalité plus importante avec un plus grand nombre d'hospitalisation chez ces personnes que pour les patients plus jeunes consultant pour le même motif (7).

La dyspnée aiguë représente le symptôme clé de nombreuses pathologies. Elle peut résulter d'une exacerbation de maladies chroniques, telles que l'asthme, la BPCO (Bronchopneumopathie obstructive), l'insuffisance cardiaque aiguë ou encore la décompensation de maladies pulmonaires chroniques. Elle peut aussi être due à des affections aiguës, telles qu'un pneumothorax, une infection pulmonaire, un traumatisme ou une réaction allergique (8).

Parmi toutes ces pathologies, l'une des étiologies phare de la dyspnée aiguë est matérialisée par l'insuffisance cardiaque aiguë (9). En effet, elle constitue une part importante des consultations aux urgences (10) et est associée à une forte morbi mortalité (11).

L'importance de l'initiation d'un traitement adapté, reposant notamment sur l'emploi de diurétiques afin de réduire la surcharge volémique et donc la congestion pulmonaire à l'origine de la dyspnée aiguë, est cruciale.

B) Challenge diagnostique

Chez les patients âgés, établir un diagnostic étiologique d'une dyspnée aiguë est souvent un véritable défi. Cela s'explique par le fait que cette population souffre fréquemment de maladies cardiaques et respiratoires chroniques pouvant compliquer la recherche étiologique de la dyspnée aiguë.

D'autre part, les manifestations cliniques peuvent être atypiques par rapport aux patients plus jeunes. Par exemple, nous pouvons retrouver chez la personne âgée des sibilants auscultatoires lors d'une décompensation cardiaque aiguë, généralement associés à des affections pulmonaires chez les patients jeunes, compliquant ainsi le diagnostic (12). De plus, des signes cliniques classiques, comme la fièvre en cas d'infection pulmonaire, peuvent être absents (13).

Ainsi l'imputation d'une part cardiaque est souvent un challenge aux urgences pour ce type de patients. Or, le diagnostic précoce d'une étiologie cardiaque est primordial aux urgences, car la mise en place d'un traitement adapté pourrait améliorer significativement le pronostic de ces patients (14). Il a ainsi été démontré dans la littérature que l'administration d'un traitement diurétique dès la phase préhospitalière chez les patients présentant une insuffisance cardiaque aiguë congestive, améliore significativement le pronostic (15,16).

Toutefois, l'administration inappropriée de diurétiques chez des patients dyspnéiques ne présentant pas d'insuffisance cardiaque aiguë peut au contraire aggraver le pronostic de ces patients (15). C'est ce que retrouve l'équipe de Ray et al, leur étude soulignant que la mise en place d'un traitement initial probabiliste inadapté est corrélé à une augmentation de la mortalité chez les patients âgés dyspnéiques (14).

Ces études soulignent ainsi l'importance d'un diagnostic précis et rapide d'une éventuelle part cardiaque face à une dyspnée aiguë, afin d'administrer dans les plus brefs délais un traitement diurétique approprié.

Toutefois, l'imputation d'une part cardiaque à la phase aiguë de la prise en charge d'un patient dyspnéique est difficile. En effet, des études montrent que l'insuffisance cardiaque aiguë n'est correctement diagnostiquée que dans 50% des cas aux urgences (17). Par ailleurs, une autre étude a montré qu'environ 20 % des patients âgés consultant aux urgences pour une dyspnée ont été mal diagnostiqués avec un traitement instauré en phase aiguë inapproprié (14).

Il est donc capital d'améliorer la prise en charge diagnostique initiale face à une dyspnée aiguë dans la recherche d'une éventuelle part cardiaque.

Les examens traditionnels d'une dyspnée aiguë aux urgences incluent l'anamnèse, l'examen clinique, la radiographie thoracique, l'électrocardiogramme (ECG), et le dosage biologique des biomarqueurs tels que le BNP ou NT-proBNP (18). Cependant, ces méthodes manquent souvent de spécificité et de sensibilité, en particulier chez les patients âgés, dont les comorbidités peuvent fausser les résultats. Par exemple, le NT-proBNP est souvent élevé chez les patients âgés souffrant d'insuffisance rénale, ce qui complique l'interprétation de ce biomarqueur (6). La radiographie thoracique, bien qu'utilisée couramment, n'est pas toujours suffisante pour différencier avec précision les causes de la dyspnée. Quant au scanner thoracique, il peut ne pas être disponible immédiatement ou être difficile à réaliser, notamment selon la stabilité clinique du patient.

C) Apport de l'échographie

L'échographie au chevet du patient (POCUS) s'impose de plus en plus comme une technique complémentaire aux examens cliniques et paracliniques usuels.

Tout d'abord, son utilisation permet de renforcer la certitude diagnostique. Plusieurs études dans la littérature ont démontré que la précision diagnostique de l'échographie pulmonaire est non seulement supérieure à l'auscultation

pulmonaire mais également à celle de la radiographie thoracique dans de nombreuses situations cliniques (19). Il a été démontré que l'échographie pulmonaire présente des résultats similaires à la radiographie dans le diagnostic d'une pneumopathie (20), d'une insuffisance cardiaque aiguë (21, 22), d'un épanchement pleural (23) et du pneumothorax (24).

L'échographie pulmonaire est notamment plus précise que la radiographie thoracique pour le diagnostic d'une pneumopathie (25), d'un pneumothorax (26) et de l'épanchement pleural (29), permettant également une évaluation de l'abondance de l'épanchement (19). Les performances diagnostiques de l'échographie sont similaires au scanner pour la détection d'un épanchement pleural (27).

Dans la littérature, il a également été montré que l'ETT joue un rôle crucial, notamment pour évaluer la composante cardiaque qui est souvent difficile à diagnostiquer avec certitude à partir de l'examen clinique seul ou du dosage du BNP. En effet, l'ETT avec étude du profil mitral s'est avérée plus sensible que l'examen clinique ou le dosage des BNP pour identifier une part cardiaque (28).

L'utilisation de l'échographie permet donc de réduire le nombre de diagnostics différentiels possibles face à une dyspnée aiguë et permet d'établir un diagnostic étiologique le plus souvent correct dès la phase pré hospitalière, comme l'a démontré l'étude menée par l'équipe de Lapostolle (29). Son utilisation permettrait ainsi une prise en charge thérapeutique adaptée dès la phase pré hospitalière et permettrait une meilleure orientation des patients dans des structures hospitalières adaptées.

L'échographie se distingue également par sa capacité à monitorer l'évolution clinique en temps réel de la dyspnée aiguë après administration des thérapeutiques. En effet, nous retrouvons dans la littérature que le monitoring dynamique de la congestion pulmonaire à travers l'observation des lignes B est particulièrement utile dans l'ajustement des doses de furosémide chez les patients présentant une insuffisance cardiaque aiguë (30).

Cet outil est également hautement reproductible, garantissant une fiabilité diagnostique entre différents cliniciens, notamment pour des pathologies comme le syndrome alvéolo-interstitiel (31).

D'autre part, l'utilisation de l'échographie permet de raccourcir le délai diagnostique, ce qui rend cet examen particulièrement utile aux urgences, où une prise en charge rapide est essentielle. En effet, contrairement à la radiographie ou au scanner, l'utilisation de l'échographie présente l'avantage d'une disponibilité immédiate (22). L'évaluation d'un patient dyspnéique par la réalisation d'un scanner thoracique requiert souvent un délai d'attente important et n'est pas toujours réalisable à la phase aiguë selon la stabilité de l'état clinique du patient dyspnéique. La radiographie thoracique, bien que disponible également au chevet du patient, ne permet pas toujours une évaluation immédiate. Selon l'afflux de patients présents aux urgences et le degré d'urgence diagnostique du patient, l'obtention de cet examen d'imagerie peut nécessiter un certain délai. L'étude menée par Alrajab, par exemple, montre que le diagnostic de pneumothorax est significativement plus rapide avec l'échographie qu'avec d'autres techniques (24). Le délai diagnostique raccourcit

offre un atout dans le triage précoce des patients admis pour une dyspnée aiguë, ce qui s'avèrerait particulièrement bénéfique pour faire face à l'afflux de malades. Enfin, l'échographie est non invasive et sans danger car elle n'expose pas les patients à des radiations, contrairement à la radiographie ou au scanner (32).

II - Incrimination d'une part cardiaque par l'échographie face à une dyspnée aiguë

A) Échographie pulmonaire

L'échographie pulmonaire avec l'analyse des lignes B s'avère être un outil essentiel dans le diagnostic d'une insuffisance cardiaque aiguë, que la FEVG soit préservée ou réduite. En effet, cet examen présente une sensibilité élevée dans l'évaluation d'une éventuelle insuffisance cardiaque aiguë diastolique face à une dyspnée aiguë (33).

Pour la réalisation de cet examen, le patient peut être en position assise ou semi-assise ou en décubitus dorsal, selon son état clinique.

Une sonde linéaire haute fréquence (7,5 à 12 MHz) est utilisée pour examiner les structures superficielles du poumon. La sonde est placée perpendiculairement aux espaces intercostaux pour éviter l'ombre des côtes.

L'échographie pulmonaire s'applique ainsi à rechercher dans les huit quadrants thoraciques des zones antérieures, latérales et postérieures la présence ou

l'absence de lignes B. La présence de plus de 3 lignes B dans un quadrant est considéré comme pathologique selon le protocole décrit par Volpicelli et al (26).

L'échographie pulmonaire ainsi réalisée dans chaque quadrant permet l'obtention d'une image caractéristique appelée « signe de la chauve-souris ». Cette image est caractérisée par la visualisation des deux côtes et de la ligne pleurale entre elles. Cela aide à localiser l'interface pleurale dans l'image échographique.

La réalisation de ces coupes échographiques permet l'analyse de plusieurs artefacts caractéristiques de l'échographie pulmonaire.

Les lignes A sont des artefacts horizontaux parallèles à la ligne pleurale, visibles à intervalles réguliers égaux.

Le glissement pleural correspond aux mouvements de la plèvre lors de la respiration. Une ligne hyperéchogène (lumineuse) est visible à l'échographie, et son déplacement pendant les mouvements respiratoires indique un poumon sans pneumothorax.

Les lignes B (ou "queues de comète") sont des artefacts verticaux s'étendant de la ligne pleurale jusqu'au bord de l'image échographique. Leur présence en faible nombre (<3 par champ pulmonaire) est normale. Les caractéristiques échographiques des lignes B ont été décrites par Lichtenstein comme suit : « il s'agit d'artefacts hydroaériques en queue de comète, provenant de la ligne pleurale et hyperéchogènes ; bien définies ; qui se propagent indéfiniment dans

l'image. Elles effacent les lignes A ; et se déplacent avec le glissement des poumons lorsque le glissement des poumons est présent » (19).

Lorsque l'échographie est réalisée en mode TM, les couches superficielles (peau, muscles) génèrent des lignes horizontales, tandis que la plèvre en mouvement crée un motif ondulé. Ce schéma est appelé "bord de mer" et indique un poumon normal.

L'ensemble de ces artefacts fournissent des repères essentiels pour l'analyse des différentes pathologies pulmonaires comme le pneumothorax, l'œdème pulmonaire ou les consolidations alvéolaires. L'analyse de ces artefacts constitue la base du fameux Blue Protocol présenté par Lichtenstein (19).

Le syndrome alvéolo-interstitiel est défini échographiquement comme une augmentation du nombre de lignes B dans le quadrant pulmonaire étudié (> 3 lignes B). En effet, la présence d'un nombre important de lignes B dans des quadrants échographiques pulmonaires traduit un gradient d'impédance acoustique important, provoqué par la coexistence de liquide et d'air dans les septas interlobulaires, représentant le syndrome alvéolo interstitiel. La visualisation d'une augmentation des lignes B dans des quadrants pulmonaires bilatéraux est ainsi classiquement retrouvée en cas d'œdème pulmonaire (19).

Toutefois, d'autres pathologies comme la fibrose pulmonaire, pouvant s'acutiser et entraîner une dyspnée aiguë, peuvent également générer cet aspect échographique. Il est donc important de coupler cet examen échographique à

l'anamnèse, la clinique et aux autres examens complémentaires pour confirmer l'existence d'une insuffisance cardiaque aiguë.

Il a également été montré dans la littérature l'importance du couplage de l'échographie pulmonaire avec l'échocardiographie dans l'analyse d'une dyspnée aiguë. En effet, la précision diagnostique pour des pathologies comme la pneumonie et l'œdème aigu pulmonaire est nettement supérieure lors de l'utilisation combinée de l'échographie cardiaque et pulmonaire comparé à l'échographie pulmonaire seule (35). Les dernières recommandations publiées par la SFMU recommandent ainsi l'utilisation de l'échographie pulmonaire associée à une ETT dans l'évaluation diagnostique d'une dyspnée aiguë (36).

B) Échographie cardiaque

L'étude du profil mitral E/A et du profil tissulaire de l'anneau mitral sont des éléments essentiels pour évaluer les pressions de remplissage du ventricule gauche. En effet, l'évaluation de ces pressions de remplissage est primordiale face à une dyspnée aiguë afin de rechercher une insuffisance cardiaque aiguë sous-jacente, quel que soit la FEVG de notre patient.

Le flux mitral est obtenu à partir d'une coupe échographique 4 cavités en positionnant la fenêtre Doppler à l'extrémité des feuillets de la valve mitrale en position ouverte. Il se compose de deux ondes principales :

- **L'onde E** : Elle correspond au remplissage passif du ventricule gauche après l'ouverture de la valve mitrale, c'est-à-dire en diastole précoce. Sa vélocité permet une évaluation rapide du remplissage. Une vélocité basse ($< 0,6$ m/s) peut indiquer une hypovolémie, tandis qu'une vélocité élevée ($> 0,9$ m/s) suggère une hypervolémie ou une élévation des pressions de remplissage (37).
- **L'onde A** : Elle correspond à la systole auriculaire, donc à l'activité de l'oreillette gauche, qui pousse du sang supplémentaire dans le ventricule juste avant la fermeture de la valve mitrale.
- **Le TDE** est également mesuré lors de l'analyse du flux mitral. Il s'agit du temps séparant le pic et le point de retour de l'onde E sur la ligne de base.

Ces mesures permettent de calculer **le ratio E/A**, qui compare l'amplitude de ces deux ondes. Trois profils différents peuvent être obtenus à partir de ces paramètres :

- Profil I : troubles de la relaxation $E/A < 1$, $TDE > 220$ ms,
- Profil II : troubles restrictifs $E/A > 2$, $TDE < 150$ ms,
- Profil III : troubles normal ou pseudo-normal $E/A > 1$, $TDE < 220$ ms (37)

Toutefois, ces paramètres présentent des limites. En effet, ils peuvent varier avec l'âge et avec les conditions hémodynamiques du patient. De plus, la présence d'une fibrillation atriale, particulièrement fréquente chez la personne âgée, empêche l'analyse de l'onde A (37).

Il est donc important de réaliser un **doppler tissulaire à l'anneau mitral**.

L'échographie Doppler tissulaire permet de mesurer directement les mouvements de l'anneau mitral, fournissant des informations précieuses sur la compliance ventriculaire gauche. Deux mesures clés sont dérivées de cette analyse :

- **Onde e' (ou E' tissulaire)** : Correspond au mouvement longitudinal de l'anneau mitral au début de la diastole (relaxation ventriculaire). Elle reflète la relaxation myocardique.
- **Onde a' (ou A' tissulaire)** : Représente le mouvement de l'anneau mitral durant la contraction auriculaire (systole auriculaire).

Le rapport E/e' est utilisé pour évaluer la pression de remplissage du ventricule gauche de manière plus fiable que le rapport E/A seul.

- Un rapport **E/e' normal (< 8)** : Indique des pressions de remplissage normales.
- Un rapport **E/e' élevé (> 14)** : Suggère des pressions de remplissage élevées, ce qui est un signe d'insuffisance cardiaque diastolique (37).

Ces deux outils, combinés, permettent une évaluation fine de la fonction diastolique et des pressions intracardiaques (38).

L'échographie offre une alternative, rapide, non ionisante directement au chevet du patient, rendant possible une évaluation en temps réel d'un patient présentant une dyspnée aiguë. En plus de son innocuité, son utilisation permet ainsi de

réduire les délais diagnostiques et thérapeutiques optimisant ainsi la prise en charge de ces patients aux urgences et améliorant le triage et donc la gestion du flux aux urgences.

L'évaluation échographique par un cardiologue n'est pas toujours possible aux urgences. En effet, ces spécialistes déjà sur-sollicités ne pourraient pas évaluer l'ensemble des patients dyspnéiques aux urgences dans un délai adapté. De plus, certaines formes de présentation clinique de dyspnée aiguë ne justifient pas systématiquement l'avis d'un cardiologue en urgence. Or, dans la littérature, il a été montré que l'évaluation échographique d'un patient dyspnéique par un urgentiste ayant bénéficié d'une formation courte à l'échographie était comparable à celui réalisé par un cardiologue (39).

