



**HAL**  
open science

# Courbe d'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique chez les internes en médecine d'urgence du CHU de Nantes

Anaïs Herrault

► **To cite this version:**

Anaïs Herrault. Courbe d'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique chez les internes en médecine d'urgence du CHU de Nantes. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03867310

**HAL Id: dumas-03867310**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03867310>**

Submitted on 23 Nov 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

#### IMPORTANT : OBLIGATIONS DE LA PERSONNE CONSULTANT CE DOCUMENT

Conformément au *Code de la propriété intellectuelle*, nous rappelons que le document est destiné à un **usage strictement personnel**. Les "analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information" sont autorisées sous réserve de mentionner les noms de l'auteur et de la source (article L. 122-4 du *Code de la propriété intellectuelle*). Toute autre représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit, est illicite.

---

De ce fait, nous vous rappelons notamment que, **sauf accord explicite** de l'auteur de la thèse ou du mémoire, **vous n'êtes pas autorisé** à rediffuser ce document sous quelque forme que ce soit (impression papier, transfert par voie électronique, ou autre). Tout contrevenant s'expose aux peines prévues par la loi.

**NANTES UNIVERSITÉ**

---

**FACULTÉ DE MÉDECINE**

---

Année : 2022

N°

**THÈSE**

pour le

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

(DES de Médecine d'Urgence)

par

Anaïs HERRAULT

---

Présentée et soutenue publiquement le 29/09/2022

---

Courbe d'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique chez les internes en  
médecine d'urgence du CHU de Nantes

---

Président : Monsieur le Professeur Emmanuel MONTASSIER

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Philippe LE CONTE

## REMERCIEMENTS

A Monsieur le **Professeur Emmanuel Montassier**, merci de me faire l'honneur de présider mon jury, et d'encadrer avec bienveillance et enthousiasme la formation des internes en médecine d'urgence de Nantes.

A Monsieur le **Professeur Philippe Le Conte** ayant dirigé cette thèse. Merci de m'avoir proposé ce sujet, pour lequel cela a été un plaisir de s'investir pendant deux ans, et de m'avoir guidée tout au long de ce travail. Merci pour votre bienveillance, votre gentillesse et votre pédagogie. Et surtout un grand merci pour la formation des internes en médecine d'urgence à Nantes ; vous nous avez sans nul doute transmis une certaine passion pour l'échographie.

A Monsieur le **Docteur Quentin Le Bastard**, merci pour ta disponibilité, tes conseils et tous les cours dispensés avec dynamisme (et souvent un trait d'humour) à notre promotion.

A Monsieur le **Docteur Christophe Berranger**, merci pour vos mots encourageants dès le début de ce travail. Merci également pour votre participation enthousiaste au module hémodynamique de nos cours d'échographie.

A Monsieur le **Professeur David Biau** et Monsieur le **Docteur Pierre-Alban Bouché**, merci pour votre disponibilité quant à mes nombreuses questions sur le LC-CUSUM. Votre aide a été précieuse.

A mes **cointernes**, je tiens bien évidemment à remercier plus particulièrement ceux qui ont participé aux données de ce travail (et encore plus Julie, Mathilde H, Apolline, Sami, Léa P et Mathilde P). Mais au-delà de la thèse, merci à toute cette promotion géniale, je me sens réellement chanceuse d'avoir pu partager l'expérience de l'internat à vos côtés.

A mes **amies de l'internat** : Mathilde H., Julie, Kristell, Mathilde P., merci d'avoir été présentes durant ces trois années, pour votre écoute, pour les doutes partagés, puis les « on va y arriver ». Merci pour les apéros clandestins !

A **Juliette**, ma meilleure amie depuis toujours. Merci d'être là depuis tant d'années, et de l'être restée durant ces dernières années bien que l'on ne se soit jamais aussi peu vues... Il me tarde de retourner en Italie ou ailleurs avec toi à rire de tout et de rien.

A ma **belle-famille**, qui m'a accueillie à bras ouverts depuis trois ans maintenant. Merci d'avoir été présents durant les bons et les mauvais moments de cet internat, pour votre écoute bienveillante et pour tous ces beaux moments passés à Fouras.

A mes **parents**, qui ont su à tour de rôle et à différents instants m'apporter les bons mots, ceux qui m'ont permis de me relever à chaque fois et ce dans toute épreuve de vie. Vous avoir tous les quatre avec moi, en ce jour particulier, est la plus belle des récompenses.

A mes **sœurs** : Cécile, Camille, Marie-Lou, Lisa, Ambre et Noémie : soutiens indéfectibles dans tous les moments que j'ai vécus, même loin des yeux. Je suis fière de vous, fière de nous : chacune fait son bout de chemin, tous différents, mais chaque retrouvaille sont

des moments que je chéris de plus en plus. Merci à mes beaux-frères de les rendre heureuses. Et à Alice, merci d'illuminer nos visages de bonheur depuis quelques mois déjà !

Enfin, à toi, **Vincent**, mon compagnon de tous les jours, même quand tu n'es pas physiquement à mes côtés. Merci pour ton soutien sans faille et ton aide durant ce travail (notamment les heures passées à comprendre le fameux LC-CUSUM...). Merci pour ta compréhension, merci d'avoir accepté tous ces sacrifices. Je n'en serais pas là sans toi, cette réussite est la tienne.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>5</b>
1.1	Contexte .....	5
1.2	L'ETT.....	5
1.3	Qu'est-ce que l'ITV sous aortique ? .....	6
1.4	Implication de l'ITV sous aortique dans la pratique des médecins urgentistes .....	7
1.5	Objectifs.....	8
<b>2</b>	<b>Méthodes .....</b>	<b>9</b>
2.1	Type d'étude .....	9
2.2	Considérations éthiques .....	9
2.3	Population d'étude.....	9
2.4	Formation nécessaire.....	9
2.5	Patients.....	9
2.6	Recueil des données .....	9
2.7	Analyse statistique .....	11
<b>3</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>14</b>
3.1	Urgentistes formés.....	14
3.2	Patients.....	15
3.3	Comité de relecture .....	17
3.4	Objectif principal .....	17
3.5	Objectifs secondaires .....	18
<b>4</b>	<b>Discussion.....</b>	<b>21</b>
4.1	Synthèse .....	21
4.2	Impact de l'analyse statistique .....	23
4.3	Limites .....	23
4.4	Perspectives .....	24
<b>5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Images .....</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Tableaux .....</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>Annexe 1 : Formulaire de recueil des données .....</b>	<b>28</b>
<b>10</b>	<b>Annexe 2 : Courbes d'apprentissage LC-CUSUM.....</b>	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>38</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte

Depuis l'invention dans les années 1950 du premier appareil à ultrasons et son instauration dans les années 1970 dans la pratique clinique de diverses spécialités médicales, l'essor de l'échographie clinique fut tel que l'American College of Emergency Physicians et la Society of Academic Emergency Medicine publièrent deux articles reconnaissant l'utilité de l'échographie dans la prise en charge des patients aux urgences. [1]

Depuis, de nombreuses autres preuves scientifiques ont été accumulées et s'accordent toutes pour affirmer l'intérêt grandissant de l'utilisation de l'échographie dans la pratique des médecins urgentistes et de l'importance de l'éducation des jeunes médecins à la pratique échographique. [2]

Ce qui est défini comme l'échographie clinique en médecine d'urgence (ECMU), doit être un examen échographique :

- Réalisé dans le but d'améliorer la prise en charge des patients
- Focal et répondant à une question binaire
- Se réalisant au lit du patient
- Réalisé rapidement
- Dont l'apprentissage est rapide
- Devant fournir des informations utiles quant à la prise en charge ultérieure [2]

Bien que la majorité des services d'urgence disposent aujourd'hui d'un échographe, selon les recommandations françaises, toutes le devraient, de même que toutes les unités mobiles hospitalières du SMUR. Des échographes de mieux en mieux adaptés à la pratique de l'ECMU arrivent sur le marché. [3]

Si toutes les structures d'urgence doivent être équipées d'un échographe, les médecins urgentistes doivent remplir leur part du contrat : ainsi, l'utilisation de l'ECMU se généralise grâce à la formation des nouveaux internes de médecine d'urgence.

L'échographie s'étant au fur et à mesure imposée comme étant indispensable, la Société française de médecine d'urgence (SFMU) a donc dû élaborer des recommandations concernant un premier niveau de compétence d'ECMU et notamment sur les modalités d'enseignement. Il est acté dans ces recommandations qu'un urgentiste doit être capable d'intégrer son échographie dans un algorithme de prise en charge d'un état de choc ainsi que d'évaluer la fraction d'éjection du ventricule gauche de façon empirique. [3]

## 1.2 L'ETT

L'échocardiographie transthoracique (ETT) est un moyen diagnostique de plus en plus utilisé dans les services d'urgence du fait de sa réalisation au lit du patient, de son absence d'irradiation et de sa rapidité en termes de réponse diagnostique.

Il a été prouvé que cette dernière identifie la majorité des causes d'instabilité hémodynamique chez les patients des services d'urgence et de soins intensifs. L'impact

thérapeutique et pronostique chez ces patients est bien évidemment plus important en identifiant les mécanismes de ces instabilités. [4]

La pratique de l'échocardiographie aux urgences peut notamment influencer à plus de 50% la prise en charge des patients. [5]

Une ETT est réalisée à l'aide d'un appareil échographique relié à une sonde appelée sonde cardiaque. Le patient doit être idéalement en décubitus latéral gauche mais le décubitus dorsal est également possible. Il existe 4 coupes échographiques d'intérêt pour une ETT :

- Coupe parasternale grand axe (a) : la sonde est alors positionnée sur une ligne reliant l'apex du cœur au tiers médian de la clavicule droite ; le repère de la sonde pointe vers l'épaule droite du patient.
- Coupe parasternale petit axe (b) : obtenue en faisant faire une rotation de quasiment 90° à la sonde depuis une coupe parasternal grand axe, le repère de la sonde pointant donc vers l'épaule gauche du patient.
- Coupe 4 cavités (c) : la sonde est placée en regard de l'apex cardiaque, en sous axillaire gauche ; le repère est pointé vers la gauche du patient.
- Coupe sous-costale (d) : la sonde est placée dans le creux épigastrique, horizontalement, quasiment parallèlement à la peau du patient, le repère pointant vers la gauche du patient. En effectuant une rotation antihoraire de la sonde, il est possible de faire dérouler la veine cave inférieure longitudinalement. [6]

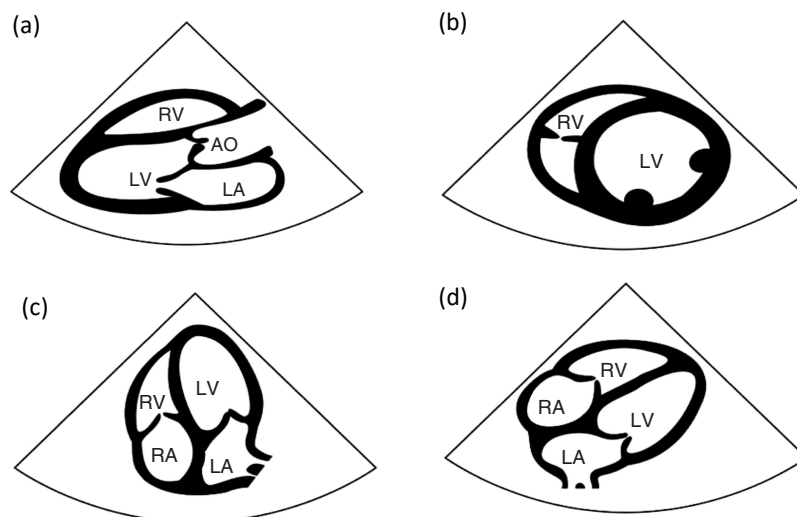


Figure 1 : Représentation des 4 coupes en ETT

### 1.3 Qu'est-ce que l'ITV sous aortique ?

Le terme ITV signifie « intégrale temps-vitesse ». Il s'agit d'un spectre Doppler, obtenu à partir d'une coupe 5 cavités (elle-même réalisée à partir d'une coupe 4 cavités en inclinant légèrement la sonde vers le haut), en utilisant le mode Doppler pulsé et en plaçant le curseur juste sous la chambre de chasse aortique, à environ 1cm des valves aortiques et en traçant le volume spectral situé sous la ligne de base. [7]



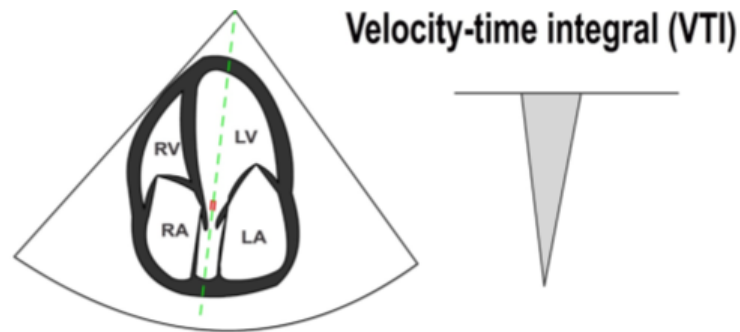


Figure 2 : Représentation de la coupe 5 cavités

Un spectre Doppler permet de représenter la vitesse du flux sanguin en fonction du temps. Un seul spectre Doppler nous informe donc sur la vitesse d'un flux et sur la direction de ce flux. Un flux sanguin se dirigeant vers la sonde apparaîtra au-dessus de la ligne de base et celui s'éloignant de la sonde apparaîtra en dessous de la ligne. Plusieurs modes Doppler existent en ETT :

- Doppler couleur
- Doppler continu
- Doppler pulsé
- Doppler tissulaire

Celui nous intéressant pour la mesure d'une ITV sous aortique est le Doppler pulsé. Ce mode Doppler est obtenu par un cristal ultrasonore unique qui émet un faisceau d'ultrasons et reçoit le faisceau réfléchi de façon alternative. Les ultrasons sont donc émis par paquets discontinus, en courte rafale. Ce mode a l'avantage de pouvoir analyser une zone précise dans le cœur ou dans les gros vaisseaux mais ne permet malheureusement pas l'analyse de vitesses élevées. La résolution spatiale est donc très bonne dans ce mode mais il persiste une ambiguïté au niveau des vitesses. [8]

#### 1.4 Implication de l'ITV sous aortique dans la pratique des médecins urgentistes

La mesure d'une ITV sous aortique prend tout son sens pour la mesure du débit cardiaque du patient. Ce dernier étant le principal indicateur de perfusion des organes et de l'oxygénation du sang lors d'un état de choc, on comprend donc que sa mesure fiable est un élément primordial pour l'évaluation hémodynamique d'un patient se présentant aux urgences. [9]

Les trois paramètres nécessaires au calcul du débit cardiaque sont le diamètre de la chambre de chasse aortique, l'ITV sous aortique et la fréquence cardiaque. L'ITV sous aortique est finalement une estimation de la distance qu'une colonne de sang parcourt durant une systole.

Le diamètre de la chambre de chasse aortique est obtenu à partir d'une coupe parasternale grand axe. La mesure se faisant en systole entre les deux points d'insertion des sigmoïdes aortiques.

L'ITV sous aortique est obtenue à partir d'une coupe 5 cavités et en sélectionnant le mode Doppler pulsé, en plaçant le curseur Doppler juste sous la chambre de chasse aortique. L'ITV est obtenue en traçant le spectre Doppler résultant.

Ensuite, le calcul du débit cardiaque résulte de l'équation suivante :

$$\text{Débit (ml/min)} = S_{ao} \text{ (cm}^2\text{)} \times \text{ITV}_{ao} \text{ (cm)} \times \text{fréquence cardiaque (/min)}$$

$$S_{ao} : \text{surface aortique} = \pi D^2 / 4 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$D$  : diamètre de la chambre de chasse aortique

La fréquence cardiaque est calculée par le logiciel de l'appareil échographique. [9]

Le diamètre de la chambre de chasse aortique étant constant pour un même patient, les variations de débit cardiaque sont corrélées aux variations de l'ITV sous aortique. [10] Cette mesure est donc un élément majeur dans l'évaluation des patients en état de choc.

### 1.5 Objectifs

Plusieurs études ont déterminé qu'une courte formation en échographie permettait à des médecins « novices » d'acquérir un niveau acceptable pour la réalisation et l'interprétation de coupes échographiques. Certaines études se sont même appliquées durant ces dernières années à définir des courbes d'apprentissage permettant de mieux présenter le lien entre le nombre d'échographies à réaliser et l'obtention d'images échographiques de qualité. [11][12][13][14]

L'étude de *Blehar and al.* [11] met toutefois l'accent sur le fait que les courbes de performance ou d'apprentissage de médecins novices en échographie varient en fonction du domaine d'application, qu'il s'agisse de l'acquisition ou de l'interprétation des images. Bien que la majorité des domaines d'application nécessite au moins la réalisation de 50 examens en moyenne, il serait ainsi judicieux de se concentrer sur des domaines de compétence échographique plus restreints afin d'avoir des courbes d'apprentissage plus précises. [11]

Après une revue de littérature, il apparaît qu'il n'y a encore jamais eu d'étude explorant les courbes d'apprentissage de mesures Doppler en échocardiographie chez des médecins urgentistes.

Ce travail s'est donc focalisé sur une mesure spécifique en échocardiographie entrant en compte lors de l'évaluation hémodynamique d'un patient (pouvant notamment se trouver en état de choc) aux urgences.

L'objectif principal de l'étude était de déterminer le nombre d'échocardiographies devant être réalisées par un interne pour atteindre un niveau de précision suffisant à une bonne interprétation de l'ITV sous aortique.

Les objectifs secondaires correspondaient à l'étude de la courbe d'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique, l'étude de la modification de diagnostic ou de prise en charge après la mesure de l'ITV et l'étude de l'auto-évaluation des internes ainsi que son adéquation avec l'hétéroévaluation. Nous avons également voulu savoir quel critère de qualité d'une mesure d'ITV sous aortique était le plus difficile à obtenir pour les internes.

## 2 Méthodes

### 2.1 Type d'étude

Il s'agit d'une étude observationnelle, prospective de cohorte, d'évaluation d'une courbe d'apprentissage. Cette étude a été réalisée au sein d'une promotion de 17 internes de médecine d'urgence formés par le CHU de Nantes. Ces internes exerçaient alors dans différents services (urgences adulte, SAMU-SMUR, réanimation, cardiologie) et possiblement dans trois centres hospitaliers différents (Centre hospitalier universitaire de Nantes, Centre hospitalier de Saint Nazaire, Centre hospitalier de La Roche sur Yon). La participation des internes se faisait sur la base du volontariat.

### 2.2 Considérations éthiques

L'avis du comité de protection des personnes (CPP) n'a pas été requis, l'étude étant observationnelle et ne modifiant pas les pratiques (aucun procédé invasif n'était utilisé).

### 2.3 Population d'étude

Les sujets inclus dans cette étude sont 17 internes venant de la même promotion de médecine d'urgence à Nantes, novices dans leur formation (n'ayant aucune formation diplômante en échographie).

Dans cette étude, chaque interne portait un numéro afin d'être anonymisé. Ces numéros allaient de 01 à 17.

### 2.4 Formation nécessaire

Afin d'établir la courbe d'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique chez les internes en médecine d'urgence, ces derniers devaient bien évidemment recevoir une formation en la matière.

Les internes en médecine d'urgence de Nantes reçoivent tout au long de leur internat une formation en échographie. Cette dernière se divise en plusieurs modules. Le module « échographie hémodynamique » s'est déroulé le 18 janvier 2021.

Parmi les 17 internes, 15 étaient présents lors de la formation du 18 janvier 2021. Les deux internes manquant à cette formation ont pu recevoir un rattrapage lors de la session d'échographie suivante (4 février 2021).

La formation en échocardiographie était à la fois théorique et pratique et dispensée par plusieurs médecins seniors urgentistes ayant une formation diplômante en échographie.

### 2.5 Patients

Tous les patients de plus de 18 ans se trouvant dans le service où exerçaient les internes inclus dans l'étude étaient éligibles dès lors qu'ils nécessitaient une évaluation hémodynamique par ETT. Certaines mesures ont également été réalisées lors de cours d'échographie, sur des internes volontaires sains.

### 2.6 Recueil des données

Les données ont été collectées entre le 26/01/2021 et le 02/05/2022.

A chaque réalisation d'une ETT, l'interne devait remplir un formulaire, permettant de collecter les informations suivantes :

- Age du patient
- Sexe du patient
- Service d'hospitalisation
- Fréquence cardiaque
- Pression artérielle systolique et diastolique
- Température
- Saturation en oxygène
- Indication de l'ETT
- Position du patient (position proclive 30-45°, décubitus dorsal, décubitus latéral gauche)
- La FEVG de base du patient si cette dernière était connue (> 50% ou < 30%)
- Échogénicité du patient
- Durée nécessaire pour la mesure de l'ITV sous aortique
- La mesure de l'ITV sous aortique a-t-elle entraîné une modification de la prise en charge du patient ?
- Auto-évaluation de l'interne avec
  - 1 : ITV médiocre, ininterprétable
  - 2 : ITV difficile, difficilement interprétable
  - 3 : mesure d'ITV me suffisant pour conclure
  - 4 : bonne ITV, plus de la moitié des critères de qualité sont présents
  - 5 : tous les critères de qualité sont présents selon vous
- Concordance du résultat de l'ITV sous aortique mesurée par le sénior de l'interne (s'il y avait eu un contrôle de l'ETT)

Ce formulaire était présenté sous la forme d'un *Google form* afin de faciliter le recueil des données (annexe 1). Ce dernier permettait également de joindre au formulaire une photographie de l'écran de l'échographe utilisé par l'interne. Cette dernière devait permettre de visualiser à la fois la coupe 5 cavités, le spectre Doppler et enfin la mesure de l'ITV sous aortique.

Toutes les réponses collectées grâce au formulaire étaient ensuite enregistrées à l'aide d'un fichier Excel.

Afin d'établir une courbe d'apprentissage pour chaque interne, il fallait attribuer une note pour chaque mesure d'ITV réalisée. Les photographies d'ITV sous aortique prises par les internes ont donc été relues par un comité de relecture composé de deux médecins urgentistes du CHU de Nantes ayant une formation diplômante en échographie (et ainsi considérés comme experts). Toutes les photographies ont été renommées avec un code défini aléatoirement de sorte que les médecins du comité de relecture étaient en aveugle de l'identité de l'interne ayant fait la photographie et en aveugle du stade d'avancement de chaque interne. Ils n'avaient pas accès au formulaire de recueil des données.

Des critères de qualité d'une mesure d'ITV sous aortique ont été définis afin d'établir une note la plus objective possible pour chaque photographie. Ces critères de qualité étaient :

- La qualité de la coupe 5 cavités
- Présence du clip de fermeture correspondant au B2 présent (critère binaire)
- Flux laminaire (critère binaire)
- Curseur placé sous l'anneau aortique idéalement entre 0,5 et 1 cm, au centre (critère binaire)
- Axe du curseur idéalement à 20° (critère binaire)

Après la réunion du comité de relecture, chaque photographie obtenait une note sur 4,5 points (chaque critère comptait pour un point hormis le clip de fermeture qui comptait pour 0,5 point). Pour le critère « qualité de la coupe 5 cavités », la notation sur 1 point était définie ainsi :

- 0 point : les cavités cardiaques sont à peine visibles, la chambre de chasse aortique est invisible et la coupe est mal axée
- 0,25 point : les cavités cardiaques sont mal visibles mais la chambre de chasse aortique est visible ; la coupe est mal axée
- 0,5 point : les cavités cardiaques sont mal visibles mais la chambre de chasse aortique est visible et la coupe est mieux axée (axe du septum entre -10° et 20°)
- 0,75 point : les 5 cavités sont visibles et la coupe bien axée (axe du septum entre -10 et 0°)
- 1 point : la coupe 5 cavités est adéquate, permettant une mesure optimale de l'ITV sous aortique

Les deux médecins du comité de relecture ont revu et noté toutes les photographies individuellement.

Pour être inclus dans l'étude, chaque interne devait avoir réalisé un minimum de 5 mesures.

## 2.7 Analyse statistique

Plusieurs études réalisées durant la dernière décennie et s'intéressant aux courbes d'apprentissage dans divers domaines médicaux se sont appuyées sur une nouvelle méthode statistique connue sous le nom de LC-CUSUM.