Cela souligne l'importance d'une formation adaptée à l'échographie pour les médecins urgentistes car elle permet une optimisation de l'évaluation diagnostique, permettant in fine d'améliorer la qualité des soins prodigués.

III - Formation à l'échographie

Le développement de l'échographie dans le domaine des urgences a abouti à l'adoption du terme ECMU par la SFMU en 2016, en remplacement de la POCUS utilisée dans les pays anglophones. L'ECMU se réfère à l'échographie

réalisée par le médecin urgentiste directement au chevet du patient pour évaluer rapidement des situations critiques et orienter les décisions cliniques.

Pour décrire le champ d'application de l'ECMU, la SFMU définit "l'échographie clinique comme « une échographie réalisée au lit du patient, par le médecin clinicien, dont les résultats sont immédiats et qui sont souvent de type binaire. Cet examen peut être répété, en particulier pour permettre le monitoring du patient » (36).

La SFMU ajoute deux concepts fondamentaux pour intégrer l'échographie clinique dans l'urgence :

- **Images cibles** : L'échographie doit produire des images claires et diagnostiques dans le contexte clinique, permettant de valider ou d'infirmer des hypothèses diagnostiques.
- **Temps court** : L'examen doit être réalisé dans un temps compatible avec l'urgence vitale, garantissant ainsi la rapidité d'intervention » (36).

Ainsi, l'ECMU permet donc de vérifier des informations essentielles dans le cadre d'une situation aiguë critique avec un résultat immédiat et souvent binaire, particulièrement adapté pour une prise de décision clinique urgente (35).

L'ECMU est désormais une compétence clé dont l'apprentissage est intégré dans la formation des internes en médecine d'urgence en France depuis la création du DES de médecine d'urgence.

Son apprentissage s'effectue sur 2 journées dédiées. La 1^{ère}, ayant lieu lors de la 1^{ère} année d'internat, porte sur les compétences de base en échographie. La 2^{ème}, ayant lieu lors de la 3^{ème} année d'internat, permet un apprentissage plus approfondi des différents points de l'ECMU. Ces journées de formation à l'ECMU reprennent les connaissances théoriques de base de l'échographie, l'anatomie retrouvée à l'examen échographique, les principales indications et intègrent un entraînement au maniement de l'échographie.

À la fin de leur internat, les internes doivent être capables de :

- Réaliser et interpréter des examens échographiques en fonction du contexte clinique.
- Utiliser l'échographie pour guider des interventions médicales.
- Intégrer l'échographie dans la prise de décision clinique rapide (36).

Il existe d'autres formations disponibles pour les praticiens exerçant aux urgences n'ayant pu bénéficier de cet apprentissage dispensé au cours de l'internat de médecine d'urgence.

En effet, il existe des ateliers pratiques organisés par des sociétés savantes, comme la SFMU ou encore le congrès WINFOCUS, qui permettent de se former de manière intensive à l'utilisation de l'ECMU.

L'avènement d'un Diplôme Inter-Universitaire national d'Échographie et Technique UltraSonore (DIU-ETUS) en 2006 a permis d'offrir une formation théorique et pratique approfondie sur l'utilisation de l'échographie au chevet du patient. Il s'agit d'une formation se déroulant sur un an qui intègre les différentes

thématiques du POCUS comme l'évaluation des traumatismes, des douleurs abdominales, des détresses respiratoires, et la réalisation d'échographies ciblées, comme le protocole FAST.

Malgré l'introduction croissante des échographes dans les différentes structures d'urgence et le développement des formations spécifiques à leur utilisation, ces dispositifs restent encore sous-utilisés. Une étude réalisée par Bobbia en 2017 a révélé que l'échographie n'était utilisée que chez 5% des patients consultant aux urgences, alors même que des échographes étaient disponibles dans ces services (40). Cette faible utilisation est préoccupante car elle révèle un décalage entre la disponibilité de la technologie et son usage effectif.

Cette sous-utilisation pourrait s'expliquer en grande partie par une compétence en échographie non encore maîtrisée par une part importante du personnel exerçant aux urgences.

Ainsi, il est essentiel d'accentuer les efforts concernant la formation à l'échographie pour permettre à l'ensemble du personnel médical exerçant aux urgences de maîtriser cet outil diagnostique essentiel afin de l'intégrer dans leur pratique quotidienne et dans les nouveaux algorithmes de décision médicale.

IV - Intérêt de notre étude

Ainsi, le but de notre étude est d'évaluer, après une formation théorique à l'échographie, la **courbe d'apprentissage** d'internes exerçant dans un service d'urgence encore novice dans l'utilisation de cet outil. Plus précisément, nous

souhaitons mesurer leur capacité à réaliser un **profil échographique utile** pour l'évaluation d'une **dyspnée aiguë**, condition fréquemment rencontrée aux urgences, avec réalisation : E/A, E/E' et une coupe d'échographie pulmonaire pour l'étude des lignes B dans le quadrant antéro supérieur.

Pour cela, nous avons évalué leur compétence sur des volontaires sains, en nous concentrant sur l'acquisition des compétences psychomotrices nécessaires à la réalisation correcte des différentes coupes échographiques. Notre objectif est d'analyser si les coupes obtenues respectent les critères de qualité requis pour permettre une interprétation ultérieure fiable.

MATERIEL ET METHODE

I - Type d'étude

Il s'agit d'une étude prospective observationnelle et monocentrique réalisée au CH de Béthune de Décembre 2023 à Juillet 2024.

L'objectif principal de cette étude est de construire la courbe d'apprentissage d'un profil échographique cible, dans le cadre du diagnostic d'une dyspnée aiguë non traumatique, d'internes novices en échographie. Notre étude comporte l'étude d'une coupe ETT 4 cavités avec analyse du rapport E/A et du rapport E/E' et d'une coupe d'échographie pulmonaire au niveau d'un quadrant antéro supérieur.

Les objectifs secondaires sont d'évaluer l'efficacité d'une formation théorique avec la réalisation d'un contrôle de connaissance à distance de la formation, d'évaluer le temps nécessaire pour l'obtention de chaque coupe au fil des sessions et d'évaluer le ressenti des candidats à la fin de notre étude.

II - Critères de jugement

Le critère de jugement principal était l'analyse de l'évolution du score de chaque coupe, pour chaque participant, afin de déterminer le nombre

d'échographies nécessaires pour obtenir de façon fiable et reproductibles les mesures suivantes :

- Coupe d'échographie pleuro pulmonaire au niveau du quadrant apical antérosupérieur droit ou gauche avec visualisation du signe de la chauve-souris et des artefacts représentés par les lignes A et B, et visualisation du mode TM
- Profil mitral : réalisation d'une coupe cardiaque 4 cavités avec fenêtre d'échantillonnage en regard du bout de la valve mitrale puis réalisation d'un tir doppler pulsé pour l'obtention du flux mitral. Les candidats repèrent ensuite l'onde E protodiastolique, le TDE, et l'onde A télédiastolique pour calculer le rapport E/A.
- Doppler tissulaire à l'anneau mitral : réalisation d'une coupe cardiaque 4 cavités avec fenêtre d'échantillonnage en regard de la paroi latérale du VG au niveau de la valve mitrale puis réalisation d'un tir doppler tissulaire. Les candidats repèrent ensuite l'onde e' nécessaire pour le calcul de E/E'.

Les critères de qualité inhérents à chaque coupe comprenaient :

- ❖ Pour l'échographie pulmonaire :
 - Identification de la coupe
 - Utilisation de la sonde échographique adaptée
 - Sonde placée perpendiculairement aux côtes
 - Espace intercostal centré entre les côtes
 - Réglage des profondeurs adéquat (5cm en dessous de la ligne pleurale, max 10cm)

- Réglage de gains adéquat (limiter la saturation)
- Image homogène sur la totalité de l'écran
- Utilisation du mode TM

❖ Pour le E/A :

- Identification de la coupe
- Utilisation de la sonde cardiaque phase array
- Fenêtre apicale 4 cavité
- Tir doppler passant par l'apex du ventricule gauche
- Échantillon de mesures à l'extrémité des feuillets mitraux
- Gains et filtres au maximum
- Obtention d'une image spectrale la plus nette possible
- Mesure sur le bord externe de l'image spectrale
- Mesures réalisées sur un seul et même cycle
- Mesures des vitesses A, E, TDE

❖ Pour le E/E' :

- Identification de la coupe
- Utilisation de la sonde cardiaque phase array
- Fenêtre apicale 4 cavités
- Tir doppler passant par l'apex du ventricule gauche
- Échantillon de mesure sur le bord latéral du VG, à 5mm au-dessus de la valve mitrale
- Gains et filtres au maximum
- Obtention d'une image spectrale la plus nette possible

- Mesures réalisées sur un seul et même cycle
- Mesure onde E'

Les critères de jugements secondaires comportent :

- L'évaluation des connaissances théoriques de chaque participant à distance de la formation
- La courbe de progression du temps nécessaire pour l'obtention de chaque coupe au cours des différentes sessions
- La satisfaction des candidats à la fin de notre étude.

III - Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion de notre étude comportent :

- Internes travaillant au sein d'un service d'accueil des urgences dans le Nord-Pas-De-Calais.

Les critères d'exclusion comportent :

- Interne détenteur d'un DIU d'échographie.

IV - Protocole de recueil de données

A) Population étudiée

Le recrutement de nos candidats a été réalisé sur la base du volontariat dans différents services d'urgence du Nord-Pas-De-Calais. Au total, 13 internes novices en échographie ont été inclus dans notre étude. Parmi eux, 10 internes en médecine d'urgence des promotions de 2021, 2022 et 2023 ont été inclus ainsi que 3 internes en médecine générale exerçant aux urgences du CH de Béthune.

Un numéro de 1 à 13 leur a été attribué de manière aléatoire par tirage au sort.

Chaque candidat a répondu à un questionnaire permettant de recueillir son identité, sa spécialité, son année d'internat et ses différents stages effectués au cours de sa formation. Les caractéristiques de notre population d'étude sont résumées dans le tableau ci-dessous (tableau 1). Leur consentement oral à la participation à notre étude a également été recueilli.

NUMERO PARTICIPANT	SPECIALITE	SEMESTRE	FORMATION ECMU	STAGE REALISE EN CARDIOLOGIE
1	DESMU	1 ^{er} semestre	Oui, niveau 1	Non
2	Médecine Générale	1 ^{er} semestre	Non	Non
3	Médecine générale	1 ^{er} semestre	Non	Non
4	DESMU	3 ^{ème} semestre	Oui, niveau 1	Non
5	DESMU	3 ^{ème} semestre	Oui, niveau 1	Non
6	DESMU	3 ^{ème} semestre	Oui, niveau 1	Non
7	DESMU	3 ^{ème} semestre	Oui, niveau 1	Non
8	DESMU	3 ^{ème} semestre	Oui, niveau 1	Non
9	DESMU	5 ^{ème} semestre	Oui, niveau 2	Non
10	DESMU	3 ^{ème} semestre	Oui, niveau 1	Non
11	DESMU	5 ^{ème} semestre	Oui, niveau 2	Oui
12	Médecine générale	1 ^{er} semestre	Non	Non
13	DESMU	7 ^{ème} semestre	Oui, niveau 2	Oui

Tableau 1 : Recueil des participants constituant notre échantillon d'étude

B) La formation théorique

Les candidats ont bénéficié d'une formation théorique d'une heure le 08/11/2023 et le 15/11/2023 au CH de Béthune, sous la forme d'un diaporama commenté par un médecin urgentiste au CH de Béthune titulaire d'un diplôme d'échographie. Ce cours portait sur l'intérêt de l'échographie dans le diagnostic d'une dyspnée aiguë et de son utilisation dans la démarche diagnostique. Il comprenait également un rappel sur l'obtention des différentes coupes avec la

sonde d'échographie, les critères de qualité requis, les images anatomiques de base attendues pour chaque coupe, et leur interprétation dans le contexte d'une dyspnée aiguë.

Ce cours a ensuite été mis en ligne sur le site Digiforma, permettant à chaque candidat de le visionner autant de fois que nécessaire (Annexe 1).

A la fin du diaporama, une démonstration pratique a été réalisée par le médecin formateur, montrant le fonctionnement de l'appareil d'échographie, les modalités d'obtention de chaque coupe, les critères de qualité attendus, et l'enregistrement des différentes coupes de manière anonyme.

Un questionnaire portant sur les connaissances théoriques leur a été remis à la fin de la formation théorique et pratique (Annexe 4). Il s'agissait d'un questionnaire de 10 questions notées de 0 à 1, permettant d'attribuer une note sur 10. Chaque candidat a répondu à ce questionnaire de manière anonyme, en utilisant le numéro qui leur avait été attribué au début du recrutement.

C) La formation pratique

A la fin de la formation théorique, une formation pratique a été réalisée au sein du CH de Béthune du 22/02/2024 au 31/07/2024. Durant cette période, les candidats ont effectué un auto-apprentissage avec la réalisation de 10 sessions d'entraînement. Au cours de chaque session, les candidats ont réalisé sur des volontaires sains l'ensemble des coupes échographiques, à savoir échographie

pulmonaire, le profil mitral avec calcul du E/A, et le doppler tissulaire au niveau de l'anneau mitral avec calcul du E/E'.

Les volontaires sains de notre étude correspondaient à l'ensemble des candidats. En effet, les candidats ont réalisé l'ensemble des coupes échographiques entre eux au cours de chaque session.

Lors de la réalisation de ces mesures, le candidat se chronométrait et notait le temps mis pour la réalisation de chacune des coupes. Un maximum de 2 sessions de coupes par jour a été autorisé.

Les mesures réalisées ont été anonymisées à l'aide du numéro attribué à chaque candidat. Elles ont été numérisées sous forme d'images et stockées dans un drive. Les coupes portaient le numéro du candidat et celui de leur essai.

L'objectif de notre étude était l'obtention des différentes coupes d'échographies sur un volontaire sain avec l'ensemble des critères de qualité inhérents à chaque coupe. Ainsi, à l'issue de la formation pratique, les coupes anonymisées ont été analysées par le médecin formateur à l'échographie. Les critères de qualité inhérents à chaque coupe comportaient pour l'échographie pulmonaire :

- Identification de la coupe
- Utilisation de la sonde échographique adaptée
- Sonde placée perpendiculairement aux côtes
- Espace intercostal centré entre les côtes
- Réglage des profondeurs adéquat (5 cm en dessous de la ligne pleurale, maximum 10 cm)

- Réglage de gains adéquat (limiter la saturation)
- Image homogène sur la totalité de l'écran
- Utilisation du mode TM

Pour le profil E/A, ils comprennent :

- Identification de la coupe
- Utilisation de la sonde cardiaque phase array
- Fenêtre apicale 4 cavités
- Tir doppler passant par l'apex du ventricule gauche
- Échantillon de mesures à l'extrémité des feuillets mitraux
- Gains et filtres au maximum
- Obtention d'une image spectrale la plus nette possible
- Mesure sur le bord externe de l'image spectrale
- Mesures réalisées sur un seul et même cycle
- Mesures des vitesses A, E, TDE

Pour le profil E/E', ils comprennent :

- Identification de la coupe
- Utilisation de la sonde cardiaque phase array
- Fenêtre apicale 4 cavités
- Tir doppler passant par l'apex du ventricule gauche
- Échantillon de mesure sur le bord latéral du VG, à 5mm au-dessus de la valve mitrale
- Mesures réalisées sur un seul et même cycle

- Mesure onde E'

Selon la présence ou non de ces différents critères de qualité, chaque coupe obtient une note. On considère que la coupe était réussie pour un score supérieur ou égal à 6/8 pour l'échographie pulmonaire, à 7/10 pour E/A, et à 7/9 pour le E/E'. La note obtenue était pondérée par l'importance du critère évalué. Ainsi, pour l'analyse du profil E/A, si le tir doppler ne passe pas au niveau de l'extrémité du VG, le candidat obtient -1 à sa note ; de même si l'échantillon mesuré n'était pas au bout des feuillets mitraux. Pour le profil E/E', si le tir doppler ne passe pas à l'extrémité du VG, le candidat obtient -1 à la note de sa coupe, de même si l'échantillon de mesure n'est pas placé au bon endroit.

D) Questionnaire de ressenti

A la fin de notre étude, un questionnaire sur le ressenti des participants concernant les bénéfices de cette formation théorique et pratique a été remis à chaque candidat. Ce questionnaire a été envoyé par mail à chaque participant un mois après la fin de notre étude. Il comprenait cinq questions et a été rempli de manière anonyme par chaque participant.

V - Matériel utilisé

L'échographe utilisé était un Siemens JUNIPER.

VI - Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel R. Les comparaisons entre les groupes ont été effectuées à l'aide du test de Student pour les variables continues lorsque les conditions de normalité étaient respectées, s'il y avait plus de deux groupes le test ANOVA était utilisé. Les résultats ont été considérés comme statistiquement significatifs pour une valeur de p inférieure à 0,05.

Le LC-CuSum (Learning Curve Cumulative Summation) est une méthode statistique utilisée pour suivre l'évolution des compétences d'un apprenant au fil du temps. Cette approche permet de visualiser la progression individuelle en fonction des performances lors de répétitions successives d'une tâche, comme ici avec les sessions d'échographie.

Le principe du LC-CUSUM repose sur la somme cumulative des écarts par rapport à une performance cible. Contrairement à la méthode classique, dans cette étude, la courbe augmente lorsqu'un apprenant réussit une session, indiquant une progression vers la validation de la compétence. À l'inverse, si l'apprenant échoue ou ne parvient pas à atteindre le seuil de performance fixé, la courbe reste stable ou diminue.

Un seuil h de 1,25 a été défini pour évaluer la validation des compétences après 10 sessions. Une fois que la courbe dépasse ce seuil, cela signifie que l'apprenant a acquis le niveau de compétence requis.

Cette méthode est efficace pour identifier à quel moment l'apprenant atteint la maîtrise de la tâche, tout en suivant sa progression tout au long de la formation.

Pour utiliser le LC-CUSUM, il est nécessaire de définir plusieurs paramètres : la performance cible, la valeur delta d'équivalence et la limite de détection h. Cette limite h est déterminée par simulation et choisie afin d'offrir les meilleures propriétés en termes de risque d'erreur. Une simulation préalable a été réalisée (Tableau 2) avec 1000 simulations pour chaque combinaison de paramètres et 50 sessions d'échographie par simulation. Les performances du test sont exprimées en termes de TDR (« True Discovery Rate ») et FDR (« False Discovery Rate »). La performance cible a été fixée à 20 % d'échecs, avec une déviation acceptable de 10 %. Une limite h de 1,25 a été retenue, permettant d'atteindre les performances suivantes (Tableau 2) : 91 % de probabilité de détecter une performance adéquate, et 17 % de probabilité de fausse détection, c'est-à-dire de considérer à tort une performance inadéquate comme adéquate. Chaque succès entraîne une augmentation de 0,1335, tandis qu'un échec entraîne une diminution de 0,4055, ce qui implique qu'environ trois succès sont nécessaires pour compenser un échec.

La compétence est considérée comme validée lorsque la courbe d'apprentissage de l'interne atteint la limite h. Dans notre étude, cela équivaut à un sans-faute, puisque les internes avaient un maximum de 10 sessions à réaliser.

	0.2	0.2 5	0.3	0.3 5	0.4
1.1 5	93 %	78 %	58 %	38 %	21 %
1.1 6	93 %	80 %	59 %	41 %	22 %

1.1 7	94 %	79 %	60 %	39 %	25 %
1.1 8	94 %	77 %	60 %	40 %	23 %
1.1 9	93 %	78 %	58 %	40 %	20 %
1.2 0	89 %	74 %	58 %	34 %	19 %
1.2 1	91 %	71 %	50 %	28 %	17 %
1.2 2	90 %	73 %	51 %	30 %	13 %
1.2 3	89 %	71 %	50 %	28 %	16 %
1.2 4	86 %	72 %	49 %	29 %	16 %
1.2 5	91 %	70 %	50 %	27 %	17 %
1.2 6	90 %	69 %	47 %	29 %	16 %
1.2 7	90 %	72 %	50 %	30 %	17 %
1.2 8	88 %	70 %	48 %	30 %	15 %
1.2 9	87 %	71 %	47 %	27 %	15 %
1.3 0	90 %	70 %	49 %	30 %	16 %
1.3 1	88 %	69 %	46 %	30 %	14 %
1.3 2	90 %	70 %	51 %	28 %	14 %
1.3 3	89 %	71 %	45 %	25 %	14 %

Tableau 2 : Simulations paramètres LC CUSUM

VII - Éthique

Notre étude n'a pas été soumise à une déclaration au CPP, car celle-ci ne relevait pas d'une étude interventionnelle. L'étude s'est déroulée uniquement sur des volontaires sains, les candidats eux-mêmes, après leur consentement oral.

Aucune déclaration à la CNIL n'a été effectuée en raison de l'absence de transmission informatique de données et de l'anonymisation des coupes.

RESULTATS

I - Caractéristiques des internes

Le tableau 3 présente les caractéristiques des 13 internes inclus dans l'étude. La majorité des participants (n=10 ; 76,9%) étaient inscrits au DES de médecine d'urgence (DESMU), tandis que 3 internes (23,1 %) étaient en médecine générale. En termes de répartition par semestre, 4 (30,8%) internes étaient en 1er semestre, 6 (46,2%) en 3ème semestre, 2 (15,4%) en 5ème semestre, et 1 unique interne (7,7%) en 7ème semestre. Concernant la formation ECMU, 3 internes (23,1%) n'avaient pas suivi de formation, 7 internes (53,8%) avaient complété le niveau 1, et 3 internes (23,1%) avaient atteint le niveau 2.

En outre, 11 internes (84.6%) n'avaient pas effectué de stage en cardiologie contre 2 internes (15.4%) qui l'avaient fait.

Caractéristiques	Ensemble
n	13
Spécialité (%)	
DESMU	10 (76,9)
Médecine générale	3 (23,1)
Semestre (%)	
1er semestre	4 (30,8)
3ème semestre	6 (46,2)
5ème semestre	2 (15,4)
7ème semestre	1 (7,7)
Formation ECMU (%)	
Non	3 (23,1)
Oui, niveau 1	7 (53,8)
Oui, niveau 2	3 (23,1)
Stage réalisé en cardiologie (%)	
Non	11 (84,6)
Oui	2 (15,4)

Tableau 3 : caractéristiques des différents participants à notre étude

II - Évolution des performances des internes en échographie pulmonaire, ETT/EA et ETT/EE

A) Généralités

Les figures 1,2 et 3 représentent les courbes LC-CUSUM d'apprentissage en échographie pour trois modalités différentes : échographie pulmonaire, ETT E/A et ETT E/E'. Chaque courbe correspond à un interne et permet de visualiser la progression individuelle au fil des sessions.

Parmi les 13 internes ayant passé les épreuves, 6 ont complété l'ensemble des sessions. Les données manquantes concernant les résultats des sessions varient de 3 à 7 sessions manquantes sur un total de 10.

B) LC-CuSum pour l'échographie pulmonaire

Sur les 92 notes attribuées, 4 étaient inférieures à 7, soit un taux de réussite de 95,7%. Quatre internes (01, 08, 09, 13) ont validé la compétence avec un seuil h fixé à 1,25 après 10 sessions, représentant environ 67% des internes pour lesquels nous disposons de l'ensemble des notes pour toutes les sessions (figure 1).

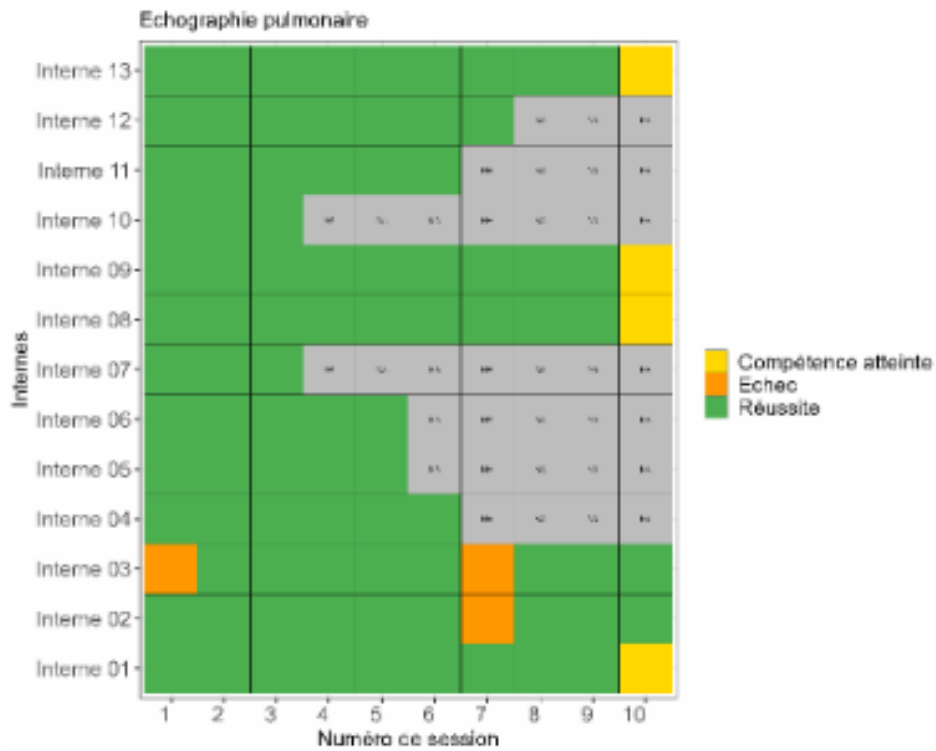
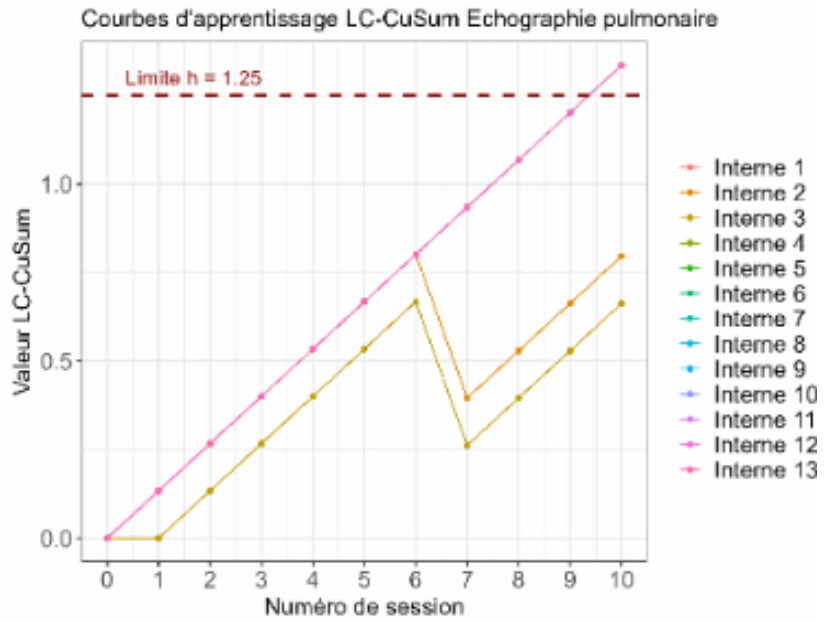


Figure 1 : Courbe d'apprentissage LC CUSUM pour l'échographie pulmonaire

C) LC-CuSum pour l'échographie trans thoracique E/E'

Sur les 92 notes attribuées, 6 étaient inférieures à 7, soit un taux de réussite de 93,5%. Quatre internes (01, 08, 09, 13) ont validé la compétence avec un seuil h fixé à 1,25 après 10 sessions, représentant environ 67% des internes pour lesquels nous disposons de l'ensemble des notes pour toutes les sessions (figure 2).

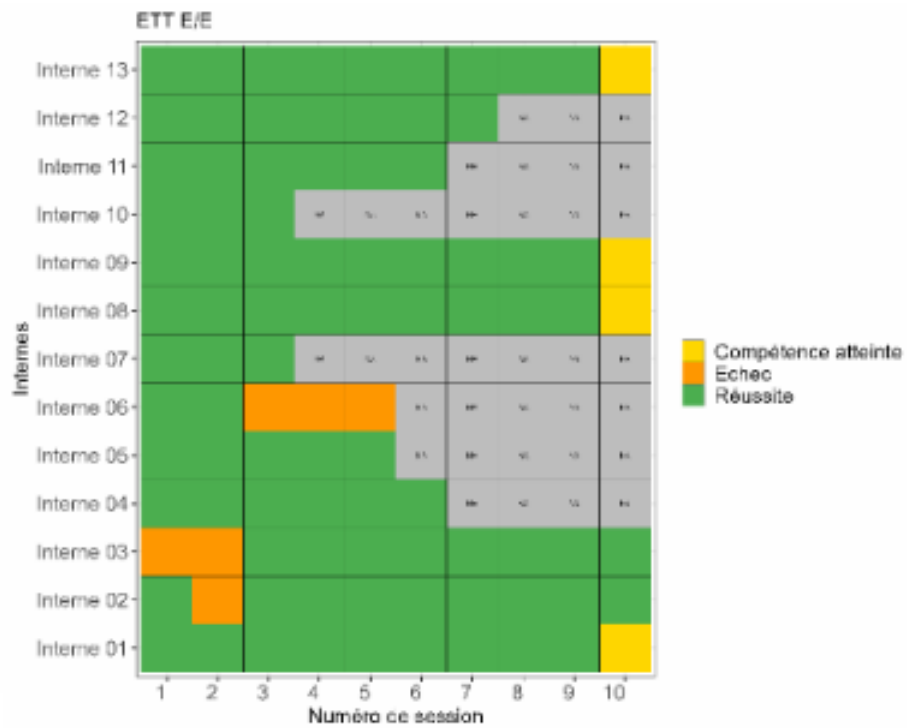
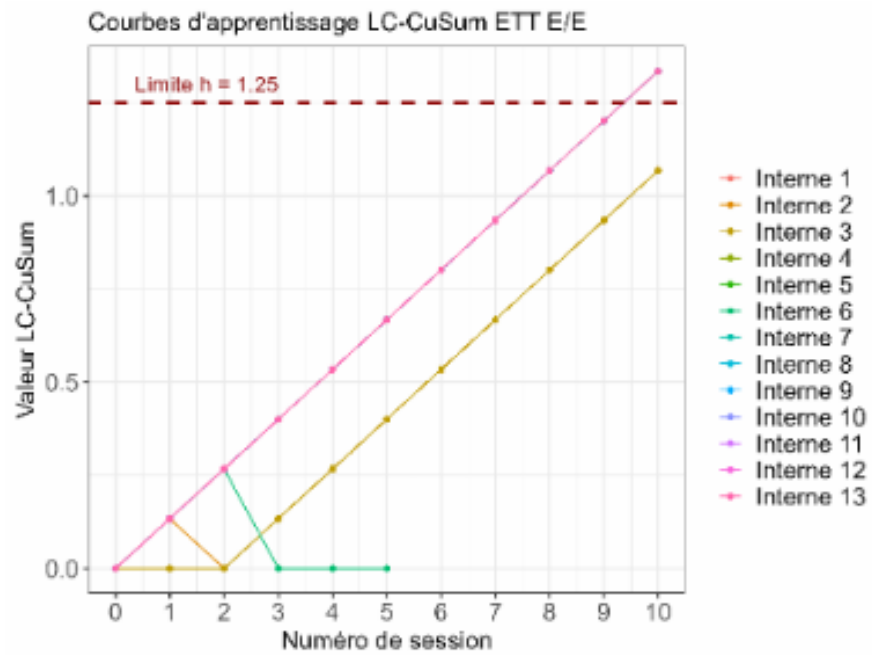


Figure 2 : Courbe d'apprentissage LC CUSUM pour ETT E/E'

D) LC-CuSum pour l'échographie trans thoracique E/A

Sur les 92 notes attribuées, 4 étaient inférieures à 7, soit un taux de réussite de 95,7%. Quatre internes (02, 08, 09, 13) ont validé la compétence avec un seuil h fixé à 1,25 après 10 sessions, représentant environ 67% des internes pour lesquels nous disposons de l'ensemble des notes pour toutes les sessions (figure 3).