En 2007, en faisant une revue de la littérature de 1991 à 2006, *Biau et al* ont pu retrouver 22 articles utilisant l'analyse statistique CUSUM (*cumulative summation test*), semblant montrer de plus en plus d'intérêt pour la réalisation de courbes d'apprentissage, en particulier pour des interventions chirurgicales. [15] Le test CUSUM est une méthode utilisée dans le contrôle statistique d'un processus (via une formule de somme cumulative) et détecte quand ce processus passe hors de contrôle.

Le CUSUM permet de surveiller de manière prospective un processus (comme le résultat d'une intervention chirurgicale) qui doit être stable dans le temps. Il s'agit d'une somme des scores attribués à chaque procédure avec une valeur dépendant du résultat de cette dernière (résultat binaire : succès ou échec). Le CUSUM a donc été conçu pour détecter des augmentations ou des diminutions de P = taux d'échec. Il teste séquentiellement l'hypothèse

H0 où  $P = P_0$  contre H1 où  $P = P_1$  ( $P_0$  correspondant au taux d'échec acceptable avec un processus sous contrôle et  $P_1$  au taux d'échec inacceptable avec un processus passant hors de contrôle). L'objectif est de détecter une dégradation des performances d'un processus (passage de l'hypothèse H0 à H1). [15]

*Biau et al* ont apporté une modification de cette méthode statistique en 2008, donnant naissance au LC-CUSUM, signifiant « Learning curve cumulative summation ». L'objectif était alors de fournir un outil statistique individuel et quantitatif pouvant déterminer le moment où l'apprentissage d'une procédure chirurgicale d'un sujet était terminé. Il fournit une indication du moment où un sujet a atteint un niveau de compétence prédéfini. [16]

Le test LC-CUSUM a été utilisé en 2019 par *Lee et al* pour l'étude de la courbe d'apprentissage de l'estimation visuelle de la FEVG chez des praticiens novices. [14] Mais cette méthode n'a pas encore été utilisée, à notre connaissance, pour l'étude de courbe d'apprentissage dans la mesure de paramètres hémodynamiques en échocardiographie chez des médecins novices.

Le test LC-CUSUM fonctionne comme un test de non-infériorité. Dans le cas de cette étude, il suppose que chaque interne n'est pas compétent au début de la surveillance, mais signale quand un interne atteint un niveau de performance prédéfini. Les hypothèses H0 et H1 sont inversées par rapport au CUSUM, car le but est ici de signaler lorsqu'un processus atteint un état de contrôle (et donc qu'un interne a atteint un niveau de performance adéquat) :

- L'hypothèse nulle H0 :  $P = P_0 + \delta$  considère que le processus reste « hors contrôle », ce qui correspond donc à une déviation de la performance jugée comme adéquate d'une valeur supérieure à  $\delta$ .
- L'hypothèse alternative, H1 :  $P = P_0$ , considère que le processus est passé « sous contrôle » et donc que la performance de l'interne ne s'écarte pas d'une valeur supérieure à  $\delta$  par rapport à la performance adéquate (est sensiblement égale ou supérieure à la performance adéquate, mais pas inférieure).

$P_0$  correspond à la probabilité d'échec lorsque les performances sont adéquates et  $\delta$  est donc un écart maximal acceptable par rapport aux performances adéquates.

Ces deux hypothèses sont testées après chaque procédure de mesure d'ITV sous aortique des internes. Le score LC CUSUM de chaque interne augmente avec l'amélioration des performances de ces derniers. L'interne reste considéré comme non compétent tant que le score LC-CUSUM reste inférieur à la limite  $h$ . A l'inverse, quand le score franchit la limite  $h$ , l'interne est considéré comme compétent (rejet de l'hypothèse H0). [16] [17]

En pratique, lors de la revue des photographies prises par les internes par le comité de relecture, une fois la note obtenue, chaque photographie obtenait soit un critère de succès (note  $\geq 3/4,5$ ) ou un critère d'échec (note  $< 3/4,5$ ).

Le score LC-CUSUM est une somme cumulée commençant à zéro, et qui en fonction du résultat va augmenter (succès) ou descendre (échec) d'une valeur  $W$ . L'intérêt de ce score réside notamment dans le fait qu'il ne peut pas être inférieur à zéro, lui permettant d'être toujours réactif à un changement récent de performance (par exemple, un interne ayant accumulé beaucoup d'échecs du fait d'une mauvaise technique, en cas d'amélioration de

cette dernière, n'aura pas à fournir autant de succès que d'échecs et ne sera pas pénalisé). [18].

Pour utiliser ce score, il faut définir :

- La performance adéquate ( $P_0$ ), soit le taux d'échec acceptable
- La valeur delta d'équivalence ( $\delta$ ): écart maximal acceptable par rapport aux performances adéquates
- La limite de détection  $h$

Comme pour le choix de  $P_0$  et  $P_1$  pour le CUSUM, le choix de  $P_0$  et  $\delta$  pour le LC-CUSUM est quelque peu arbitraire car il n'y a pas de consensus sur la manière de sélectionner ces paramètres dans la littérature. Pour le CUSUM,  $|P_1 - P_0|$  correspond à la différence entre la performance inacceptable et acceptable. Pour le LC-CUSUM, le  $\delta$  d'équivalence peut varier entre 0 et cette différence  $|P_1 - P_0|$ . Comme proposé par *Biau et al*, il semble raisonnable de choisir  $\delta = (P_1 - P_0)/2$ . [19]

Du fait du caractère répétitif de ce test, les performances sont rapportées en TDR (« true discovery rate ») et FDR (« false discovery rate »), qui sont les équivalents des risques alpha et béta des essais randomisés.

Dans le cas de cette étude, la performance adéquate  $P_0$  a été définie à 20% d'échecs, avec un  $\delta$  d'équivalence à 10%. Une limite de  $h = 1,4$  a été choisie afin d'obtenir la performance suivante : 85,37% de probabilité de détecter un niveau de performance adéquat et 10,36% de probabilité de déclarer à tort une performance inadéquate comme adéquate (tableau 1).

Dans le cas de cette étude, le score LC-CUSUM augmente de 0.13 pour un succès et diminue de 0.4 pour un échec : il faut environ 3 succès pour rattraper un échec.

La compétence d'un interne est démontrée lorsque sa courbe d'apprentissage franchit la limite  $h$ .

Formule test LC-CUSUM :

$$S_t = \max(0, S_{t-1} + W), \quad S_0 = 0$$

$$\text{avec } W = \log \left[ \frac{P_0^{X_t} (1-P_0)^{1-X_t}}{(P_0 + \delta)^{X_t} (1 - P_0 - \delta)^{1-X_t}} \right]$$

*Avec  $X_t = 0$  pour un succès et  $X_t = 1$  pour un échec*

Le but de l'utilisation de cette méthode statistique est d'évaluer précisément l'apprentissage des internes en médecine d'urgence de la mesure de l'ITV sous aortique.

Limite	Performance				
	h	0.2	0.25	0.3	0.35
1.20	92,07%	76,34%	55,26%	35,14%	20,31%
1.21	89,90%	72,75%	50,37%	29,35%	15,37%
1.22	89,90%	72,35%	49,98%	29,81%	15,60%
1.23	89,75%	72,80%	49,77%	29,79%	14,77%
1.24	89,93%	73,28%	48,79%	29,79%	15,18%
1.25	89,99%	72,49%	50,03%	29,95%	15,20%
1.26	90,24%	72,10%	49,57%	29,89%	15,05%
1.27	90,42%	72,30%	49,48%	29,45%	15,35%
1.28	90,00%	72,82%	49,75%	29,58%	15,99%
1.29	90,16%	73,02%	49,92%	29,33%	15,28%
1.30	89,62%	71,62%	50,53%	29,41%	15,32%
1.31	89,75%	71,89%	49,88%	29,38%	15,25%
1.32	89,33%	71,68%	49,35%	28,38%	15,04%
1.33	88,30%	68,84%	47,22%	27,23%	13,28%
1.34	85,54%	64,60%	41,11%	21,69%	9,89%
1.35	85,12%	64,70%	40,43%	21,29%	10,31%
1.36	85,63%	64,94%	40,44%	21,71%	10,06%
1.37	85,73%	64,18%	41,31%	22,23%	9,91%
1.38	85,24%	64,78%	41,31%	22,03%	9,85%
1.39	85,47%	64,11%	40,45%	22,73%	10,17%
<b>1.40</b>	<b>85,37%</b>	<b>64,36%</b>	<b>40,12%</b>	<b>22,14%</b>	<b>10,36%</b>
1.41	85,12%	64,57%	41,40%	22,14%	10,01%
1.42	85,66%	63,85%	40,83%	22,14%	9,63%
1.43	86,08%	64,89%	40,76%	21,77%	10,45%
1.44	85,02%	64,37%	39,80%	21,46%	9,92%
1.45	84,73%	62,85%	39,74%	21,21%	10,29%
1.46	83,26%	60,84%	37,61%	19,49%	8,76%
1.47	81,02%	56,37%	33,49%	15,42%	6,39%
1.48	80,50%	56,24%	32,14%	16,36%	6,92%
1.49	80,46%	56,49%	33,32%	15,79%	6,25%
1.50	80,37%	57,83%	31,80%	16,43%	6,61%

Tableau 1 : Performance pour n = 50 échographies

### 3 Résultats

#### 3.1 Urgentistes formés

Parmi les 17 internes de médecine d'urgence ayant bénéficié du module « échographie hémodynamique », 4 n'ont malheureusement rempli aucun formulaire (interne 02, 09, 12 et 14). Deux autres internes ont envoyé moins de 5 mesures d'ITV sous-aortique et n'ont pas pu être inclus (internes 05 et 15).

Au total, 11 internes ont donc été inclus dans l'analyse statistique.

La figure 3 représente le nombre d'ITV sous aortique réalisées par interne.



280 formulaires ont été remplis au total, et 274 ont servi à la création des courbes d'apprentissage.

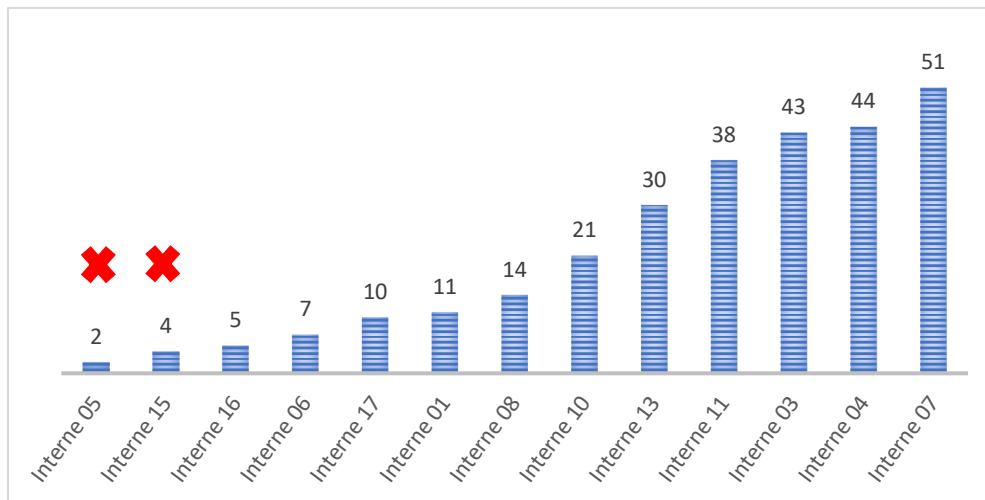


Figure 3 : Nombre de mesures par interne

### 3.2 Patients

Sur les 280 mesures d'ITV sous aortique, 182 ont été réalisées chez des hommes avec un âge moyen de 63 ans et 98 chez des femmes avec un âge moyen de 63 ans (figure 4).