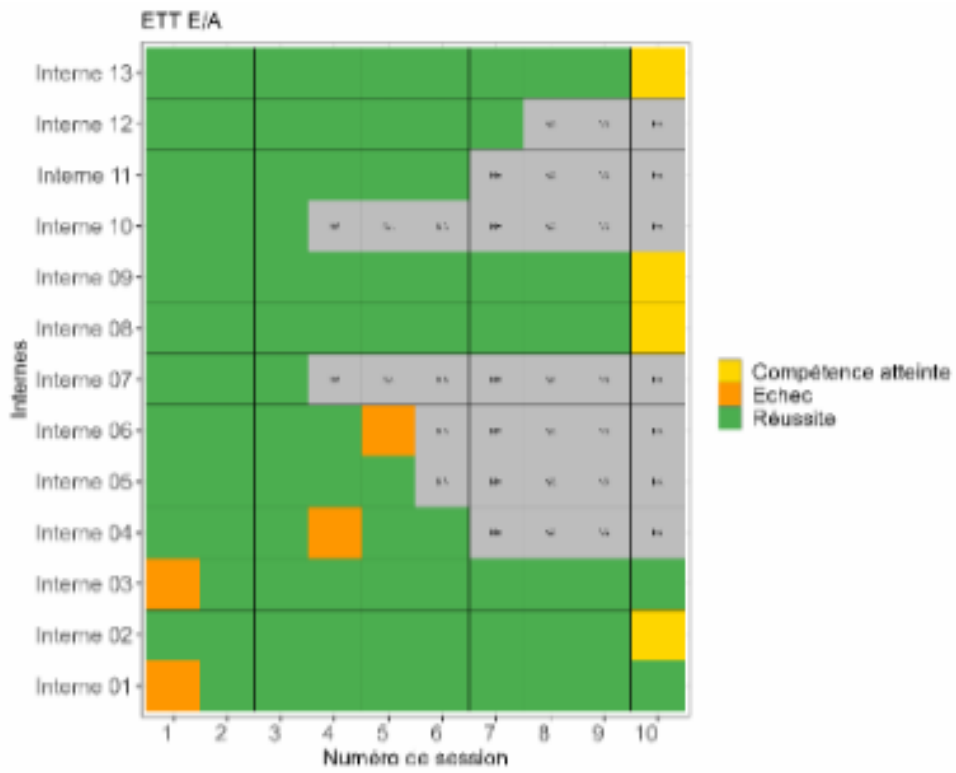
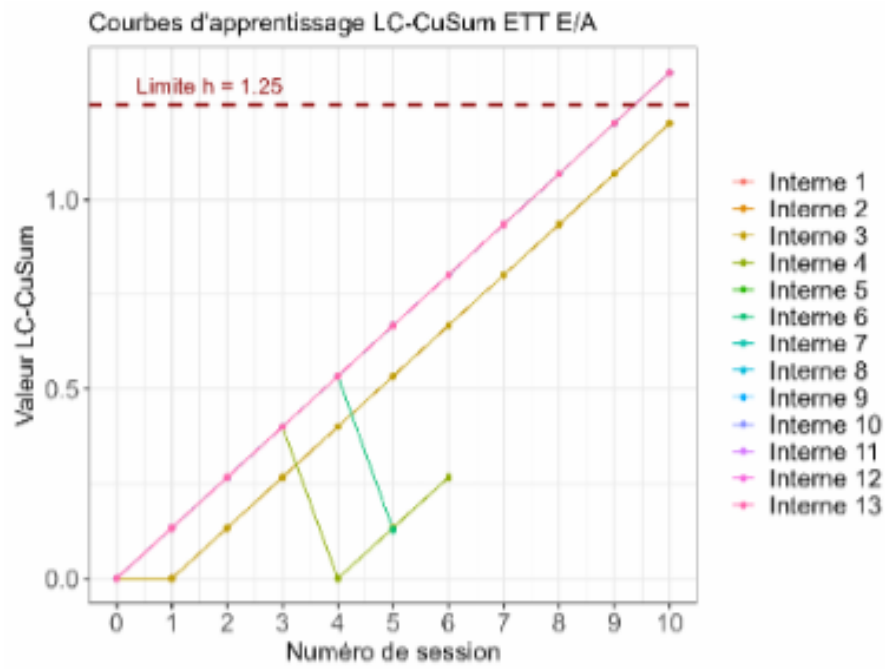


Figure 3 : courbe d'apprentissage LC CUSUM E/A

II - Analyse des déterminants de la performance

Le tableau 4 présente les moyennes des scores normalisées sur 10 obtenus pour trois modalités d'échographie (échographie pulmonaire, ETT E/E', ETT E/A) en fonction de diverses caractéristiques des internes.

Concernant la spécialité, les internes inscrits au DESMU ont obtenu une moyenne de 9,5/10, légèrement supérieure à celle des internes en médecine générale (9,1/10), bien que cette différence ne soit pas significative ($p = 0,379$). En ce qui concerne le semestre de formation, une tendance à l'augmentation des scores avec l'expérience est observée : les internes du 1er semestre ont obtenu une moyenne de 9,2/10, tandis que ceux du 7ème semestre ont atteint une moyenne de 9,9/10. Toutefois, cette progression n'est pas significative ($p = 0,712$).

Concernant la formation ECMU, les internes sans formation ont obtenu une moyenne de 9,1/10, tandis que ceux ayant suivi les niveaux 1 et 2 ont respectivement obtenu des moyennes de 9,4/10 et 9,8/10, sans différence significative ($p = 0,425$).

Enfin, les internes ayant réalisé un stage en cardiologie ont obtenu une moyenne de 9,9/10, significativement plus élevée que ceux n'ayant pas effectué de stage (moyenne de 9,3/10, $p = 0,022$), indiquant une influence positive du stage en cardiologie sur les performances en échographie.

Concernant les notes obtenues au test de connaissance après la formation à l'échographie, en fonction de diverses caractéristiques des internes : les internes inscrits au DESMU ont obtenu une note moyenne de 5,8/10, légèrement supérieure à celle des internes en médecine générale (4,5/10), bien que cette différence ne soit pas significative ($p = 0,442$). En ce qui concerne le semestre de formation, aucune tendance claire n'est observée : les internes du 1er semestre ont obtenu une note moyenne de 5,8/10, tandis que ceux du 7ème semestre ont atteint une note de 7,0/10. Toutefois, ces différences ne sont pas significatives ($p = 0,216$). Concernant la formation ECMU, les internes sans formation ont obtenu une moyenne de 4,5/10, et ceux ayant suivi les niveaux 1 et 2 ont respectivement obtenu des moyennes de 4,5/10 et 7,8/10, sans différence significative ($p = 0,227$).

Enfin, les internes ayant réalisé un stage en cardiologie ont obtenu une note moyenne de 7,8/10, supérieure à celle des internes sans stage (4,9/10), mais cette différence n'est pas statistiquement significative ($p = 0,070$).

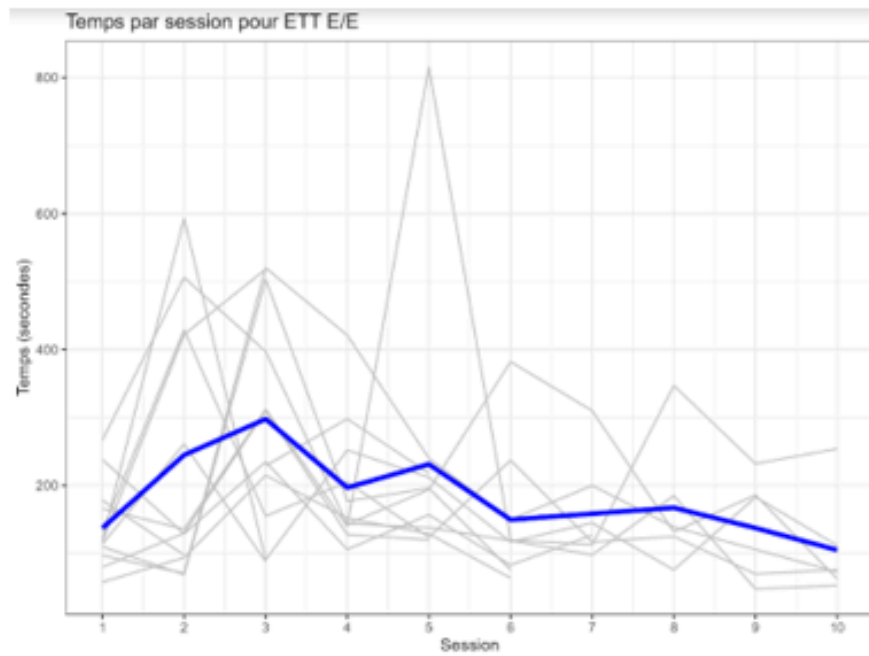
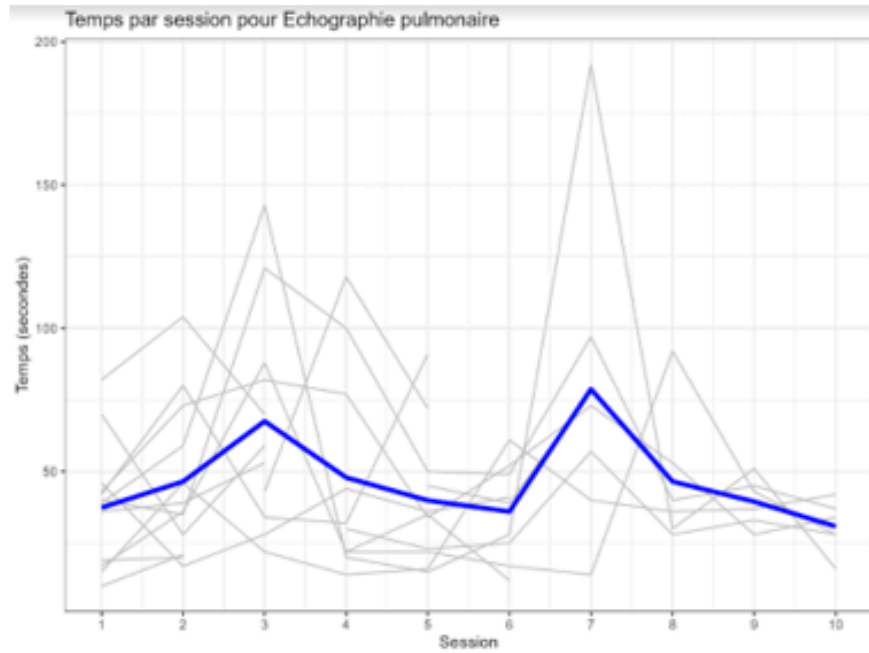
Caractéristiques		n=13 (%)	Moyenne des scores (/10) Echographie pulmonaire ETT E/E, ETT E/A	p-valeur	Note test post formation (/10) Echographie pulmonaire ETT E/E, ETT E/A	p-valeur	Moyenne des temps (en sec) par session	p-valeur
Spécialité	DESMU	10 (76,9)	9,5	0,379	5,8	0,442	196	0,496
	Médecine générale	3 (23,1)	9,1		4,5		172	
Semestre	1er semestre	4 (30,8)	9,2	0,712	5,8	0,216	169	0,066
	3ème semestre	6 (46,2)	9,3		3,5		237	
	5ème semestre	2 (15,4)	9,8		8,3		147	
	7ème semestre	1 (7,7)	9,9		7,0		88	
Formation ECMU	Non	3 (23,1)	9,1	0,425	4,5	0,227	172	0,077
	Oui, niveau 1	7 (53,8)	9,4		4,5		226	
	Oui, niveau 2	3 (23,1)	9,8		7,8		127	
Stage en cardiologie	Non	11 (84,6)	9,3	0,022	4,9	0,070	208	< 0,0001
	Oui	2 (15,4)	9,9		7,8		97	

Tableau 4 : analyse des déterminants des performances dans la réalisation de coupes d'échographie et dans les connaissances théoriques

III - Analyse de l'évolution du temps nécessaire pour chaque session

Au total, 39 temps sur 130 n'ont pas été renseignés, soit 30% de données manquantes. Le temps consacré à l'analyse des coupes d'échographie pulmonaire était plus court que celui de l'échographie transthoracique. Une tendance à la réduction du temps d'analyse des coupes d'échographie est observée chez les internes, particulièrement marquée pour l'ETT E/E'. Concernant les moyennes pour les 13 internes : pour l'échographie pulmonaire, le temps est passé de 37,4 secondes lors de la première session à 30,8 secondes lors de la dixième session. Pour l'ETT E/E', le temps est passé de 137,5 secondes lors de la première session à 105,2 secondes pour la dixième. Enfin, pour l'ETT E/A, le temps est passé de 264,3 secondes lors de la première session à 143,6 secondes pour la dixième (figure 4).

Les internes du DESMU ont mis en moyenne 196 secondes, contre 172 secondes pour ceux en médecine générale ($p = 0,496$). Une tendance à la réduction du temps passé sur les sessions est observée avec l'expérience : 169 secondes au 1er semestre contre 88 secondes au 7ème semestre ($p = 0,066$). Les internes sans formation ECMU ont pris 172 secondes, contre 226 et 127 secondes pour, respectivement, les niveaux 1 et 2 ($p = 0,077$). Les internes ayant fait un stage en cardiologie ont mis significativement moins de temps (97 secondes contre 208, $p < 0,0001$) (tableau 4).



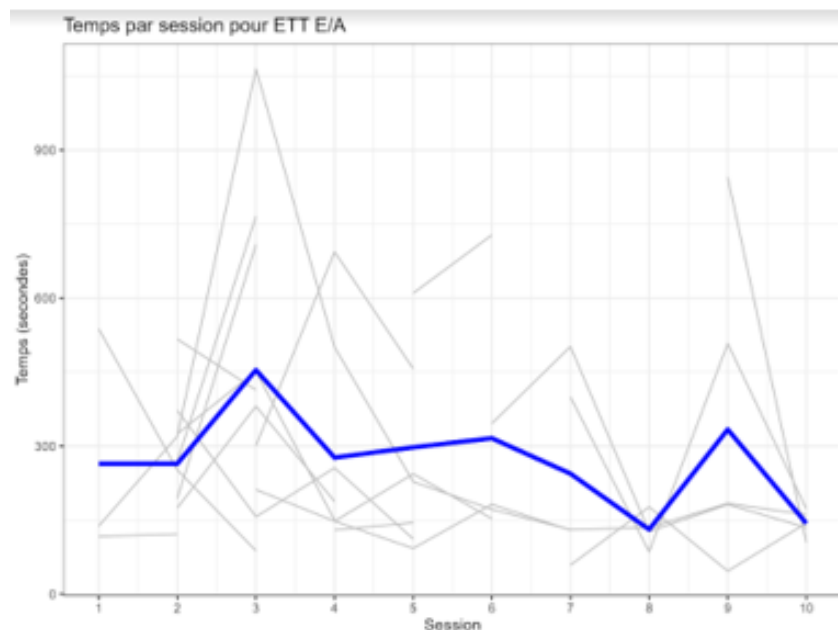


Figure 4 : Évolution du temps nécessaire pour l'obtention des différentes coupes étudiées par internes au cours des sessions

IV - Satisfaction des internes vis-à-vis de la formation à l'échographie

A) Réponse au questionnaire

Sur les 13 internes, 12 ont répondu au questionnaire de satisfaction concernant la formation en échographie (tableau 5). Les résultats montrent une perception globalement positive de la formation. Tous les répondants (100%) estiment que la formation théorique et pratique est bénéfique pour un interne exerçant aux urgences. Toutefois, 7 (58%) internes jugent que le nombre de séances d'entraînement était insuffisant, tandis que 5 (41%) le considèrent suffisant.

Concernant le contenu théorique, 8 (67%) des participants trouvent la formation suffisamment complète, contre 4 (33%) qui estiment qu'elle pourrait être améliorée. Enfin, bien que la formation soit perçue favorablement, seulement 3 (25%) internes se sentent à l'aise pour réaliser des échographies dans le cadre de la dyspnée aiguë, tandis que 9 (75%) ne partagent pas ce sentiment, soulignant un besoin de renforcement de la pratique clinique.

Questions du questionnaire	Oui	Non	Inconnus
Pensez-vous que cette formation théorique et pratique est bénéfique pour un interne exerçant aux urgences ?	12 (100%)	0 (0%)	1 (7.69%)
Le nombre de séances d'entraînement à l'échographie était-il suffisant pour la formation d'un interne exerçant aux urgences selon vous ?	5 (41.67%)	7 (58.33%)	1 (7.69%)
Est-ce que la formation théorique était suffisamment complète selon vous ?	8 (66.67%)	4 (33.33%)	1 (7.69%)
Vous sentez-vous à l'aise à la fin de cette formation pour la réalisation d'échographies dans le cadre de la dyspnée aigue ?	3 (25%)	9 (75%)	1 (7.69%)

Tableau 5 : réponses aux questions du questionnaire de satisfaction

B) Réponse en texte libre

Les internes ont identifié plusieurs points d'amélioration concernant la formation théorique et pratique en échographie. Parmi les suggestions les plus fréquentes, 5 internes (38%) ont exprimé le besoin d'une formation théorique plus approfondie, tandis que 4 internes (31%) ont souligné l'importance d'avoir un référent fixe pour encadrer la formation. L'interprétation des coupes a été mentionnée par 3 internes (23%) comme un domaine à améliorer. De plus, 2

internes (15%) ont proposé d'inclure davantage de pratiques sur des patients, ainsi qu'un meilleur suivi de l'évolution des compétences (15%). D'autres suggestions incluent une plus grande diversité de volontaires pour les séances pratiques (2 internes, 15%) et une meilleure accessibilité à l'échographe (2 internes, 15%). Enfin, quelques répondants ont recommandé d'augmenter le nombre de séances d'entraînement (1 interne, 8%), de rendre plus d'appareils disponibles (1 interne, 8%) et de rapprocher les sessions dans le temps (1 interne, 8%).

DISCUSSION

I - Synthèse

A) Intérêt de notre étude

a) Place de l'échographie dans la dyspnée aiguë

L'échographie a connu un développement considérable dans les services d'urgence au cours de ces dernières décennies, devenant un outil diagnostic incontournable. Grâce à son accessibilité rapide et à sa nature non invasive, elle permet une évaluation immédiate au chevet du patient, tout en évitant l'irradiation, ce qui en fait une technique précieuse dans les situations d'urgence (35). C'est pourquoi les dernières recommandations de la SFMU encouragent son usage systématique pour divers motifs de consultation dans les services d'urgence, afin d'améliorer la précision diagnostique des praticiens (36).