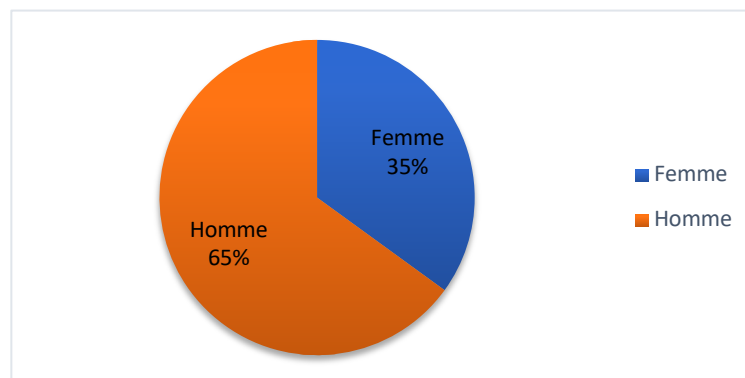


Figure 4 : Total homme/femme

La figure 5 représente le nombre de mesures d'ITV sous aortique en fonction des services d'hospitalisation des patients.

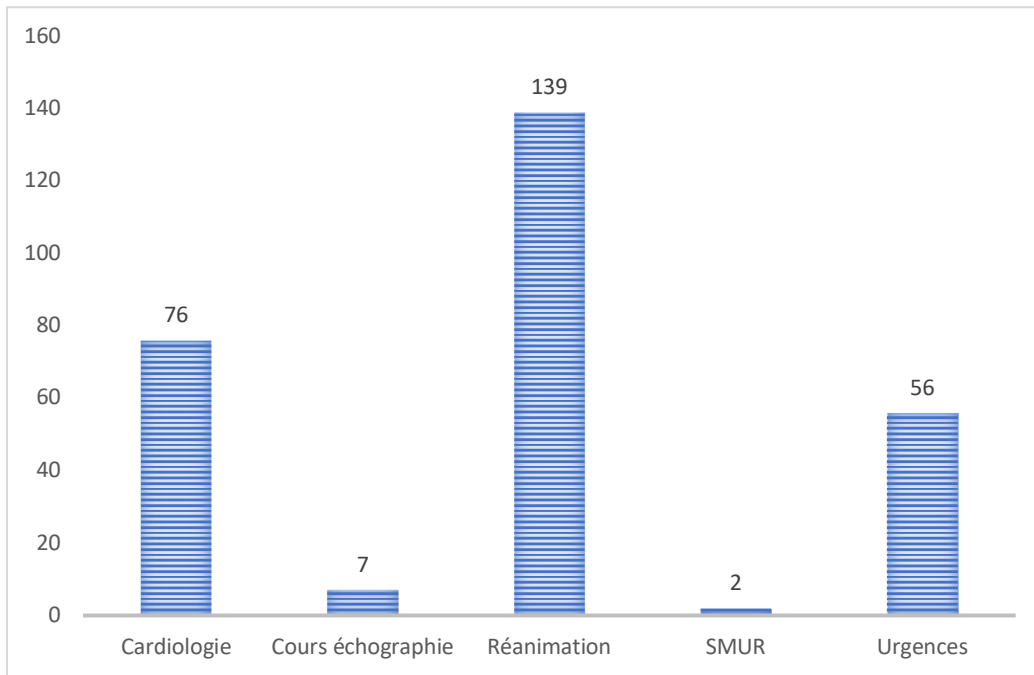


Figure 5 : Nombre de mesures en fonction du service d'hospitalisation

La figure 6 représente le nombre de mesures d'ITV sous aortique en fonction des indications d'ETT posées par les internes. 66% de ces indications correspondaient à des détresses respiratoires, 59% à des douleurs thoraciques, 53% à des états de chocs indéterminés.

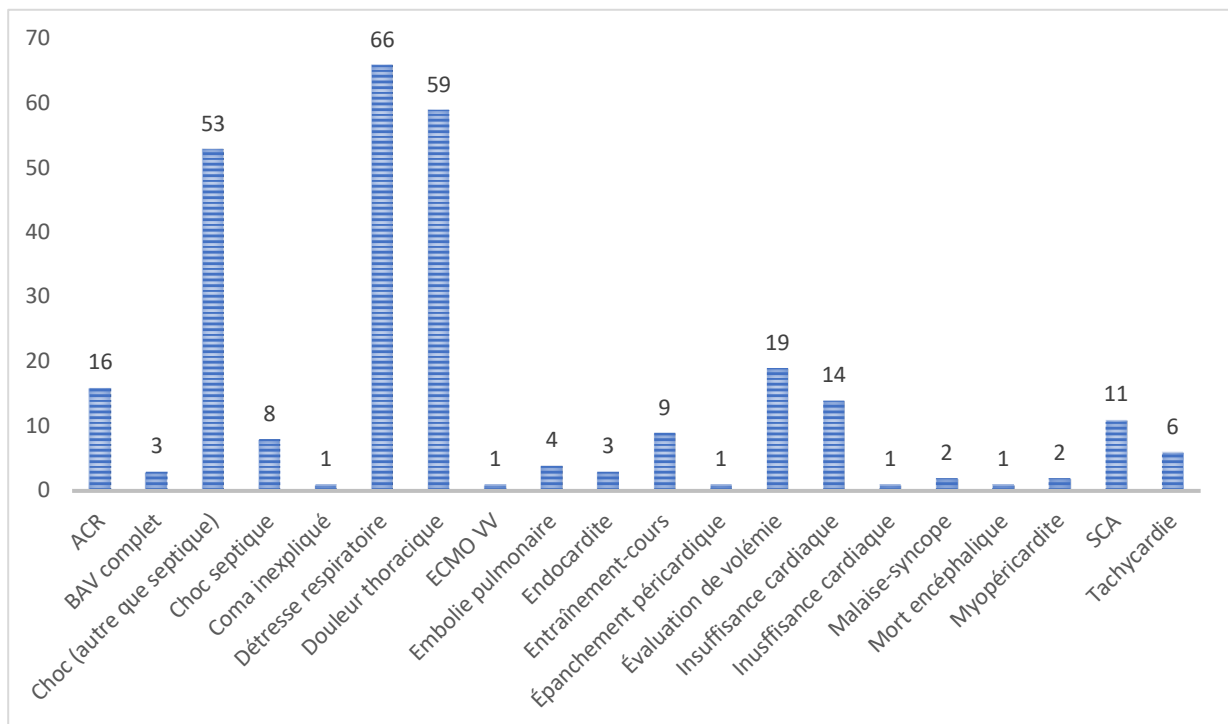


Figure 6 : Nombre de mesures en fonction de l'indication de l'ETT

Le nombre de mesures d'ITV sous aortique réalisées par chaque interne en fonction des services d'hospitalisation est représenté par la figure 7.

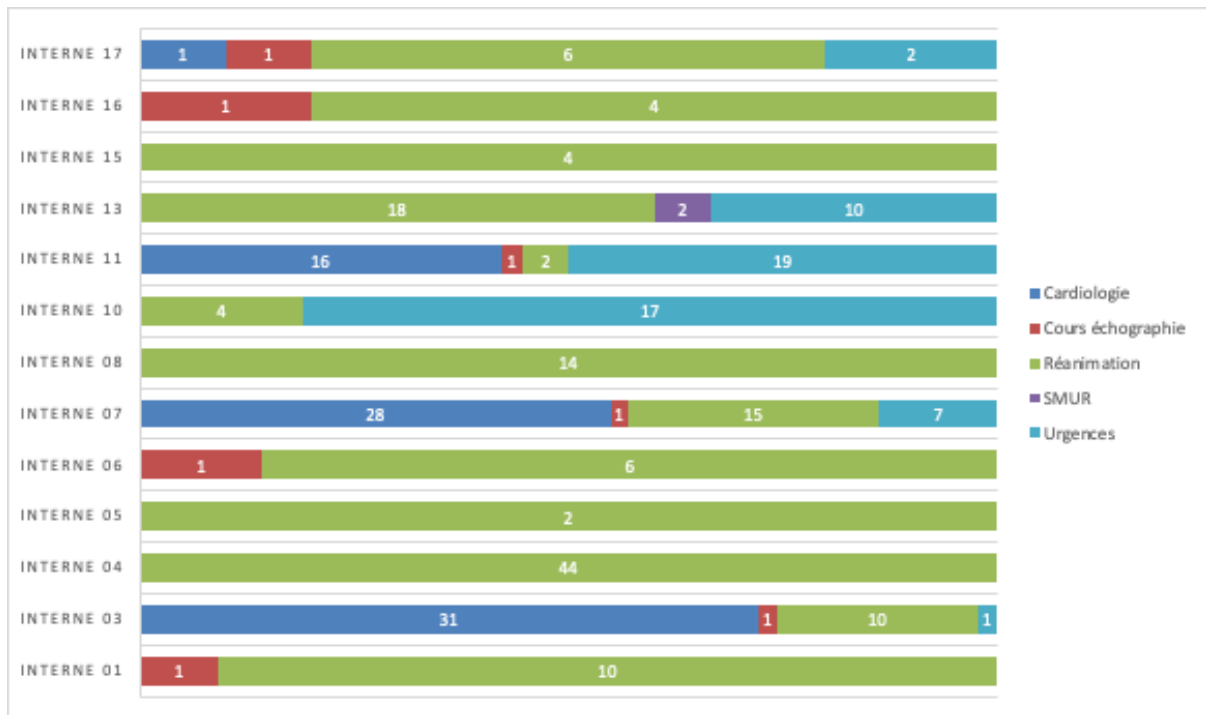


Figure 7 : Nombre d'ETT en fonction du service par interne

### 3.3 Comité de relecture

Une analyse de concordance entre les deux notations a été réalisée. Les coefficients de corrélation kappa pour chaque critère de qualité (et donc de notation) étaient :

- 0.7112541 pour la qualité de la coupe 5 cavités
- 0.7374717 pour le flux laminaire
- 0.7761119 pour le clic de fermeture
- 0.3685021 pour la position du curseur sous l'anneau aortique
- 0.6335843 pour l'axe
- 0.7684668 pour la note finale

Ces résultats permettant de conclure à un accord satisfaisant entre les notes données par chaque expert, la moyenne des deux notes a été calculée pour chaque photographie afin d'obtenir une note finale.

### 3.4 Objectif principal

Concernant l'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique, la compétence est démontrée chez l'interne 03 (en 28 mesures), l'interne 07 (en 14 mesures) et l'interne 11 (en 11 mesures).

Les résultats des courbes d'apprentissage par analyse LC-CUSUM des 11 internes ayant réalisé au moins 5 mesures d'ITV sous aortique sont représentés par la figure 8. Pour rappel, la compétence d'un interne est démontrée si sa courbe d'apprentissage atteint la limite h, modélisée graphiquement par une ligne à 1,4. Les courbes d'apprentissage de chaque interne sont présentées en annexe 2.

La figure 9 représente la position des patients lors des ETT réalisées par les internes.

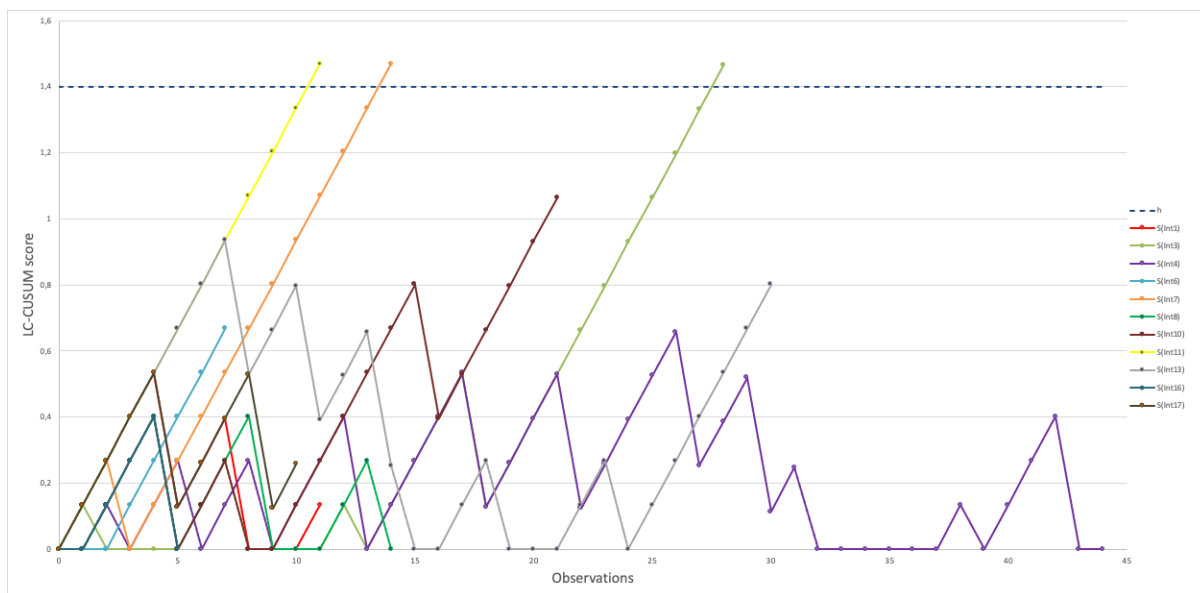


Figure 8 : Courbes d'apprentissage LC-CUSUM

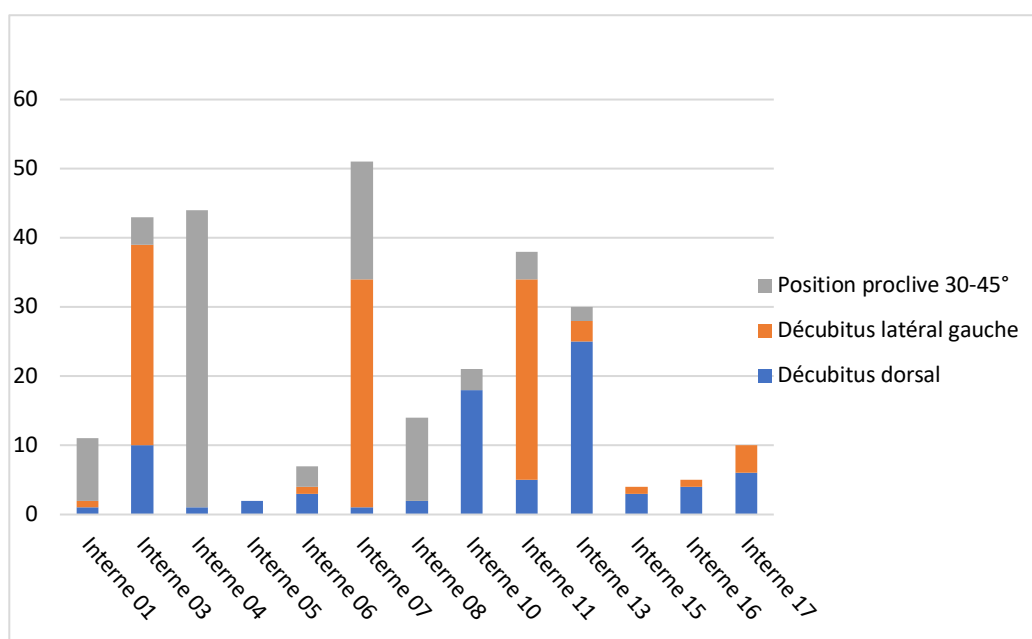


Figure 9 : Positions des patients

### 3.5 Objectifs secondaires

L'annexe 2 représente les courbes d'apprentissage de chaque interne, facilitant l'étude visuelle de chaque courbe :

- Interne 01 : plusieurs phases de succès entrecoupées d'un échec à chaque fois ne permettent pas de passer la ligne de compétence sur 11 ETT réalisées.
- Interne 03 : les 4 premières phases de succès sont entrecoupées chacune d'un échec, puis une plus longue phase de succès permet de passer la ligne de compétence en 28 mesures. En observant le graphique, il y a probablement eu chez cet interne passé en stage de cardiologie une réelle phase d'apprentissage vers la 13<sup>ème</sup> mesure. 67% de ses mesures ont été réalisées chez des patients en décubitus latéral gauche (figure 9).

- Interne 04 : les 44 mesures ne permettent malheureusement pas de passer la ligne de compétence car chaque phase de succès fait rapidement suite à un échec faisant quasiment systématiquement retomber le score LC-CUSUM à 0.
- Interne 06 : on observe 2 échecs suivis par une phase de succès mais ne permettant pas l'acquisition de la compétence sur 7 mesures.
- Interne 07 : deux phases de succès entrecoupées d'un seul échec permettent de rapidement passer la ligne de compétence en 14 mesures. 65% des mesures ont été réalisées en décubitus latéral gauche (figure 9).
- Interne 08 : les deux phases de succès suivies de plusieurs échecs successifs ne permettent pas de passer la ligne de compétence en 14 mesures.
- Interne 10 : on peut noter 4 phases de succès mais avec un à deux échecs entre chaque, ne permettant pas de passer la ligne de compétence en 21 procédures chez cet interne ayant réalisé toutes ses ETT en réanimation ou aux urgences chez des patients en position proclive ou en décubitus dorsal (figure 9).
- Interne 11 : l'absence d'échec chez cet interne passé(e) en stage de cardiologie permet de passer la ligne de compétence en 11 mesures. 76% des mesures ont été réalisées en décubitus latéral gauche (figure 9).
- Interne 13 : comme l'interne 04, les 30 mesures ne permettent pas d'atteindre la compétence du fait de plusieurs échecs espaçant de nombreuses phases de succès. Il s'agit ici encore d'un interne ayant réalisé toutes ses mesures en réanimation, aux urgences ou en SMUR (figure 7) chez des patients installés majoritairement en décubitus dorsal (figure 9).
- Interne 16 : les 5 mesures ne permettent pas d'atteindre la ligne de compétence.
- Interne 17 : les 3 phases de succès entrecoupées à chaque fois d'un échec ne permettent pas de passer la ligne de compétence en 10 mesures.

Il était demandé aux internes lors du remplissage du formulaire de notifier si leur mesure d'ITV avait impacté la prise en charge diagnostique ou thérapeutique du patient. Il n'y a eu aucun impact dans 76% des cas, 17,5% de changement thérapeutique, 4,3% de changement diagnostique et 2,14% de changement diagnostique et thérapeutique. Le taux de modification de prise en charge des patients pour chaque interne est représenté par la figure 10.

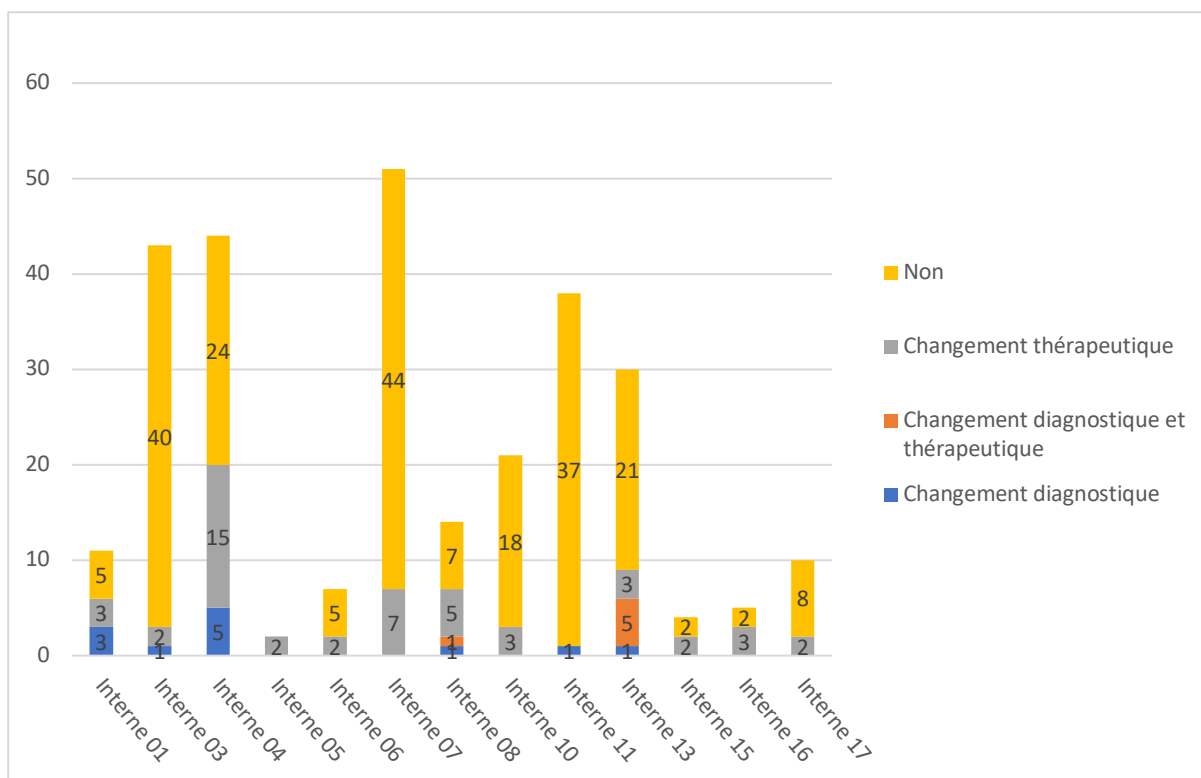


Figure 10 : Nombre de modifications de prise en charge des patients par interne

Il était également demandé aux internes lors du remplissage du formulaire de réaliser une auto-évaluation. Cette dernière permettait d'obtenir une note sur 5 points. Nous avons recherché la corrélation entre l'autoévaluation des internes et la note donnée par le comité de relecture pour chaque photo. La courbe de régression linéaire est représentée graphiquement par la figure 11. Nous avons pu identifier une corrélation significative entre l'auto et l'hétéroévaluation ( $p\text{-value } 3,42 \cdot 10^{-7}$  ; seuil de significativité 0.001). Toutefois, le  $R^2$  ajusté est de 0.1084, expliquant la dispersion des points autour de la droite de régression.

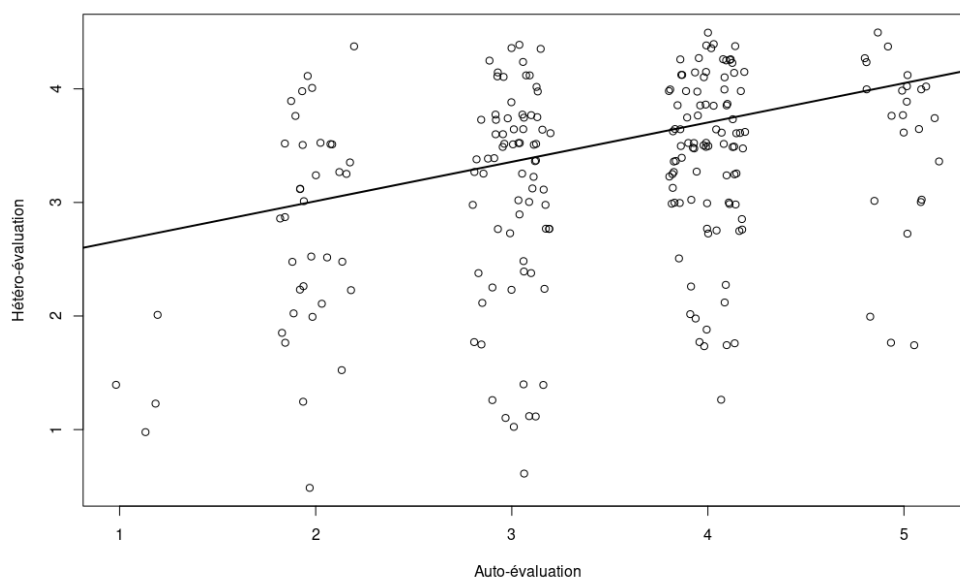


Figure 11 : Corrélation entre l'autoévaluation et l'hétéroévaluation

Enfin, le dernier objectif secondaire était de savoir quel critère de qualité d'une mesure d'ITV sous aortique est le plus difficile à obtenir. Après calcul de la moyenne des notes attribuées pour chaque critère de qualité par le comité de relecture, il s'avère que le critère « qualité de la coupe 5 cavités » était le critère le plus difficile à obtenir par les internes de médecine d'urgence de Nantes (tableau 2).