La dyspnée aiguë est un motif fréquent de consultations aux urgences. Elle constitue un défi diagnostique majeur, en particulier chez les personnes âgées, où l'examen clinique traditionnel est souvent limité dans la recherche de l'étiologie de cette dyspnée (11,12). L'incrimination d'une part cardiaque dans une dyspnée aiguë chez ces patients représente donc un véritable challenge. Or, plusieurs études dans la littérature ont souligné l'importance d'un diagnostic précoce pour l'administration d'un traitement étiologique adéquat dans le pronostic de ces patients. C'est ce qui est souligné par l'étude de Ray et al (14)

qui retrouve chez les patients âgés hospitalisés pour une détresse respiratoire aiguë une mortalité hospitalière doublée chez ceux ayant reçu un traitement inapproprié à la phase aiguë. De plus, une étude menée sur les autopsies de patients âgés décédés d'une insuffisance respiratoire aiguë retrouve fréquemment l'œdème pulmonaire cardiogénique comme origine du décès, souvent sous-diagnostiqué (41).

Dans ce contexte, il est essentiel d'améliorer les démarches diagnostiques dans la prise en charge d'une dyspnée aiguë.

L'intérêt de l'échographie dans la gestion de la dyspnée aiguë, comparée à d'autres examens complémentaires, a été démontré dans de nombreuses études. En effet, il a été montré que l'échographie pulmonaire avait non seulement une meilleure sensibilité par rapport à l'examen clinique seul dans l'évaluation des pathologies pulmonaires mais qu'elle pouvait également avoir une sensibilité diagnostique au moins équivalente à la radiographie thoracique dans le diagnostic de pathologies pulmonaires (19).

Pour l'échographie cardiaque, il a été montré dans la littérature que l'analyse du profil mitral apparaît comme la méthode la plus sensible parmi les autres techniques d'évaluation conventionnelle pour déterminer une éventuelle composante cardiaque dans une dyspnée aiguë (28).

L'intégration systématique de l'échographie dans la démarche diagnostique face à une dyspnée aiguë s'avère donc essentielle, offrant une précision supérieure par rapport aux examens complémentaires traditionnels. D'autre part, sa facilité

d'utilisation aux urgences permettrait également de réduire les délais diagnostiques comme le souligne l'étude menée au Danemark par Laursen et al (34), montrant que l'utilisation d'une échographie ciblée améliore la proportion de patients correctement diagnostiqués dans les 4 heures suivant leur admission aux urgences une pour dyspnée aiguë.

b) Mesures utiles

L'ETT avec l'évaluation des pressions de remplissage du VG par Doppler mitral, joue un rôle crucial dans l'évaluation d'une dyspnée aiguë. En effet, devant la fréquence des décompensations cardiaques gauche à fonction systolique préservée, l'analyse du profil mitral devance la FEVG pour l'évaluation d'une éventuelle part cardiaque face à une difficulté respiratoire (42).

L'analyse du flux mitral comporte l'évaluation de l'onde E, de l'onde A et le TDE. L'intégration du doppler tissulaire à l'anneau mitral avec la mesure de e' permet une évaluation fiable des PRVG, optimisant ainsi la prise en charge des patients dyspnéiques (37).

L'échographie pulmonaire est un outil diagnostique crucial face à une dyspnée aiguë, en particulier grâce à l'observation des lignes B. Il s'agit d'un artefact pulmonaire dont l'accumulation dans des quadrants échographiques bilatéraux signent l'existence d'un syndrome alvéolo-interstitiel et donc d'un probable œdème pulmonaire aigu (OAP) (19).

Toutefois, il est essentiel d'intégrer les résultats obtenus avec l'échographie à l'anamnèse et à l'examen clinique du patient. De plus, nous retrouvons dans la littérature l'importance d'associer ces 2 techniques d'échographie permettant d'augmenter la certitude diagnostique dans l'évaluation d'une éventuelle part cardiaque face à une dyspnée aiguë, comme le souligne l'étude réalisée par Bataille et al. (43).

Ces résultats sont corroborés par Riishede et al., qui ont montré que l'échographie cardiaque et pulmonaire ciblée, associée à un examen clinique, permet à un urgentiste, quel que soit son niveau d'expérience, d'augmenter la proportion de traitements administrés appropriés face à une dyspnée aiguë (44).

En réponse à ces avancées, les dernières recommandations de la SFMU de 2016 encouragent l'intégration systématique de l'échographie pulmonaire, cardiaque et de la compression veineuse dans la démarche diagnostique des dyspnées aiguës.

c) Intérêt de notre étude

Il a été montré que malgré la généralisation des échographes dans les différentes structures d'urgence, trop peu de praticiens l'utilisent (24). Pour encourager son adoption, il est crucial de développer des programmes de formation en veillant à assurer un suivi continu des compétences acquises.

Les dernières recommandations de la SFMU de 2016 retiennent l'importance pour un urgentiste de maîtriser cet examen et encouragent le développement des formations. Toutefois, la SFMU ne se prononce pas sur le nombre exact

d'examens nécessaires pour acquérir les différentes compétences en échographie. Des études sont donc nécessaires pour déterminer le nombre de séances d'entraînement requis pour atteindre un niveau optimal en échographie.

Nous avons donc voulu évaluer la courbe d'apprentissage d'internes exerçant aux urgences, naïfs en échographie, dans la réalisation de coupes d'échographies cardio pulmonaires ciblées dans le diagnostic d'une éventuelle part cardiaque face à une dyspnée aiguë.

B) Discussion des résultats

Au total, 13 internes se sont portés volontaires pour la réalisation de notre étude. Il s'agissait de 10 internes en médecine d'urgence issus de différents semestres du Nord-Pas-de-Calais et de 3 internes en médecine générale réalisant leur semestre aux urgences de Béthune.

Notre étude s'est déroulée au centre hospitalier de Béthune de Décembre 2023 à Juillet 2024.

Devant des contraintes logistiques importantes rencontrées au cours de notre étude, des sessions d'entraînement se sont également déroulées au cours de cette période au CH de St Vincent de Paul à Lille, après accord des différents chefs de service.

Le constat principal de notre étude est un faible nombre de données avec 7 internes n'ayant pas réalisés les 10 sessions d'échographie programmées ; dont 2 ayant réalisé moins de 5 sessions (participant 10 et 7).

Les résultats finaux de notre formation révèlent plusieurs points essentiels.

a) Critère de Jugement Principal

Nous pouvons conclure que les courbes d'apprentissage varient selon les participants, chacun d'eux assimilant les compétences psychomotrices à son propre rythme.

Concernant l'échographie pulmonaire, l'acquisition de la compétence a été montrée chez les participants 1, 8, 9 et 13 au bout de la 10ème session d'échographie.

Concernant l'échographie cardiaque, la coupe E/A a été validée par les internes 2, 8, 9 et 13 au bout de la 10ème session d'échographie. Concernant le profil E/E', la compétence a été validée par les internes 1, 8, 9 et 13 au bout de la 10ème session d'échographie.

Au total, seuls les participants 9 et 13 ont validé la compétence globale étudiée dans notre étude à la 10ème session, c'est-à-dire la réalisation d'une échographie pulmonaire et d'une échographie cardiaque avec étude du E/A et du E/E'. Il s'agissait d'internes d'urgence respectivement de 5ème et de 7ème semestre.

Notre étude a montré une association statistiquement significative de la réalisation d'un stage en cardiologie avec la compétence étudiée ($p=0.022$).

Le nombre de semestre de l'interne semble également jouer dans la rapidité de l'obtention de la compétence sans qu'il n'y ait d'association statistiquement significative retrouvée. Avec l'avancée en semestre d'un interne, celui-ci a certainement pu réaliser différents stages l'initiant à l'échographie (notamment passage en cardiologie ou encore en réanimation), un nombre de cours plus important concernant la dyspnée aiguë, qui pourraient correspondre à des possibles biais de confusion. Il aurait fallu réaliser une analyse multivariée pour s'affranchir de ces probables facteurs de confusion mais cela n'a pas été possible devant le faible nombre de participants.

Ainsi, avec nos paramètres fixés (FDR à 17%), il se trouve que 15.4 % des internes ont validé la compétence spécifique en échographie étudiée au bout de la 10ème session. Une formation théorique courte de 2 heures associée à une dizaine de sessions d'échographie permettrait la validation de ce profil échographique cible. Toutefois, notre étude comporte plusieurs faiblesses méthodiques entraînant une limitation de sa puissance statistique. Pour confirmer nos résultats, il faudrait la réalisation d'autres études plus robustes, avec notamment un plus grand nombre de participants, la vérification de l'assiduité de chaque participant afin de limiter le nombre de données manquantes, et s'assurer que chaque participant ait le même niveau de base en échographie.

b) Critères de jugement secondaires

Les analyses descriptives de notre étude ont montré, malgré un nombre important de données manquantes, une amélioration progressive de la rapidité d'exécution des coupes échographiques pour chaque participant. Ce gain en vitesse suggère que les internes ont gagné en aisance au fil des sessions avec une amélioration du maniement de l'échographe.

A distance de l'étude, un questionnaire de connaissances a été proposé aux participants. Les participants 6 et 10 n'ont pas répondu à ce questionnaire. Les résultats montrent que seulement 3 participants n'ont pas obtenu la moyenne, malgré l'accès à un cours théorique via une plateforme Digiforma. Il s'agissait notamment des participants 3, 5 et 8. Le participant 8, bien qu'ayant acquis la compétence E/E' et E/A au bout de la 10ème session, n'a pas validé le test de connaissance avec une note inférieure à la moyenne. Ce résultat suggère que l'encodage des connaissances théoriques n'a pas été optimal, probablement dû à l'absence de liens entre la théorie et la pratique lors de la réalisation des sessions pratiques.

Nous retrouvons dans nos résultats une tendance statistique sans de réelle association statistique entre la note obtenue et le nombre de semestre et le passage en cardiologie, ce qui a pu affecter les résultats de cette analyse descriptive et constitué un probable biais de confusion. Un questionnaire de connaissance réalisé préalablement à notre formation aurait été important dans l'évaluation d'une éventuelle progression des connaissances chez ces internes.

Un test de corrélation a été réalisé ne retrouvant pas d'association entre la note moyenne obtenue pour chaque échographie et la note au test de connaissance à la fin de notre étude ($p=0.44$). Ainsi, il n'y a pas de lien retrouvé entre l'acquisition psychomotrice de notre profil échographique étudié retrouvé avec les connaissances théoriques de nos participants.

Ainsi, bien que certains internes aient montré une progression dans la rapidité d'exécution des coupes échographiques au fil des sessions, ainsi qu'une acquisition progressive des compétences pour certains d'entre eux, l'interprétation des images et la solidité des connaissances restent des points faibles à la fin de la formation comme le montre les résultats du questionnaire de connaissance.

Un questionnaire de satisfaction a été réalisé à la fin de notre étude. Tous les participants sont unanimes quant au bénéfice de cette formation pour un interne exerçant aux urgences. Cette formation a également été jugée utile par les internes en médecine générale, en stage aux urgences, sur le bénéfice de cette formation pour une potentielle pratique pendant leur stage.

58.33% des participants estiment que le nombre de sessions proposées étaient insuffisants. Parmi eux, nous retrouvons les participants 1,8,9 qui ont pourtant validé dans notre étude les compétences en échographie au bout de la 10ème session. Nous retrouvons également les participants 4,5,7,11 qui ne sont pas allés au bout des 10 sessions d'échographies programmées.

66.67% des internes ont jugé le contenu de la formation théorique suffisant, à savoir un diaporama commenté par le médecin formateur à l'échographie pendant une session de 2 heures, disponible ensuite en ligne sur la plateforme Digiforma.

A la fin de notre étude, 75% des participants ne se sentent pas à l'aise pour intégrer ces coupes d'échographies étudiées dans leur démarche diagnostique face à une dyspnée aiguë aux urgences. Parmi eux nous retrouvons les participants 1,8,9 ayant pourtant validé une des compétences étudiées.

A la question libre portant sur les améliorations qu'il conviendrait d'apporter à cette formation, les réponses revenues communes aux différents participants comptent la nécessité de rappels théoriques réguliers au cours des sessions d'échographie, avoir un médecin formateur présent à chaque session permettant ainsi un retour après la coupe sur l'acquisition ou non de la compétence avec des conseils d'amélioration, et enfin un meilleur apprentissage de l'interprétation des différentes données obtenues pour chaque coupe.

Notre étude s'est concentrée sur l'acquisition d'images physiologiques, ce qui a permis aux internes d'apprendre les bases, mais a limité leur exposition à des situations cliniques complexes. Cela a été retenu par plusieurs de nos participants, ayant exprimé dans ce questionnaire le souhait de s'entraîner à la réalisation de coupes sur des sujets malades avec mise en situation clinique.

Donc, bien que la formation ait globalement été bien perçue avec des compétences pratiques acquises en fin de session pour certains de nos

participants, les aspects théoriques et interprétatifs nécessitent une attention accrue pour garantir une intégration complète des connaissances. Certaines améliorations seront nécessaires, notamment l'extension de la durée de formation pratique, des rappels théoriques réguliers et l'intégration d'éléments cliniques plus réalistes afin d'optimiser l'acquisition des compétences échographiques.

II - Comparaison avec la littérature

Les données dans la littérature concernant le nombre de sessions nécessaire pour valider une compétence en échographie sont très variables (45). Les recommandations de l'ACEP ont tranché et retiennent une moyenne de 25 à 50 coupes d'entraînement de manière supervisée par thème, pour garantir une maîtrise suffisante de l'échographie (3). En ce sens, nos résultats concernant notre étude contrastent avec les résultats de la littérature. Cependant, celle-ci préconise ce nombre dans le cadre d'une évaluation globale en échographie et non sur la réalisation de coupes ciblées contrairement à notre sujet d'étude, ce qui peut expliquer les différences de résultats.

Des travaux de thèse précédemment réalisés ont également étudié les courbes d'apprentissage d'internes dans la réalisation de ces coupes d'échographie. Nos résultats trouvent des données plus rapides que ce qui est observé dans la littérature, où certaines études rapportent qu'il faut plus de 10 sessions pour maîtriser cette technique C'est notamment le cas de la thèse de M. AURIAN (46)

qui portait sur les courbes d'apprentissage de différentes coupes d'échographies d'internes militaires à la FAST ECHO, comprenant une coupe d'échographie pulmonaire. Les résultats montraient que l'acquisition de la compétence a été montrée pour 1 seul participant au bout de la 17ème session d'échographie. Les paramètres fixés dans son travail étaient similaires à notre étude avec notamment une limite h à 1.25. Contrairement à notre étude, la population d'étude était plus homogène (interne de médecine générale n'ayant eu aucune formation à l'échographie) ce qui pourrait expliquer la différence de validation de la compétence entre nos études.

La thèse de J. BACQUET (47) portait sur la courbe d'apprentissage d'internes naïfs en échographie dans la réalisation d'un profil mitral et d'une échographie pulmonaire face à une dyspnée aiguë. Les résultats montraient qu'il fallait environ la réalisation de 14 coupes d'échographie pour acquérir la compétence.

D'autre part, dans ces 2 travaux de thèse, les participants devaient réaliser leurs coupes sur des patients admis aux urgences pour un motif de consultation nécessitant la réalisation d'une échographie puis devaient analyser la coupe recueillie. Ainsi, contrairement à notre étude, l'évaluation portait sur les critères de qualité de la coupe d'échographie réalisée mais également sur l'indication de sa réalisation et l'interprétation des résultats dans la démarche diagnostique.

L'évaluation simplifiée dans notre étude par rapport à ces précédents travaux pourrait expliquer la différence de compétence obtenue.

Ainsi, à notre connaissance, il n'y a pas d'autres travaux dans la littérature ayant trouvé une acquisition de nos compétences étudiées au bout de la 10ème séance.

En conclusion, bien que nous ayons montré une acquisition de la compétence au bout de la 10ème séance chez certains participants, elle n'a pas été montrée chez la majorité de nos internes de notre étude. Nos résultats soutiennent donc l'idée d'une formation plus longue, avec davantage de sessions pour stabiliser et affiner les compétences acquises.

III - Impact de l'analyse statistique

Dans notre thèse, nous avons utilisé la méthode LC-CUSUM pour analyser la courbe d'apprentissage des internes en échographie. Cette méthode offre une approche rigoureuse et précise pour évaluer la progression des internes, améliorer leur formation, et, in fine, garantir une meilleure qualité de prise en charge des patients en médecine d'urgence.

Initialement développée dans le domaine industriel pour le contrôle qualité, la méthode LC- CUSUM a récemment trouvé des applications en médecine d'urgence, notamment pour la construction de courbes d'apprentissage. Plusieurs travaux de recherche, y compris des thèses récentes, ont utilisé cette méthode, qui permet de suivre en temps réel la progression individuelle des internes et de déterminer précisément à quel moment un niveau de compétence prédéfini est atteint. Contrairement aux méthodes d'évaluation traditionnelles, LC- CUSUM propose un suivi personnalisé et dynamique, permettant non seulement de repérer les succès, mais aussi d'identifier les phases où l'interne pourrait rencontrer des difficultés ou atteindre un plateau dans son apprentissage. Cela offre des opportunités d'ajustement pédagogique en fonction des besoins spécifiques de chaque apprenant.