	Qualité de la coupe 5 cavité	Flux laminaire	Clip de fermeture	Curseur placé sous l'anneau aortique	Axe du curseur à 20°
<b>Moyenne des notes pour chaque critère</b>	0,528125	0,6625	0,26785714	0,9	0,87321429
<b>Moyenne rapportée sur 1</b>	0,528125/1	0,6625/1	0,53571/1	0,9/1	0,87321/1
<b>Ecart-type</b>	0,20478497	0,44139015	0,23502241	0,24829165	0,30082984

Tableau 2 : Moyenne et écart-type des notes attribuées pour chaque critère de qualité d'une mesure d'ITV sous aortique

## 4 Discussion

### 4.1 Synthèse

Bien que le diagnostic d'un état de choc soit anamnestique et clinique, l'échocardiographie est une aide fondamentale pour comprendre le mécanisme à l'origine d'une défaillance circulatoire. [20] Elle permet de limiter le recours à des examens irradiants comme la radiographie et le scanner, sans aggraver le pronostic des patients et évite le recours systématique à l'avis de cardiologues, ces derniers n'étant pas toujours disponibles rapidement. [20][21]

Un point important pour la réanimation d'un patient en état de choc réside dans le maintien d'une perfusion d'organe et donc dans la décision d'administrer des fluides ou d'initier une thérapeutique vasoactive. La loi de Starling décrit l'évolution de la contractilité myocardique et, par extension, du volume d'éjection systolique (VES), en fonction de la volémie. En effet, l'étirement des fibres myocardiques (lors d'une expansion volémique par exemple) entraîne, dans une certaine mesure, une augmentation de la contractilité myocardique. Une augmentation du débit cardiaque de 15% après un remplissage vasculaire est en faveur d'un patient précharge-dépendant, c'est-à-dire un patient répondant positivement à l'expansion volémique. A l'inverse, une faible augmentation est en faveur d'un patient non précharge-dépendant. Un remplissage sera alors potentiellement délétère et expose au risque de surcharge volémique. [9]

Le VES étant le produit de l'ITV sous aortique par la surface de la chambre de chasse ventriculaire gauche, nous pouvons considérer que la mesure de l'ITV sous aortique peut être utilisée en lieu et place du VES et du débit cardiaque. [7] Muller et al ont notamment montré en 2011 qu'une augmentation de 10% de l'ITV sous aortique suite à un remplissage de 100mL sur une minute prédisait une augmentation de 15% du débit cardiaque après l'administration de 500mL de solutés chez des patients en état de choc. [10]

L'ITV sous aortique est donc une mesure essentielle pour la prise en charge des patients en état de choc. Pourtant, en 2014 selon Boulain et al, l'échocardiographie n'était utilisée que dans 7,2% des épreuves d'expansion volémique en soins intensifs. [22]

Il nous semble donc important et nécessaire de bien former les futurs médecins à la pratique échocardiographique afin d'optimiser la prise en charge et le pronostic des patients. La SFMU a élaboré dans ce sens des recommandations sur un deuxième niveau de compétence pour l'ECMU. Il existe un accord fort sur le fait qu'un médecin urgentiste doit être capable de quantifier le débit cardiaque par mesure de l'ITV sous aortique et de quantifier la réponse à une expansion volémique par mesures répétées de l'ITV sous aortique. Cependant, il n'est pas notifié combien de mesures doivent être réalisées pour qu'un urgentiste soit considéré comme compétent en la matière. [23]

Il a été montré qu'une formation ciblée en échocardiographie chez des internes en soins intensifs sans formation préalable semblait faisable et efficace pour répondre à des questions simples (évaluation visuelle de la FEVG, dilatation du ventricule gauche, présence d'un cœur pulmonaire aigu, épanchement péricardique ou tamponnade). [24]

Townsend et al ont évalué en 2015 la courbe d'apprentissage des internes en réanimation chirurgicale pour la réalisation et l'interprétation de l'ETT focalisée sur la fonction cardiaque et la volémie des patients de soins intensifs. Cette étude prospective a pu démontrer que ces internes maîtrisaient l'évaluation de la FEVG et de la volémie après 4 séances de formation, ceci permettant à ces jeunes médecins de guider leurs futures réanimations sans surveillance invasive. [25]

Dinh et al ont déjà montré en 2012 que les médecins urgentistes étaient aussi compétents que les cardiologues pour mesurer le débit cardiaque (et in fine de mesurer l'ITV sous aortique), après une formation théorique et pratique de 20 heures. [9] Cependant, la notion de courbe d'apprentissage n'était pas utilisée.

Notre étude est la première s'intéressant à la courbe d'apprentissage des internes en médecine d'urgence pour la mesure de l'ITV sous aortique en échocardiographie.

Le principal constat est un faible taux d'acquisition de la compétence : cette dernière n'est démontrée que chez 3 internes sur 17. L'acquisition de la compétence se faisait en 11, 14 et 28 procédures chez les internes 11, 07 et 03 respectivement. Il s'agit de trois internes passés en stage de cardiologie avec des patients installés majoritairement en décubitus latéral gauche (position optimale permettant de nettement améliorer la qualité de la coupe 5 cavités). L'objectif principal n'est donc atteint que chez ces 3 internes. Le manque de mesures pour la majorité des autres internes ne nous a pas permis de conclure à une acquisition de la compétence. Cependant, la limite n'est pas franchie chez les internes 04, 10 et 13 bien qu'ils aient réalisé chacun plus de 20 mesures. Ces internes ont réalisé leur ETT principalement en réanimation ou en service d'urgence avec des patients installés en décubitus dorsal ou en position proclive (altérant dans les deux cas l'échogénicité des patients), pouvant expliquer la non-acquisition de compétence (figure 9).



Il existe peut-être une facilité chez certains internes en échocardiographie, mais il semble que le nombre d'ETT réalisées par les internes, la position des patients et les services dans lesquels les internes ont été formés ont une importance dans l'acquisition ou non de la compétence.

#### 4.2 Impact de l'analyse statistique

Le suivi continu des performances en santé est une notion existant depuis de nombreuses années. Un certain nombre de processus médicaux peuvent être surveillés, telles que des procédures chirurgicales ou encore des épidémies. Les états sous contrôle et hors contrôle correspondent aux niveaux de performance adéquat et inadéquat respectivement. Le test CUSUM est le test statistique ayant la formulation la plus simple et la représentation la plus intuitive pour émettre une alarme lorsqu'un processus passe hors contrôle. [19]

Le test LC-CUSUM a quant à lui la capacité de signaler quand un processus passe sous contrôle, et donc quand un stagiaire atteint un niveau de performance adéquat (les hypothèses statistiques  $H_0$  et  $H_1$  sont l'inverse de celles du CUSUM). Il s'agit d'une méthode statistique récente, pertinente pour le suivi d'une courbe d'apprentissage et fournissant un seuil comme preuve objective d'acquisition de la compétence. [16]

Il faut toutefois être vigilant aux paramètres du test (taux de performance acceptable  $P_0$ , delta) et à la limite  $h$ , influant fortement sur l'interprétation des résultats. Le choix d'une limite  $h$  basse permet d'améliorer le seuil de détection mais augmente également le risque d'interprétation à tort de la compétence. Une limite  $h$  trop haute permettra de diminuer le taux de faux positifs mais diminuera dans le même temps le taux de vrais positifs. Notre choix de limite  $h$  à 1,4 donne à cette étude un taux de vrais positifs à 85,37 % et un taux de faux positifs à 10,36%, optimisant donc l'objectif de l'acquisition de la compétence avec un risque modéré d'interpréter à tort cette acquisition. Ces taux sont tirés d'une simulation informatique (10 000 simulations de séries de 50 procédures) sur la base des paramètres choisis (limite  $h$ ,  $P_0$ , delta). Le moyen d'optimiser au mieux ces taux est d'augmenter le nombre de procédures.

#### 4.3 Limites

Une des difficultés rencontrées dans cette étude est le recueil de données. En effet, le nombre de mesure par interne est très hétérogène (figure 3) et globalement insuffisant, bien que le formulaire se voulait le plus concis possible et malgré le recueil des mesures par photographie. Ceci explique peut-être le faible taux d'acquisition de la compétence (figure 8).

Il peut également être expliqué par l'hétérogénéité des patients examinés. Les internes ne sont pas passés par les mêmes services, les conditions pour réaliser leurs échocardiographies pouvaient être très différentes : en effet, la qualité de mesure d'une ITV sous aortique chez un patient se trouvant en réanimation, intubé, ventilé et en position proclive à 30° ne peut être la même que chez un patient venant en consultation de cardiologie et positionné en décubitus latéral gauche. Nous pensons que cette différence de conditions de travail pourrait être à l'origine de la non acquisition de compétence chez les internes 04, 10 et 13.

La compétence n'ayant été acquise que chez trois internes, les performances de ces derniers ne peuvent pas être transposables pour tous les internes de médecine d'urgence. Une nouvelle étude serait nécessaire avec plus d'internes, sur des promotions différentes, et sur

plus de centres hospitaliers, afin de pouvoir conclure sur un nombre moyen de mesures à réaliser pour atteindre la compétence.

#### 4.4 Perspectives

L'échocardiographie est un outil diagnostique précieux en médecine d'urgence. La mesure de l'ITV sous aortique est une mesure fondamentale pour l'évaluation hémodynamique d'un patient.

Notre étude n'a malheureusement pas pu déterminer le nombre d'échocardiographies qui doivent être réalisées par un interne pour atteindre un niveau de précision suffisant à une bonne interprétation de l'ITV sous aortique. Une nouvelle étude devra être réalisée avec un temps d'observation plus long et en incluant plus d'internes pour pouvoir répondre à cette problématique.

Les études portant sur les courbes d'apprentissage sont de plus en plus nombreuses, suscitent de l'intérêt et ce d'autant plus dans le domaine de la médecine d'urgence où de nombreux actes techniques sont nécessaires. Il serait donc intéressant de réaliser d'autres études concernant la courbe d'apprentissage des internes en médecine d'urgence en France sur d'autres compétences échographiques (profil mitral et appréciation des pressions de remplissage, diagnostic d'une occlusion intestinale, diagnostic d'une infection pulmonaire, FAST échographie, Doppler transcrânien, etc) et sur certains gestes techniques comme l'intubation orotrachéale [18] ou la pose de drains thoraciques.

## 5 Conclusion

Il s'agit de la première étude s'intéressant à la courbe d'apprentissage des internes en médecine d'urgence pour la mesure de l'ITV sous aortique. L'apprentissage des internes était représenté graphiquement par la méthode LC-CUSUM. Seuls trois internes ont démontré une acquisition de la compétence. Du fait du peu de données, nous ne pouvons pas formuler de nombre moyen de mesures à réaliser pour être compétent pour la mesure de l'ITV sous aortique. D'autres études prospectives seront nécessaires sur un temps d'observation plus long et avec un nombre de sujets inclus plus important pour répondre à cette problématique.

## 6 Bibliographie

- [1] « Use of Ultrasound Imaging by Emergency Physicians », *Annals of Emergency Medicine*, vol. 38, n° 4, p. 469-470, oct. 2001, doi: 10.1067/mem.2001.118487.
- [2] J. L. Kendall, S. R. Hoffenberg, et R. S. Smith, « History of emergency and critical care ultrasound: The evolution of a new imaging paradigm », *Critical Care Medicine*, vol. 35, n° Suppl, p. S126-S130, mai 2007, doi: 10.1097/01.CCM.0000260623.38982.83.
- [3] membres de la commission des référentiels de la SFMU *et al.*, « Premier niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé », *Ann. Fr. Med. Urgence*, vol. 6, n° 4, p. 284-295, juill. 2016, doi: 10.1007/s13341-016-0649-5.
- [4] M. X. Joseph, P. J. S. Disney, R. Da Costa, et S. J. Hutchison, « Transthoracic Echocardiography To Identify or Exclude Cardiac Cause of Shock », *Chest*, vol. 126, n° 5, p. 1592-1597, nov. 2004, doi: 10.1378/chest.126.5.1592.
- [5] R. M. L. Orme, M. P. Oram, et C. E. McKinstry, « Impact of echocardiography on patient management in the intensive care unit: an audit of district general hospital practice », *British Journal of Anaesthesia*, vol. 102, n° 3, p. 340-344, mars 2009, doi: 10.1093/bja/aen378.
- [6] M. B. Jensen, E. Sloth, K. M. Larsen, et M. B. Schmidt, « Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care », *European Journal of Anaesthesiology*, p. 8, 2004.
- [7] P. Blanco, « Rationale for using the velocity–time integral and the minute distance for assessing the stroke volume and cardiac output in point-of-care settings », *Ultrasound J*, vol. 12, n° 1, p. 21, déc. 2020, doi: 10.1186/s13089-020-00170-x.
- [8] N. S. Anavekar et J. K. Oh, « Doppler echocardiography: A contemporary review », *Journal of Cardiology*, vol. 54, n° 3, p. 347-358, déc. 2009, doi: 10.1016/j.jjcc.2009.10.001.
- [9] V. A. Dinh *et al.*, « Measuring cardiac index with a focused cardiac ultrasound examination in the ED », *The American Journal of Emergency Medicine*, vol. 30, n° 9, p. 1845-1851, nov. 2012, doi: 10.1016/j.ajem.2012.03.025.
- [10] L. Muller *et al.*, « An Increase in Aortic Blood Flow after an Infusion of 100 ml Colloid over 1 Minute Can Predict Fluid Responsiveness », *Anesthesiology*, vol. 115, n° 3, p. 541-547, sept. 2011, doi: 10.1097/ALN.0b013e318229a500.
- [11] D. J. Blehar, B. Barton, et R. J. Gaspari, « Learning Curves in Emergency Ultrasound Education », *Acad Emerg Med*, vol. 22, n° 5, p. 574-582, mai 2015, doi: 10.1111/acem.12653.
- [12] T. B. Jang, R. Jack Casey, P. Dyne, et A. Kaji, « The Learning Curve of Resident Physicians Using Emergency Ultrasonography for Obstructive Uropathy: US FOR HYDRO », *Academic Emergency Medicine*, vol. 17, n° 9, p. 1024-1027, sept. 2010, doi: 10.1111/j.1553-2712.2010.00850.x.
- [13] J. Kim *et al.*, « The learning curve in diagnosing acute appendicitis with emergency sonography among novice emergency medicine residents », *J Clin Ultrasound*, vol. 46, n° 5, p. 305-310, juin 2018, doi: 10.1002/jcu.22577.

- [14] Y. Lee, H. Shin, C. Kim, I. Lee, et H. J. Choi, « Learning curve-cumulative summation analysis of visual estimation of left ventricular function in novice practitioners: A STROBE-compliant article », *Medicine*, vol. 98, n° 14, p. e15191, avr. 2019, doi: 10.1097/MD.00000000000015191.
- [15] D. J. Biau, M. Resche-Rigon, G. Godiris-Petit, R. S. Nizard, et R. Porcher, « Quality control of surgical and interventional procedures: a review of the CUSUM », *Quality and Safety in Health Care*, vol. 16, n° 3, p. 203-207, juin 2007, doi: 10.1136/qshc.2006.020776.
- [16] D. J. Biau, S. M. Williams, M. M. Schlup, R. S. Nizard, et R. Porcher, « Quantitative and individualized assessment of the learning curve using LC-CUSUM », *British Journal of Surgery*, vol. 95, n° 7, p. 925-929, juin 2008, doi: 10.1002/bjs.6056.
- [17] Y.-K. Lee, D. J. Biau, B.-H. Yoon, T.-Y. Kim, Y.-C. Ha, et K.-H. Koo, « Learning Curve of Acetabular Cup Positioning in Total Hip Arthroplasty Using a Cumulative Summation Test for Learning Curve (LC-CUSUM) », *The Journal of Arthroplasty*, vol. 29, n° 3, p. 586-589, mars 2014, doi: 10.1016/j.arth.2013.07.023.
- [18] S. Je, Y. Cho, H. J. Choi, B. Kang, T. Lim, et H. Kang, « An application of the learning curve–cumulative summation test to evaluate training for endotracheal intubation in emergency medicine », *Emerg Med J*, vol. 32, n° 4, p. 291-294, avr. 2015, doi: 10.1136/emered-2013-202470.
- [19] D. J. Biau et R. Porcher, « A method for monitoring a process from an out of control to an in control state: Application to the learning curve », *Statist. Med.*, vol. 29, n° 18, p. 1900-1909, août 2010, doi: 10.1002/sim.3947.
- [20] L. Zieleskiewicz *et al.*, « Point-of-care ultrasound in intensive care units: assessment of 1073 procedures in a multicentric, prospective, observational study », *Intensive Care Med*, vol. 41, n° 9, p. 1638-1647, sept. 2015, doi: 10.1007/s00134-015-3952-5.
- [21] M. Oks *et al.*, « The Effect of Point-of-Care Ultrasonography on Imaging Studies in the Medical ICU », *Chest*, vol. 146, n° 6, p. 1574-1577, déc. 2014, doi: 10.1378/chest.14-0728.
- [22] T. Boulain *et al.*, « Volume expansion in the first 4 days of shock: a prospective multicentre study in 19 French intensive care units », *Intensive Care Med*, vol. 41, n° 2, p. 248-256, févr. 2015, doi: 10.1007/s00134-014-3576-1.
- [23] M. Martinez *et al.*, « Deuxième niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé », *Ann. Fr. Med. Urgence*, vol. 8, n° 3, p. 193-202, juin 2018, doi: 10.3166/afmu-2018-0047.
- [24] P. Vignon *et al.*, « Focused training for goal-oriented hand-held echocardiography performed by noncardiologist residents in the intensive care unit », *Intensive Care Med*, vol. 33, n° 10, p. 1795-1799, oct. 2007, doi: 10.1007/s00134-007-0742-8.
- [25] N. T. Townsend, J. Kendall, C. Barnett, et T. Robinson, « An Effective Curriculum for Focused Assessment Diagnostic Echocardiography: Establishing the Learning Curve in Surgical Residents », *Journal of Surgical Education*, vol. 73, n° 2, p. 190-196, mars 2016, doi: 10.1016/j.jsurg.2015.10.009.

## 7 Images

Figure 1 : Représentation des 4 coupes en ETT .....	6
Figure 2 : Représentation de la coupe 5 cavités .....	7
Figure 3 : Nombre de mesures par interne .....	15
Figure 4 : Total homme/femme .....	15
Figure 5 : Nombre de mesures en fonction du service d'hospitalisation.....	16
Figure 6 : Nombre de mesures en fonction de l'indication de l'ETT .....	16
Figure 7 : Nombre d'ETT en fonction du service par interne .....	17
Figure 8 : Courbes d'apprentissage LC-CUSUM .....	18
Figure 9 : Positions des patients .....	18
Figure 10 : Nombre de modifications de prise en charge des patients par interne.....	20
Figure 11 : Corrélation entre l'autoévaluation et l'hétéroévaluation.....	20

## 8 Tableaux

Tableau 1 : Performance pour n = 50 échographies .....	14
Tableau 2 : Moyenne et écart-type des notes attribuées pour chaque critère de qualité d'une mesure d'ITV sous aortique .....	21

## 9 Annexe 1 : Formulaire de recueil des données

### Courbe d'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique chez les internes en médecine d'urgence

Maintenant que nous avons le cours sur l'échocardiographie hémodynamique, nous sommes sensés faire une mesure d'ITV à chaque ETT. Dans ce cadre, merci de bien vouloir répondre à ce formulaire et de prendre en photo l'écran de votre échographe lors de votre ETT : 1 photo de la mesure d'ITV qui comprend le doppler pulsé et la coupe 5 cavités en plus petit, mais si vous pouvez prendre deux photos (1 de la 5 cavités et 1 de l'ITV), ce serait encore mieux ! (je vous ai mis 2 exemples de photos attendues)

En cas de situation d'urgence (par exemple échocardiographie d'un patient en OAP flash, ou un patient en arrêt cardiaque), bien évidemment que vous ne pourrez pas sortir votre téléphone pour prendre en photo l'écran, mais pensez bien à enregistrer la photo sur l'appareil afin de me l'envoyer plus tard.

De même, si vous faites plusieurs échographies en peu de temps au même patient (typiquement une épreuve de remplissage), il faut m'envoyer à chaque fois la photo.

Cette photo peut se faire avec votre portable (pour que ce soit rapide mais avec optimisation de la qualité le plus possible) ; si toutefois vous avez la possibilité d'extraire les images de l'échographe ça peut être encore mieux.

Vous pouvez joindre cette photo au formulaire (cf 1ère question) ; si cela pose problème, vous pouvez aussi me l'envoyer à l'adresse  ou au

J'espère que cela ne vous prendra pas trop de temps, la photo par portable est sensée faciliter les choses. Je vous remercie énormément pour votre participation !

Anaïs

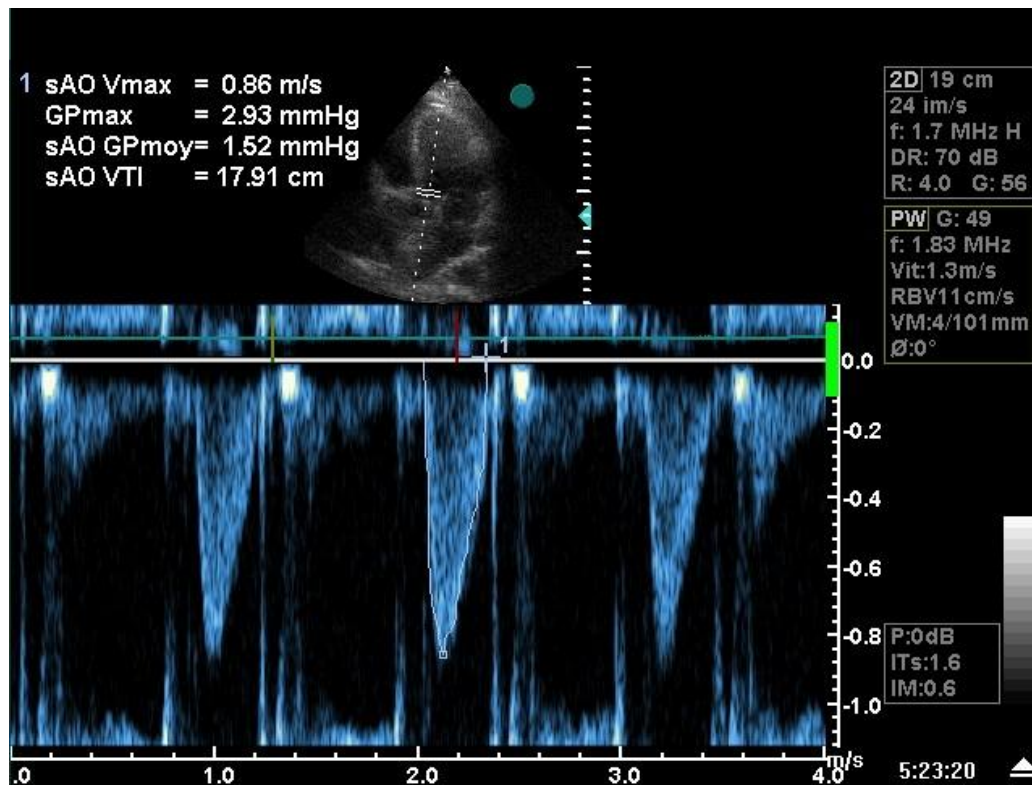
---

\*Obligatoire

Exemple de coupe 5 cavités



Exemple d'ITV sous aortique



1. Votre/vos photos d'ITV

Fichiers envoyés :



2. Votre prénom \*

*Une seule réponse possible.*

3. Âge du patient \*

---

4. Sexe du patient \*

*Une seule réponse possible.*

Homme

Femme

5. Service d'hospitalisation \*

*Une seule réponse possible.*

Urgences

Médecine

Réanimation

Cardiologie

Autre : \_\_\_\_\_

6. Fréquence cardiaque, en bpm \*

\_\_\_\_\_

7. PAs, en mmHg \*

\_\_\_\_\_

8. PAd, en mmHg \*

\_\_\_\_\_

9. Température, en °C \*

\_\_\_\_\_

10. SpO2, en % \*

\_\_\_\_\_

11. Indication de l'ETT \*

*Une seule réponse possible.*

- Choc (si choc septique, spécifiez le)
- Détresse respiratoire
- Douleur thoracique
- Autre : \_\_\_\_\_