En utilisant la méthode LC CUSUM, des seuils de compétence précis peuvent être définis, garantissant que chaque interne a acquis un niveau de compétence suffisant avant d'être jugé apte à réaliser des échographies de manière autonome.

L'interprétation des résultats obtenus via l'analyse LC-CUSUM dépend directement du choix des paramètres utilisés, en particulier de la limite h . Ce seuil prédéfini sert à déterminer si un événement ou un résultat est significatif. En pratique, la limite h permet d'identifier le moment où un interne a acquis la compétence visée, ou au contraire, s'il nécessite une formation supplémentaire.

Le choix de cette limite h permet de définir le TDR qui reflète la capacité du test à détecter l'acquisition de la compétence et le FDR qui correspond au risque d'indiquer à tort qu'une compétence est maîtrisée alors que ce n'est pas le cas.

Dans le cadre de notre étude, nous avons arbitrairement fixé une limite h à 1,29. Cette valeur donne à notre test un TDR de 91 % et un FDR de 17%. En effet, cette limite h , volontairement basse, a été choisie également dans d'autres travaux de thèse pour optimiser la détection rapide des changements de performance et l'acquisition de la compétence. Toutefois, cette limite basse a un coût en termes de FDR élevé, avec un risque dans notre étude statistique d'interpréter des variations normales ou de petites erreurs comme des événements significatifs, c'est-à-dire à conclure à tort qu'un interne a acquis une compétence alors que ce n'est pas encore le cas.

Cette approche se justifie dans notre contexte, où l'impact clinique d'une échographie mal réalisée est généralement moindre par rapport à d'autres procédures plus critiques.

Toutefois, dans notre étude, le nombre de sessions d'entraînement est faible avec une majorité de participants n'ayant pas atteint les 10 sessions requises.

Or, lorsque le nombre d'entraînements est faible, le modèle LC CUSUM dispose de moins de données pour s'ajuster correctement, ce qui peut compromettre sa robustesse. En augmentant le nombre d'entraînements, notre modèle serait devenu plus solide par réduction du FDR. En effet, cela aurait permis de diminuer la probabilité que des fluctuations normales soient interprétées à tort comme des échecs ou des succès et donc aurait amélioré la précision de notre évaluation avec une meilleure stabilisation des résultats. Il se pourrait ainsi que l'analyse LC CUSUM ait manqué de puissance statistique et ait donc conclu à tort à une acquisition de la compétence chez certains de nos participants. D'autres études incluant plus de 10 sessions d'échographie sont à prévoir à l'avenir pour confirmer nos résultats statistiques.

Dans notre étude, la compétence n'a été évaluée que chez un nombre limité d'internes, et avec le faible nombre de sessions d'entraînement organisées, il est difficile de généraliser ces résultats à l'ensemble de la population. Cela souligne la nécessité de poursuivre nos recherches en élargissant le nombre de participants et en augmentant le nombre de sessions pour améliorer la fiabilité et la validité des conclusions.

IV - Limites

Plusieurs biais ont pu affecter notre étude, à commencer par la taille réduite de l'échantillon.

Nous avons recruté seulement 13 internes volontaires exerçant dans un service d'urgence de la région du Nord-Pas-de-Calais pour la réalisation de notre étude. Les contraintes logistiques liées aux déplacements et à l'organisation des sessions d'échographie ont probablement contribué à ce faible échantillonnage. De plus, peu d'internes ont assisté aux 10 sessions d'échographie programmées, ce qui a réduit la puissance statistique de notre étude.

Parmi les autres faiblesses méthodologiques de notre étude, nous pouvons citer un probable biais dans le recueil des données. En effet, les échographies ont été réalisées sans supervision lors de la formation pratique, les participants s'entraînant entre eux dans une salle qui leur était dédiée. Cette absence de supervision a pu entraîner des erreurs d'encodage, notamment des oublis de chronométrage, biaisant ainsi l'analyse statistique.

D'autre part, au cours de notre étude, les participants se sont exercés avec des volontaires différents à chaque session et ont utilisé deux échographes distincts au cours de l'étude. La variation de l'échogénicité entre les volontaires et l'utilisation de deux appareils différents ont probablement influencé la courbe d'apprentissage des internes et la vitesse d'obtention des coupes.

Une autre faiblesse méthodologique de notre étude est l'espacement irrégulier entre les sessions pour chaque participant. Des sessions rapprochées facilitent

l'obtention de la coupe par une meilleure acquisition psychomotrice avec un gain de rapidité, tandis que des sessions trop espacées peuvent entraîner une perte des acquis, ce qui a potentiellement pu affecter la courbe d'apprentissage.

Enfin, notre population d'étude était hétérogène, comprenant des internes ayant un parcours de formation varié (nombre de semestres effectués, passages en cardiologie, participation à des cours ECMU, spécialité médicale) et donc pour certains un accès plus ou moins fréquent à l'échographie. Cela constitue un probable biais de confusion potentiel dans la courbe d'apprentissage de cette formation théorico-pratique. Un contrôle de connaissance au début de l'étude aurait dû être réalisé afin de mieux appréhender les variabilités en termes de connaissance théorique et pratique de l'échographie pour chaque participant.

Ainsi, l'acquisition de compétences chez seulement 2 internes après 10 séances d'échographie, dans une population hétérogène et de taille réduite, limite la portée statistique de notre étude et rend difficile la généralisation de nos résultats à l'ensemble des internes exerçant en service d'urgence.

Enfin, en ce qui concerne la pertinence clinique de cette formation théorique et pratique, plusieurs limites peuvent être soulignées.

Tout d'abord, cette formation ne permet pas une évaluation échographique complète d'un patient dyspnéique aux urgences. En effet, d'autres coupes échographiques sont nécessaires dans la démarche diagnostique face à une dyspnée aiguë avec notamment la recherche d'une thrombophlébite à

l'échographie veineuse aux 4 points, qui constitue un argument majeur au diagnostic d'embolie pulmonaire (48).

D'autre part, les autres coupes en ETT utiles face à une insuffisance cardiaque aiguë congestive comme l'évaluation de la FEVG ne sont pas enseignées dans notre étude.

Ensuite, notre étude n'a pas intégré l'interprétation des résultats obtenus ni leur pertinence étiologique face à un contexte clinique donné. Chez les internes 1,8,9 ayant validé la compétence au bout de 10 sessions pour certaines coupes, il en ressort dans leur questionnaire de satisfaction le fait qu'ils ne se sentent pas à l'aise d'appliquer ces compétences en échographie en situation clinique réelle. Ce manque de formation à l'interprétation des coupes limiterait donc l'utilisation de l'échographie par les internes face à une dyspnée aiguë aux urgences devant leur difficulté à intégrer les résultats obtenus en échographie dans leur réflexion diagnostique. Il serait donc recommandé d'inclure des formations plus longues et plus complètes sur le plan théorique pour permettre aux internes une meilleure consolidation des connaissances à distance de la formation, comme le suggèrent les recommandations de l'ACEP (3).

D'autre part, nous n'avons pas fixé de délai raisonnable à l'obtention des coupes au cours de notre étude. En effet, aucune donnée de la littérature ne conclut à un temps recommandé pour la réalisation d'une coupe. Notre analyse a donc potentiellement interprété des coupes d'échographies comme réussies mais obtenues avec un délai incompatible avec une situation d'urgence vitale.

Enfin, nos participants à notre étude étant également les volontaires sains sur lesquels les participants s'entraînaient à l'échographie, il s'est constitué un biais de recrutement. En effet, nos volontaires sains constituent un échantillon d'étude non représentatif de la population rencontrée aux urgences. Nos volontaires, jeunes (25-30 ans), de morphotype similaire et sans pathologies chroniques, ne reflètent pas les populations plus complexes et variées que l'on retrouve en pratique clinique, telles que les patients âgés, les femmes enceintes ou les personnes présentant des comorbidités. Cela soulève des questions quant à la validité de l'acquisition des compétences de nos participants dans des populations plus diverses.

V - Perspectives

Le bénéfice de l'utilisation de l'échographie dans la pratique quotidienne aux urgences plaide en faveur de la généralisation de son enseignement à tous les internes, ainsi qu'aux médecins déjà diplômés n'ayant pas bénéficié de cette formation.

Des études supplémentaires, dotées d'une plus grande puissance statistique, sont nécessaires pour déterminer le nombre minimal de séances d'entraînement requis pour maîtriser cette compétence. Une étude multicentrique, impliquant divers services d'urgence et un programme de formation de plus de 10 sessions pratiques, chacune encadrée par un médecin formateur en échographie, pourrait améliorer le suivi de la formation et l'acquisition des compétences. Cette

approche permettrait également d'augmenter la taille et l'homogénéité de l'échantillon, renforçant ainsi la validité des résultats.

Il serait pertinent d'inclure des volontaires sains avec des profils cliniques variés (âge, poids, grossesse, etc.) afin de diversifier les conditions d'apprentissage dans les futures analyses. De plus, des études sur les courbes d'apprentissage devraient intégrer l'interprétation des images échographiques dans une démarche diagnostique, notamment à travers des simulations sur mannequins. Cette méthode d'apprentissage permettrait aux internes de s'entraîner dans des scénarios cliniques simulés en situation d'urgence, d'analyser des images pathologiques d'un patient dyspnéique, et de développer leurs compétences diagnostiques en alliant clinique et échographie (3)

Notre étude s'est concentrée sur l'évaluation d'une part cardiaque face à une dyspnée aiguë. Cependant, d'autres coupes d'échographie pourraient être étudiées dans les futures courbes d'apprentissage, telles que l'échographie veineuse 4 points qui, face à un patient dyspnéique, permet d'incriminer une éventuelle embolie pulmonaire.

Ce programme de formation pourrait également être élargi à d'autres techniques échographiques essentielles, comme le Doppler transcrânien (DTC) pour les traumatisés crâniens graves, l'E-FAST pour les polytraumatisés, ainsi que d'autres pratiques cruciales dans la prise en charge des urgences.

Enfin, cette formation pourrait être étendue au personnel paramédical. En effet, des études ont montré que la réalisation d'échographies thoraciques par des professionnels paramédicaux en milieu préhospitalier était de qualité suffisante pour permettre de diagnostiquer correctement certaines pathologies (49). Une formation courte, spécifique à l'échographie ciblée, permettrait au personnel paramédical de réaliser des coupes d'échographies ciblées chez les patients dyspnéiques, qui seraient ensuite analysées par un médecin. Cela permettrait de pallier le manque de personnel formé à l'échographie et d'améliorer la rapidité et l'efficacité des prises en charge.

CONCLUSION

L'apprentissage d'un profil échographique ciblé pourrait permettre de dépister une part cardiaque face à une dyspnée aiguë et d'administrer un traitement adapté dès la phase aiguë. Notre étude a montré une progression de nos participants dans la réalisation de 3 coupes échographiques : E/A, E/E', échographie pulmonaire. Deux participants valident la compétence globale échographique au bout de 10 sessions. Notre travail montre qu'il faudrait environ une dizaine de sessions pour acquérir la compétence échographique mais ces résultats doivent être confirmés par d'autres études, plus longues, incluant plus de candidats et avec une meilleure puissance statistique. D'autres formations pourraient être proposées incluant la pratique de l'échographie sur des patients, l'interprétation des résultats dans une situation clinique donnée et l'apprentissage de l'échographie veineuse aux 4 points, utile dans l'évaluation du patient dyspnéique.

LISTE DES TABLES ET FIGURES

Tableau 1 : Recueil des participants constituant notre échantillon d'étude.....	33
Tableau 2 : Simulations des paramètres du LC CUSUM	40
Tableau 3 : Caractéristiques des participants de notre étude	43
Figure 1 : Courbe d'apprentissage LC CUSUM pour l'échographie pulmonaire.....	45
Figure 2 : Courbe d'apprentissage LC CUSUM pour ETT E/E'.....	47
Figure 3 : Courbe d'apprentissage LC CUSUM E/A	49
Tableau 4 : analyse des déterminants des performances dans la réalisation de coupes d'échographie et dans les connaissances théoriques.....	52
Figure 4 : Évolution du temps nécessaire pour l'obtention des différentes coupes étudiées par internes au cours des sessions.....	55
Tableau 5 : Réponses aux questions du questionnaire de satisfaction.....	56

REFERENCES

1. Gérard MORVAN et all. L'évolution de l'échographie de l'appareil moteur, Bull. Acad. Natle Méd., 2005, 189, no 4, 675-696, séance du 12 avril 2005
2. Kendall JL, Hoffenberg SR, Smith RS. History of emergency and critical care ultrasound: the evolution of a new imaging paradigm. *Cri Care Med.* 2007 May;35(5 Suppl):S126-30.
doi: 10.1097/01.CCM.0000260623.38982.83. PMID: 17446770
3. ACEP Emergency Ultrasound Section. (2017). Ultrasound Guidelines: Emergency, Point-of-Care and Clinical Ultrasound Guidelines in Medicine. *Ann Emerg Med*, 69(5), e27- e254
4. Bobbia X, Zieleskiewicz L, Pradeilles C et al (2017) The clinical impact and prevalence of emergency point-of-care ultrasound: a prospective multicenter study. *Anaesth Crit Care Pain Med* 36(6):383–389. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2017.02.008>
5. Point-of-care ultrasound improves clinical outcomes in patients with acute onset dyspnea: a systematic review and meta-analysis *Internal & Emergency Medicine* Oct 2022
<https://doi.org/10.1007/s11739-022-03126-2>
6. Arvig MD, Lassen AT, Gæde PH, et al Impact of serial cardiopulmonary point-of-care ultrasound exams in patients with acute dyspnoea: a randomised, controlled trial *Emergency Medicine Journal* 2023;40:700-707.
7. Raven W, van den Hoven EMP, Gaakeer MI, Ter Avest E, Sir O, Lameijer H, Hessels RAPA, Reijnen R, van Zwet E, de Jonge E, Nickel CH, de Groot B. The association between presenting complaints and clinical outcomes in emergency department patients of different age categories. *Eur J Emerg Med.* 2022 Feb 1;29(1):33-41. doi: 10.1097/MEJ.0000000000000860. PMID: 34406137

8. Kelly AM, Keijzers G, Klim S et al (2017) An observational study of dyspnea in emergency departments: The Asia, Australia, and New Zealand Dyspnea in emergency departments study (AANZDEM). *Acad Emerg Med* 24(3):328–336. <https://doi.org/10.1111/acem.13118>
9. Adams KF, Jr, Fonarow GC, Emerman CL, et al. Characteristics and outcomes of patients hospitalized for heart failure in the United States: rationale, design, and preliminary observations from the first 100,000 cases in the Acute Decompensated Heart Failure National Registry (ADHERE) *American heart journal*. 2005;149(2):209–216. [PubMed] [Google Scholar] [Ref list]
10. Storrow AB, Jenkins CA, Self WH, et al. The burden of acute heart failure on U.S. emergency departments. *JACC Heart failure*. 2014;2(3):269–277
11. Peacock WF, Braunwald E, Abraham W, et al. National Heart, Lung, and Blood Institute Working Group on emergency department management of acute heart failure. *J Am Coll Cardiol*, 2010; 56, 343-51. doi: 10.1016/j.jacc.2010.03.051
12. Lien CT, Gillespie ND, Struthers AD, McMurdo ME. Heart failure in frail elderly patients: diagnostic difficulties, co-morbidities, polypharmacy and treatment dilemmas. *Eur J Heart Fail*. 2002;4:91–98. doi: 10.1016/S1388-9842(01)00200-8. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
13. Metlay JP, Schulz R, Li YH, Singer DE, Marrie TJ, Coley CM, Hough LJ, Obrosky DS, Kapoor WN, Fine MJ. Influence of age on symptoms at presentation in patients with community-acquired pneumonia. *Arch Intern Med*. 1997;157:1453–1459. doi: 10.1001/archinte.157.13.1453. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
14. Ray P, Birolleau S, Lefort Y, et al (2006) Acute respiratory failure in the elderly: etiology, emergency diagnosis and prognosis. *Crit Care* 10:R82
15. Bales AC, Sorrentino MJ. Causes of congestive heart failure. Prompt diagnosis may affect prognosis. *Postgrad Med*. 1997 Jan;101(1):44-9, 54-6. doi: 10.3810/pgm.1997.01.141. PMID: 9008688.

16. Wuerz RC, Meador SA. Effects of prehospital medications on mortality and length of stay in congestive heart failure. *Ann Emerg Med.* 1992 Jun;21(6):669-74. doi: 10.1016/s0196-0644(05)82777-5. PMID: 1590605.
17. Shamsham F, Mitchell J. Essentials of the diagnosis of heart failure. *Am FamPhysician*,2000;61,1319-28. http://www.wanfangdata.com.cn/details/detail.do?_type=perio&id=JJ026218742
18. Wang CS, FitzGerald JM, Schulzer M, Mak E, Ayas NT (2005) Does this dyspneic patient in the emergency department have congestive heart failure? *JAMA* 294(15):1944–1956. <https://doi.org/10.1001/jama.294.15.1944>
19. 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
20. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J (2017) Accuracy of lung ultrasonography in the diagnosis of pneumonia in adults: systematic review and meta-analysis. *Chest* 151(2):374–382. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.10.039>
21. Pivetta E, Goffi A, Lupia E, Tizzani M, Porrino G, Ferreri E, et al. Lung ultrasound-implemented diagnosis of acute decompensated heart failure in the ED: a SIMEU multicenter study. *Chest* 2015;148(1):202–10.
22. Maw AM, Hassanin A, Ho PM et al (2019) Diagnostic accuracy of point-of-care lung ultrasonography and chest radiography in adults with symptoms suggestive of acute decompensated heart failure: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open* 2(3):e190703. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.0703>
23. Yousefifard M, Baikpour M, Ghelichkhani P, Asady H, Shahsavari Nia K, Moghadas Jafari A, et al. Screening performance characteristic of ultrasonography and radiography in detection of pleural effusion; a meta-analysis. *Emerg (Tehran)* 2016;4(1):1-10.

24. Alrajab S, Youssef AM, Akkus NI, Caldito G (2013) Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Crit Care* 17(5):R208. <https://doi.org/10.1186/cc13016>
25. Cortellaro F, Colombo S, Coen D, Duca PG (2012) Lung ultrasound is an accurate diagnostic tool for the diagnosis of pneumonia in the emergency department. *Emerg Med J* 29:19–23
26. 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 Med*. 2012;38(4):577-91.
27. Rocco M, Carbone I, Morelli A, et al (2008) Diagnostic accuracy of bedside ultrasonography in the ICU: feasibility of detecting pulmonary effusion and lung contusion in patients on respiratory support after severe blunt thoracic trauma. *Acta Anaesthesiol Scand* 52:776–84.
28. X.Bobbia, Dyspnée aiguë : échographie ou biomarqueurs. Pour l'échographie, SFAR, 2015
29. 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
30. Khalife WI, Mukku VK, Albaeni A, Esclovon J, Elbadawi A, Almahmoud MF (2021) Role of pocket ultrasound in assessing intravascular volume to guide management in heart failure patients with renal impairment. *Cardiol Ther* 10(2):491–500. <https://doi.org/10.1007/s40119-021-00229-3>
31. Cardinale L, Volpicelli G, Binello F et al (2009) Clinical application of lung ultrasound in patients with acute dyspnea: differential diagnosis between cardiogenic and pulmonary causes. *Radiol Med* 114(7):1053–1064. <https://doi.org/10.1007/s11547-009-0451-1>
32. Raheja R, Brahmavar M, Joshi D, Raman D (2019) Application of lung ultrasound in critical care setting: a review. *Cureus*. 11(7):e5233. <https://doi.org/10.7759/cureus.5233>

33. Martindale JL, Wakai A, Collins SP, et al. Diagnosing Acute Heart Failure in the Emergency Department: A Systematic Review and Meta-analysis. *Academic emergency medicine: official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2016;23(3):223–242. [PubMed] [Google Scholar] [Ref list]
34. Point-of-care ultrasonography in patients admitted with respiratory symptoms: a single-blind, randomised controlled trial Laursen, Christian B et al. *The Lancet Respiratory Medicine*, Volume 2, Issue 8, 638 - 646
35. Place de l'échographie clinique en médecine d'urgence, doi 10.3166/afmu-2019-0150, BOBBIA
36. Premier niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé. 2016
37. Dokainish, H · Nguyen, J · Sengupta, R .New, simple echocardiographic indexes for the estimation of filling pressure in patients with cardiac disease and preserved left ventricular ejection fraction *Echocardiography*. 2010; 27:946-953
38. Correlation Between Tissue Doppler Imaging Method (E/e') and Invasive Measurements of Left Ventricular Filling Pressures: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression Orso, Daniele et al. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, Volume 0, Issue 0
39. Bustam A, Noor Azhar M, Singh Veriah R, et al (2014) Performance of emergency physicians in point-of-care echocardiography following limited training. *Emerg Med J* 31:369–73
40. Bobbia X, Hansel N, Muller L, Claret PG, Moreau A, Genre Grandpierre R, Chenaitia H, Lefrant JY, de La Coussaye JE. Availability and practice of bedside ultrasonography in emergency rooms and prehospital setting: a French survey. *Ann Fr Anesth Reanim*. 2014 Mar;33(3):e29-33. doi: 10.1016/j.annfar.2013.12.010. Epub 2014 Jan 20. PMID: 24456614
41. Gross JS, Neufeld RR, Libow LS, Gerber I, Rodstein M. Autopsy study of the elderly institutionalized patient. Review of 234 autopsies. *Arch Intern*

- Med. 1988;14:173–176. doi: 10.1001/archinte.148.1.173. [PubMed]
[CrossRef] [Google Scholar]
42. Kumar R, Gandhi SK, Little WC. Acute heart failure with preserved systolic function. *Critical care medicine*. 2008;36(1 Suppl):S52-6
 43. 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.
 44. Riishede, M., Lassen, A.T., Baatrup, G. et al. Point-of-care ultrasound of the heart and lungs in patients with respiratory failure: a pragmatic randomized controlled multicenter trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 29, 60 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13049-021-00872-8>
 45. F. Adnet, Échographie en traumatologie pour l'urgentiste : de l'enseignement à la pratique, *Réanimation* 13 (2004) 465–470, doi:10.1016/j.reaurg.2004.09.002, tableau 1
 46. Maxime Aurian, Courbe d'apprentissage par LC-CUSUM de l'échographie d'urgence chez les internes des hôpitaux des armées (spécialité médecine générale) : impact sur la formation opérationnelle, 2019
 47. Juliette Bacquet, Evaluation de la courbe d'apprentissage d'un protocole échographique (profil mitral et échographie pleuro-pulmonaire) dans le cadre de l'étude READ chez des opérateurs novices
 48. Lichtenstein, D.A. Lung ultrasound in the critically ill. *Ann. Intensive Care* 4, 1 (2014). <https://doi.org/10.1186/2110-5820-4-1>
 49. Quality of focused thoracic ultrasound performed by emergency medical technicians and paramedics in a prehospital setting: a feasibility study Pietersen10.1186/s13049-021-00856-8

ANNEXE 1 : DIAPORAMA DE LA FORMATION THEORIQUE

Le doppler en situations d'urgences ?

Est-ce pertinent ?



Plan

- Hémodynamique
- Doppler mitral
- Doppler aortique
- Doppler tissulaire
- Echo contextuelle

Hémodynamique

- L'analyse hémodynamique avec échographie cardiaque est pertinente dans état de choc & détresses respiratoires aiguës
- Consensus ACEP & ASE
- Focus Cardiac Ultrasound > Clinique
- Doit être précoce
- Toujours le même message :
« **Répondre précisément à une question précise** »

Rappels


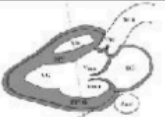









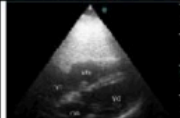

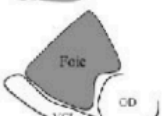

Coups en échocardiographie	Position de la sonde, le point vert représentant le curseur de la sonde	Structures anatomiques visibles	Image échocardiographique
<i>Coupe parasternale grand axe</i>			
<i>Coupe parasternale petit axe</i>			
<i>Coups apicales</i>			
<i>Coupe sous-costale 4 cavités</i>			
<i>Incidence « vaine cave inférieure »</i>			

Figure 3 : Coupes d'échocardiographie utiles en médecine d'urgence

Dr X Bobbia , Nice

Doppler mitral

- Flux de remplissage diastolique du VG (flux positifs)
- Doppler pulsé,
- Onde E (remplissage passif) Onde A (contraction auriculaire)
- mesures les vitesses
- Difficultés car onde E et A varient en fct Age et compliance VG

Qualités de mesures Doppler mitral

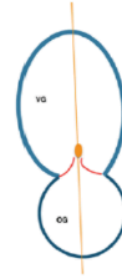
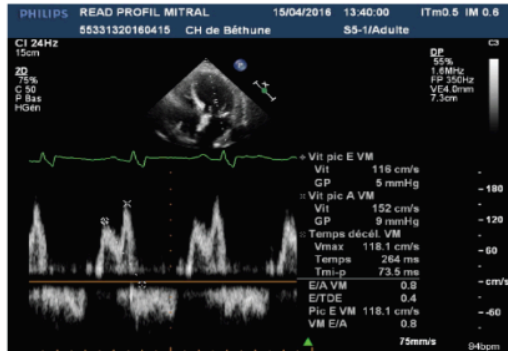
- 1) Sonde phase array
- 2) ECG branché en continu
- 3) Fenêtre apicale 4 cavités
- 4) Tir doppler passant par apex VG
- 5) Échantillon de mesures à extrémités des feuillets mitraux
- 6) Gains et filtres au minimum
- 7) Obtenir image spectrale la plus nette possible

MESURES

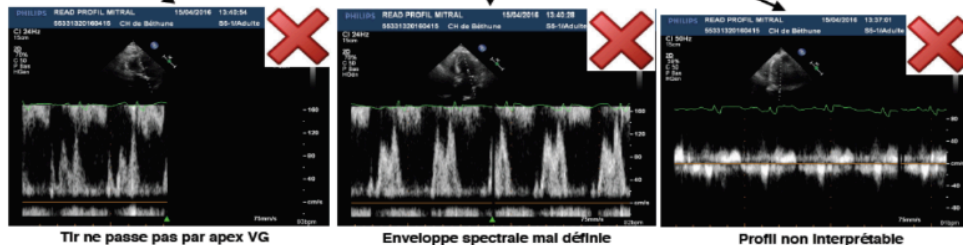
Bord externe image spectrale +++
Sur un seul et même cycle
Mesures vitesses A, E et TDE
Acquisition image avec résultat



Tir passant par apex VG
ECG branché
Enveloppe spectrale bien définie
Mesures sur bord externe



A particulièrement éviter...



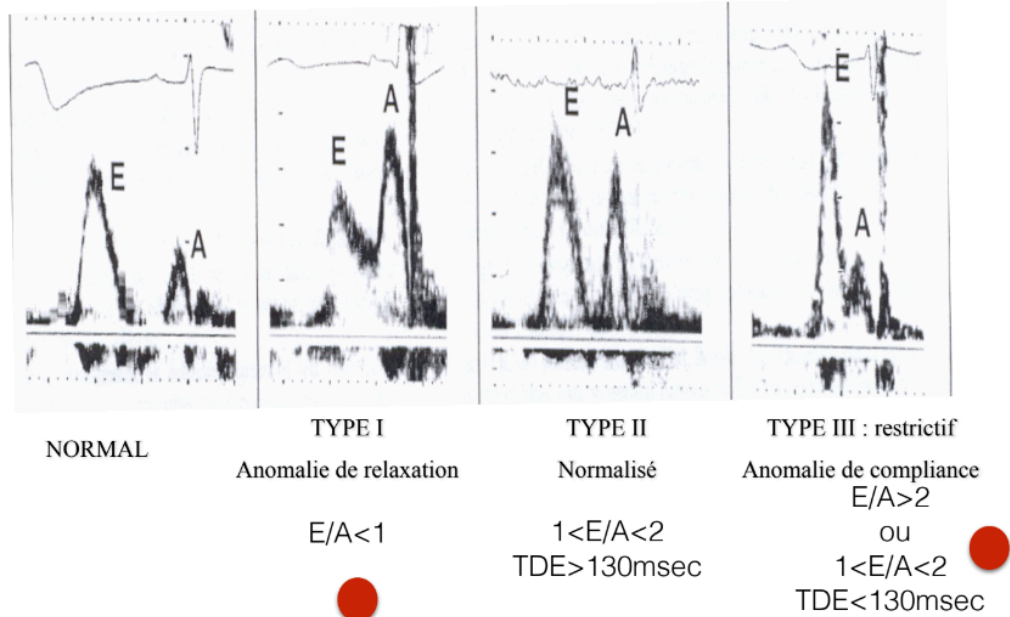
Valeurs normales

Âge (ans)	2-20	21-40	41-60	>60
Em (cm/s)	88±14	75±13	71±13	71±11
Am (cm/s)	49±12	51±11	57±13	75±12
Em/Am	1.88±0.45	1.53±0.40	1.28±0.25	0.96±0.18
TD de Em (ms)	149±19	166 ±14	181 ±19	200±29

FLUX TRANSMITRAL

Classification de Appleton

(J Am Coll Cardiol 1988;12:426-40)



Authors	Title	Journal, Year	Conclusions
Ray et al.	Acute respiratory failure in the elderly: etiology, emergency diagnosis and prognosis.	Crit Care. 2006	Inappropriate initial treatment in the emergency room was associated with increased mortality in elderly patients with acute respiratory failure.
Januzzi et al.	The N-terminal Pro-BNP Investigation of Dyspnoea in the Emergency department (PRIDE) study.	Am J Cardiol. 2005	NT-proBNP measurement is a valuable addition to standard clinical assessment for the identification and exclusion of acute CHF in the emergency department setting.
McCullough et al.	B-Type Natriuretic Peptide and Clinical Judgment in Emergency Diagnosis of Heart Failure: Analysis From Breathing Not Properly (BNP) Multinational Study.	Circulation. 2002	The evaluation of acute dyspnoea would be improved with the addition of BNP testing to clinical judgment in the emergency department.
Rutten et al.	Recognising heart failure in elderly patients with stable chronic obstructive pulmonary disease in primary care: cross sectional diagnostic study.	BMJ. 2005	A limited number of items easily available from history and physical examination, with addition of NT-proBNP and electrocardiography, can help general practitioners to identify concomitant heart failure in

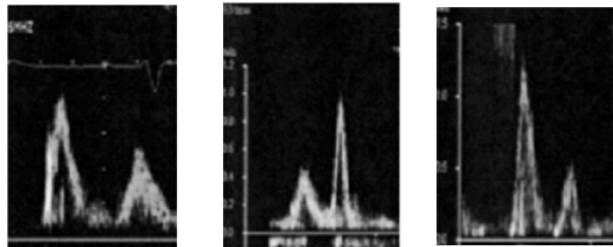
			individual patients with stable COPD.
Logeart et al.	Comparative value of Doppler echocardiography and B-type natriuretic peptide assay in the etiologic diagnosis of acute dyspnea.	J Am CollCardiol. 2007	Bedside BNP measurement and Doppler echocardiography are both useful for establishing the cause of acute dyspnoea. However, Doppler analysis of the mitral inflow pattern was more accurate, particularly in patients with intermediate BNP levels or "flash" pulmonary edema.
Feissel et al.	Clinical Relevance of Echocardiography in Acute Severe Dyspnoea.	J Am Soc Echocardiogr. 2009	Mitral inflow and tissue doppler analysis with E/EDT, E/EA, and E/Vp appear equally useful to distinguish acute dyspnoea due to left-heart dysfunction from that of pulmonary origin. However, E/EDT and E/EA can be considered the best indices with regard to feasibility.
Lichtenstein et al.	A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact.	Intensive Care Med. 1998	Ultrasound detection of the comet-tail artefact arising from the lung wall may help distinguish pulmonary oedema from COPD.
Volpicelli et al.	Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar-interstitial syndrome.	Am J Emerg Med. 2006	Comet tail artifact B line is a lung ultrasound sign reasonably accurate for diagnosing alveolar-interstitial Syndrome at bedside.
Liteplo et al.	Emergency Thoracic Ultrasound in the Differentiation of the Etiology of Shortness of Breath (FLOODS): Sonographic B-lines and N-terminal Pro-brain-type Natriuretic Peptide In Diagnosing Congestive Heart Failure.	AcadEmerg Med. 2009	Bedside thoracic US for B-lines can be a useful test for diagnosing congestive heart failure, and can be used alone or can provide additional predictive power to NT-ProBNP in the immediate evaluation of dyspneic patients presenting to the emergency department.

Dyspnée aiguë

- Challenge +++ (sujet âgés)
- Distinguer part cardiaque
- 50% d'erreurs senior ou junior
- Traitement inapproprié : augmente morbi mortalité

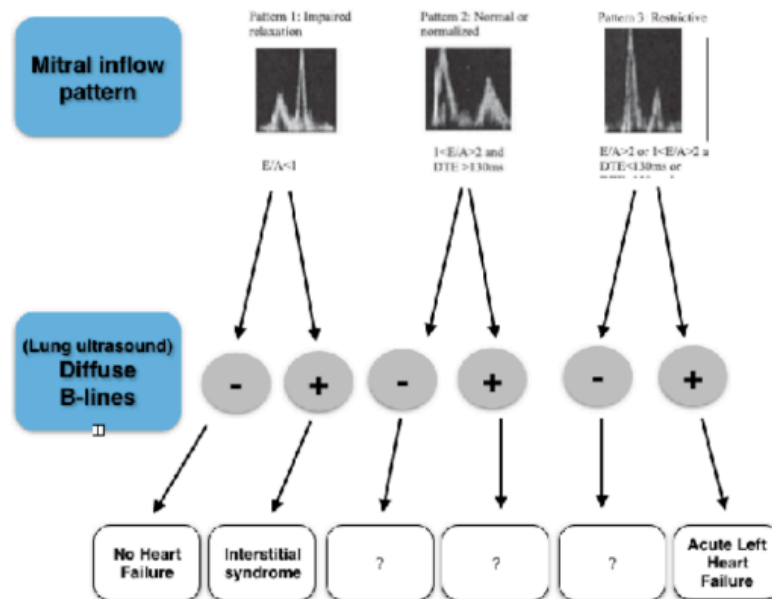
Dyspnée aiguë Valeur ajoutée échocardiographie

- Doppler mitral



- Echo pulmonaire (recherche lignes B diffuses)

Diagnosis of Acute Left Heart Failure (The READ protocol)



- Rester pertinent
- Ne pas perdre de temps !
- Toujours intégrée dans une démarche clinique (on se pose une question, on recherche un image ou une mesure cible)

Doppler Tissulaire

- en cas de FA, absence onde A profil mitral
- Doppler pulsé
- Coupe apicale 4 cavités
- fenêtre anneau mitral bord latéral 5mm au dessus insertion valve

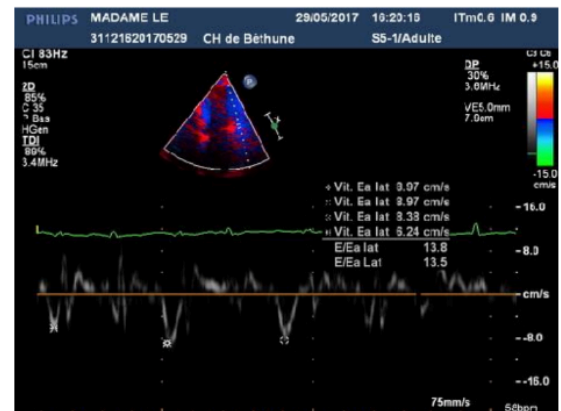
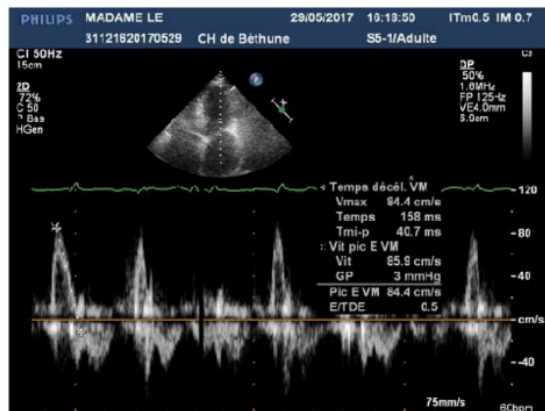
Problématique

- Fréquence plus élevée que prévue
- Prévalence générale 20% patients >80 ans
- mais environ 80% patients > 80 ans arrivant pour dyspnée aiguë

Modifications conceptuelles

- Modifie le profil mitral (disparition onde A) donc E/A non utilisable
- on utilise TDE
 - >220 msec pertinent pour exclure I cardiaque (sen 100%, spe100%)
 - < 160msec en faveur mais insuffisant , nécessite complément avec DTI (qqes études discordantes)
 - plus performant si alteration Fe
- Evaluation pertinente et reconnue : Doppler tissulaire
 - $E/e' > 15$: très en faveur I cardiaque

Pratique..



Bibliographie

- 1) Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging.
Nagueh SF, Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2016 Dec;17(12):1321-1360
- 2) Nagueh SF, Kopelen HA, Quinones MA. Assessment of left ventricular filling pressures by Doppler in the presence of atrial fibrillation. Circulation 1996;94:2138-45.
95.
- 3) Temporelli PL, Scapellato F, Corra U, Eleuteri E, Imparato A, Giannuzzi P. Estimation of pulmonary wedge pressure by transmitral Doppler in patients with chronic heart failure and atrial fibrillation. Am J Cardiol 1999;83:724-7.
- 4) Determinant factors of plasma B-type natriuretic peptide levels in patients with persistent nonvalvular atrial fibrillation and preserved left ventricular systolic function.
Baba O1, Izuhara M, Kadota S, Mitsuoka H, Shioji K, Uegaito T, Mutsuo S, Matsuda M.
J Cardiol. 2009 Dec;54(3):402-8. doi: 10.1016/j.jjcc.2009.06.008. Epub 2009 Aug 5.
- 5) Comparison of transthoracic Doppler echocardiography and natriuretic peptides in predicting mean pulmonary capillary wedge pressure in patients with chronic atrial fibrillation. J Am Soc Echocardiogr 2001;14:1080—7.

ANNEXE 2 : CRITERES DE QUALITE ECHOGRAPHIE PULMONAIRE



Etude READ
Rapid emergency Echography for Acute Dyspnea
 Besançon, Béthune, Clermont-Ferrand, Pau, Strasbourg, Toulon, Toulouse.
 PHRC National 2014



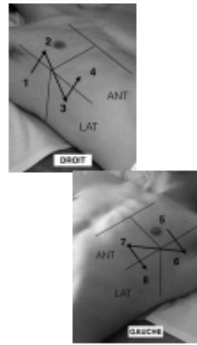
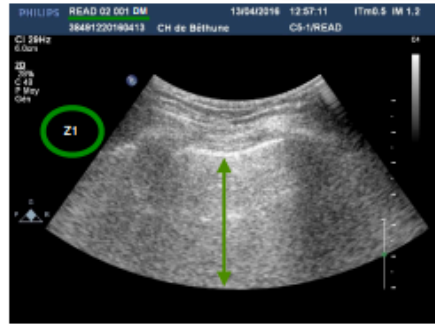
ECHO PULMONAIRE

- 1) Sonde abdominale
- 2) Identification patient :
 READI_0 | | | | | | | | | |
N° du centre N° du sujet Initiales Nom-Prénom
- 3) Image native (non harmonique)
- 4) Suppression de tous les filtres
- 5) Sonde perpendiculaire aux côtes
- 6) Centrer l'espace intercostal sur écran

- 7) Réglages profondeur +++
 a. Laisser 5 cm en dessous de la ligne pleurale
 b. Max 10 cm
- 8) Réglages gains
 c. Gain général : ajuster brillance, limiter la saturation
 d. Gain étagé : obtenir image homogène sur la totalité de l'écran
- 9) Légende : Z1, Z2, Z3....
- 10) Stabiliser l'image
- 11) Enregistrer clip 5" sur 8 zones thoraciques



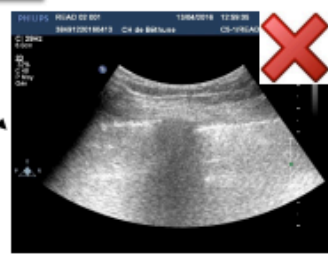
Identification patient
 Centrée
 Homogène
 Non saturée



Les 4 péchés capitaux... A éviter



Espace insuffisant sous la ligne pleurale



Espace intercostal non centré



Image trop saturée

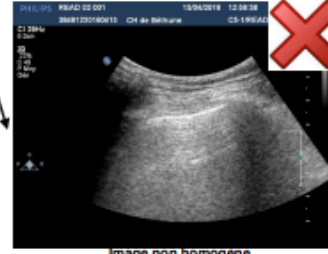
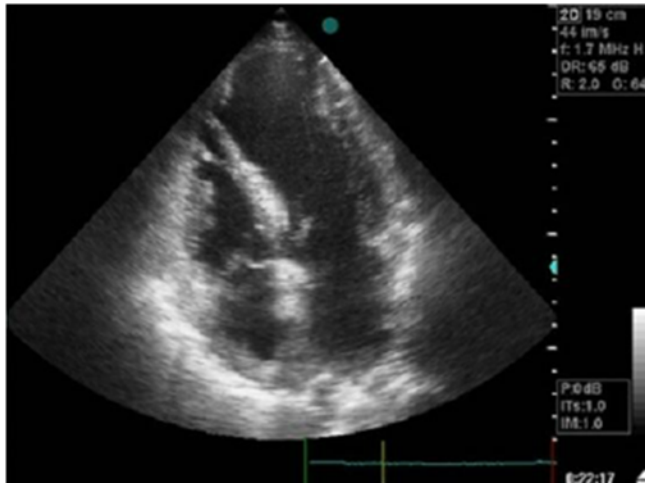


Image non homogène

Pour toute question technique
 Dr Alain-Eric Dubart
 03.21.64.42.81
adubart@ch-bethune.fr

ANNEXE 4 : QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DES CONNAISSANCES A LA FIN DE LA FORMATION PRATIQUE

1- Concernant cette coupe d'échographie :



- A) Il s'agit d'une coupe apicale grand axe
- B) Il s'agit de la coupe préférentielle pour évaluer l'existence d'une éventuelle tamponnade
- C) Il s'agit de la coupe préférentielle pour évaluer les pressions de remplissage
- D) Il existe une dilatation du ventricule droit sur cette coupe

2- Concernant le positionnement de la sonde cardiaque pour obtenir une coupe cardiaque 4 cavités

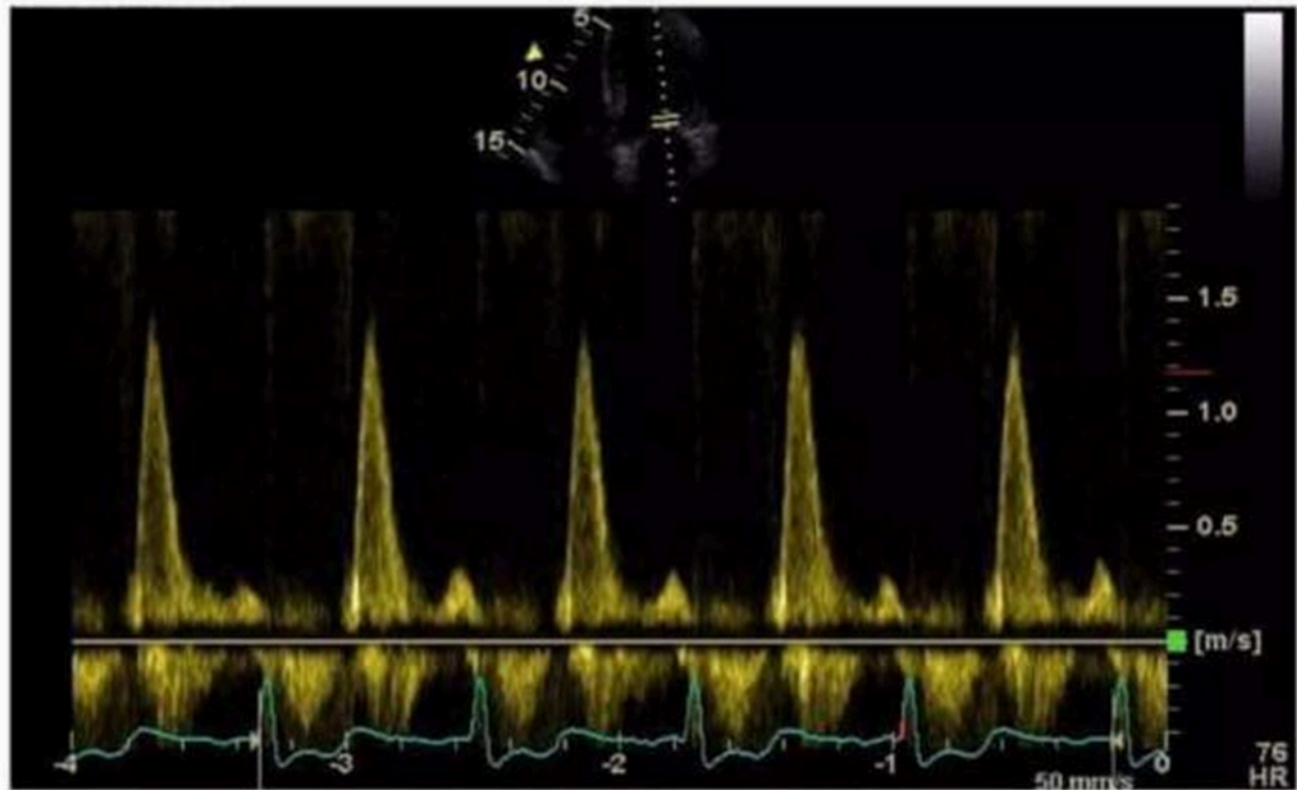
- A) Sous la xiphoïde avec le curseur lumineux tourné vers la gauche
- B) A l'apex, sous le mamelon, avec le curseur lumineux vers la gauche du patient
- C) A l'apex, sous le mamelon, avec le curseur lumineux vers la droite du patient
- D) Je ne sais pas

3- Comment est l'onde A d'un patient en FA

- A) L'onde A est toujours inférieure à l'onde E chez un patient en FA
- B) L'onde A n'existe pas

C) Je ne sais pas

4- Que pouvez-vous dire concernant ce rapport E/A



- A) Il s'agit d'un profil normal
- B) Les pressions de remplissage du ventricule gauche sont élevées
- C) Je ne sais pas

5- Concernant l'évaluation des pressions de remplissage du ventricule gauche

- A) On réalise sur une coupe 4 cavités une mesure du TAPSE pour évaluer les pressions de remplissage du gauche
- B) Le profil du flux mitral est dépendant de l'âge du patient
- C) Le profil du flux mitral est dépendant de la fréquence cardiaque
- D) Je ne sais pas
- E) On réalise sur une coupe 4 cavités une mesure du TAPSE pour évaluer les pressions de remplissage du gauche

6 – Quels paramètres attendez-vous à retrouver à l'ETT chez un patient présentant une insuffisance cardiaque aiguë congestive ?

- A) $E/A > 2$
- B) $E/A < 1$
- C) $E/e' > 15$
- D) Je ne sais pas

7 - Les arguments en faveur d'un cœur pulmonaire aigu à l'ETT

- A) Un rapport $VD/VG > 0.6$
- B) Un septum paradoxal
- C) Un rapport $E/A < 1$
- D) Je ne sais pas

8 – Concernant l'échographie pulmonaire

- A) La présence de ligne B exclut un pneumothorax
- B) Les lignes B sont pathognomoniques de l'OAP
- C) Les lignes A, verticales, constituent un artefact de réverbération
- D) Je ne sais pas

9 – Quels signes échographiques attendez-vous à retrouver en cas d'exacerbation aiguë d'asthme ?

- A) Un glissement pleural
- B) Un point poumon
- C) Plusieurs lignes B bilatérales
- D) Je ne sais pas

10 – Quelle est la coupe la plus adaptée pour l'étude des pressions de remplissage du ventricule gauche ?

- A) Coupe parasternale grand axe
- B) Coupe parasternale petit axe
- C) Coupe 4 cavités
- D) Coupe sous xyphoïdienne
- E) Je ne sais

AUTEUR(E) : Nom : DAGOT

Prénom : Anne-Sophie

Date de Soutenance : 17/10/2024

Titre de la thèse : Courbe d'apprentissage en échographie cardiaque et pulmonaire dans le cadre du diagnostic d'une dyspnée aiguë d'internes novices exerçant aux urgences

Thèse - Médecine - Lille 2024

DES + FST/option : Médecine d'urgence

Mots-clés : Échocardiographie transthoracique – Échographie pulmonaire – Courbe d'apprentissage

Résumé :

Contexte : L'échographie pulmonaire couplée à l'analyse du profil mitral est cruciale dans la prise en charge d'un patient présentant une dyspnée aiguë. Mais trop peu de praticiens y sont formés, et par conséquent reste faiblement utilisé. Notre étude a pour objectif d'analyser la courbe d'apprentissage d'internes novices exerçant aux urgences à cet examen.

Matériel et Méthodes : 13 internes novices urgentistes ont été inclus dans cette étude, dont 10 internes de médecine d'urgence et 3 internes de médecine générale. Après une courte formation théorique, ils ont réalisé à 10 reprises sur volontaire sain les mesures suivantes : E/A, E/E', échographie pulmonaire dans le quadrant antérosupérieur. Les images ont été relues par un évaluateur en aveugle, qui les a notées comme des réussites ou des échecs. Une courbe d'apprentissage a ensuite été modélisée pour chaque interne par la méthode LC CUSUM. Les participants ont répondu à un questionnaire de connaissance à la fin de notre étude.

Résultats : La courbe d'apprentissage des internes réalisée par la méthode LC-CUSUM, avec une limite h fixée à 1.25, montre que 2 participants ont acquis la compétence globale au bout des 10 sessions. La réalisation seule de l'échographie pulmonaire, du E/A et du E/E a été acquise pour chacune d'entre elles par 4 participants au bout des 10 sessions.

Conclusion : Notre étude a montré une progression notable après une formation théorique et pratique à l'échographie couplée cardiaque et pulmonaire dans le diagnostic d'une dyspnée aiguë. L'apprentissage psychomotrice de ces différentes coupes nécessiterait environ 10 sessions d'entraînement. D'autres études impliquant un suivi prolongé et un nombre accru de participants seraient nécessaires pour valider nos résultats.

Composition du Jury :

Président :

Monsieur le Professeur Éric WIEL

Assesseurs :

Monsieur le Docteur Florent HENIN

Monsieur le Docteur Alexandre ANDRIES

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Alain-Éric DUBART