12. Position du patient \*

*Une seule réponse possible.*

- Décubitus dorsal
- Décubitus latéral gauche
- Position proclive 30-45°

13. FEVG de base si connue

*Une seule réponse possible.*

- < 30%
- 30-50%
- > 50%

14. Echogénicité de votre patient(e) \*

*Une seule réponse possible.*

- Médiocre
- Acceptable
- Très bonne

15. Durée nécessaire pour la mesure de l'ITV sous aortique de votre patient(e), en minutes \*

---

16. Cette mesure a-t-elle entraîné une modification de prise en charge du patient ? \*

*Plusieurs réponses possibles.*

- Non  
 Changement diagnostique  
 Changement thérapeutique

17. Votre auto-évaluation (note sur 5) \*

*Une seule réponse possible.*

- 0 : je n'ai pas réussi à faire la mesure d'ITV  
 1 : ITV médiocre, ininterprétable  
 2 : ITV difficile, difficilement interprétable  
 3 : mesure d'ITV me suffisant pour conclure  
 4 : bonne ITV, plus de la moitié des critères de qualité sont présents  
 5 : tous les critères de qualité sont présents selon vous

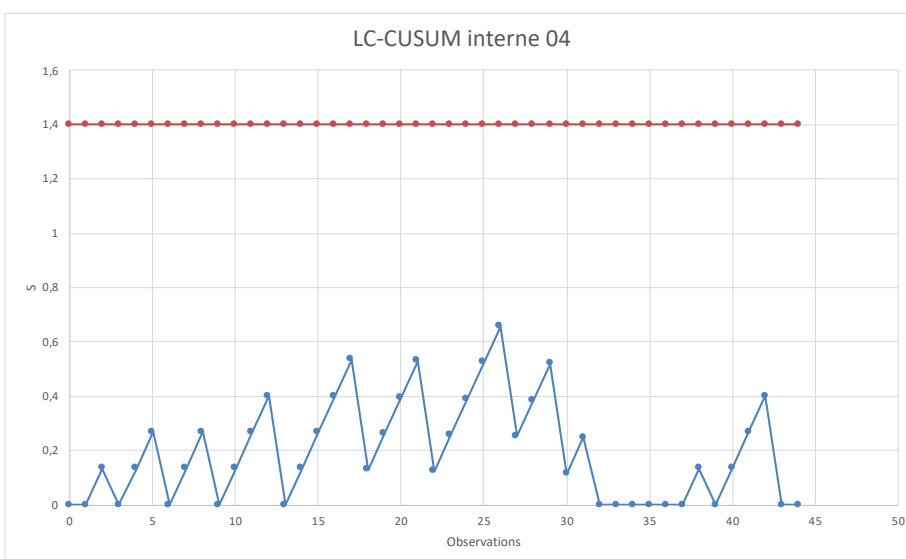
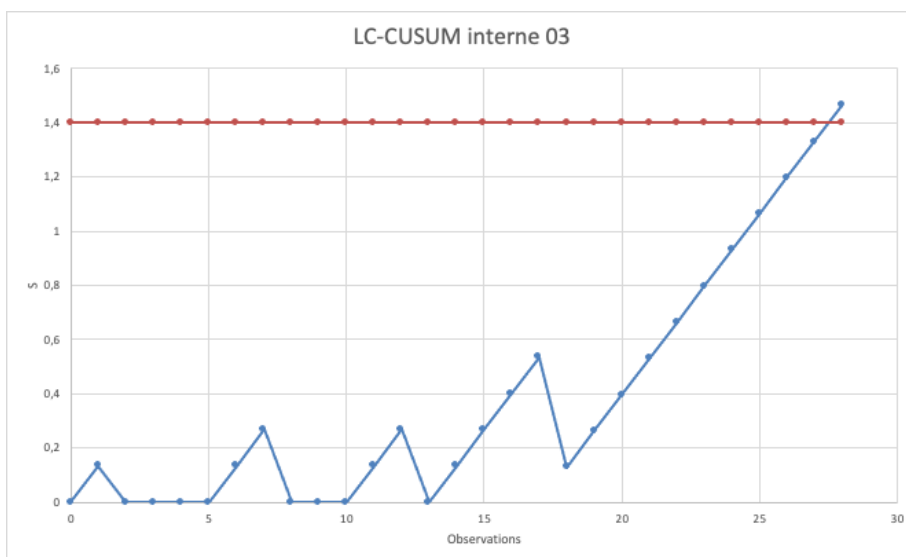
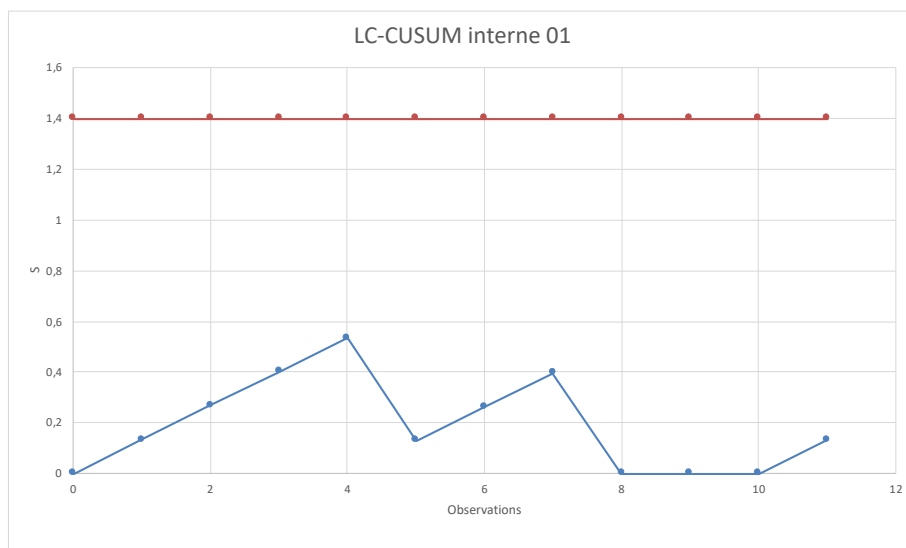
18. Si votre échocardiographie a été contrôlée par l'un de vos seniors, les résultats sont-ils concordants ?

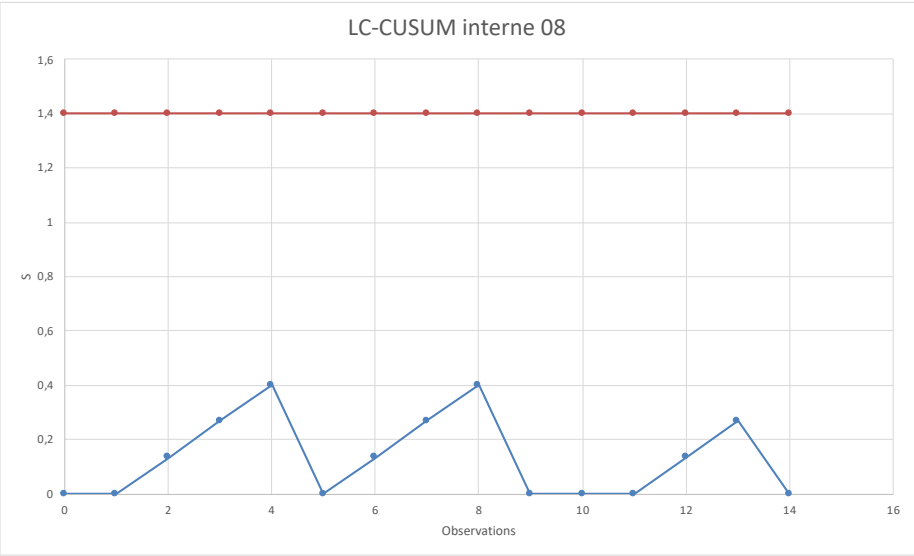
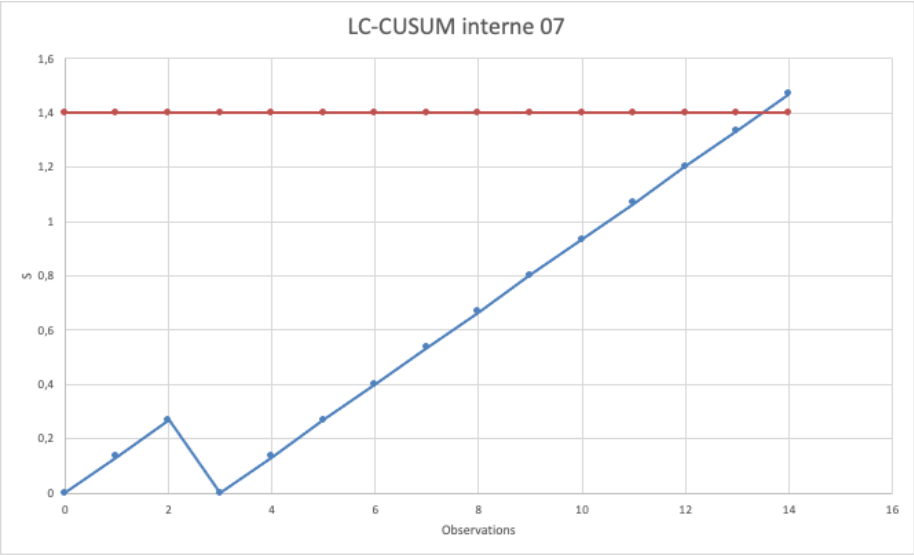
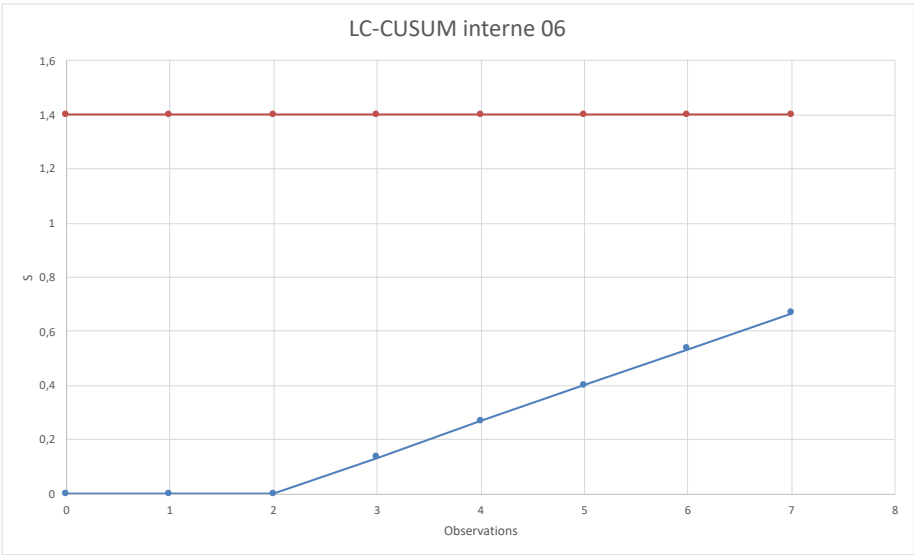
*Une seule réponse possible.*

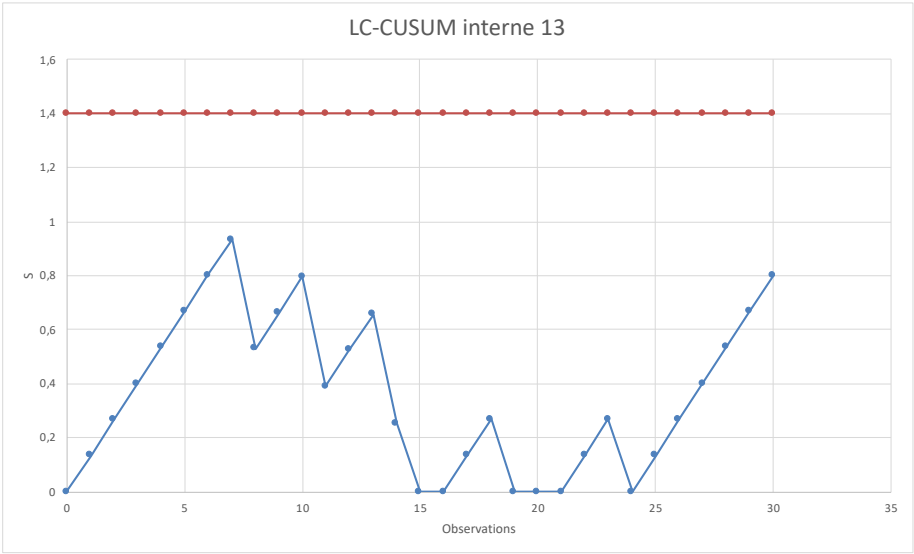
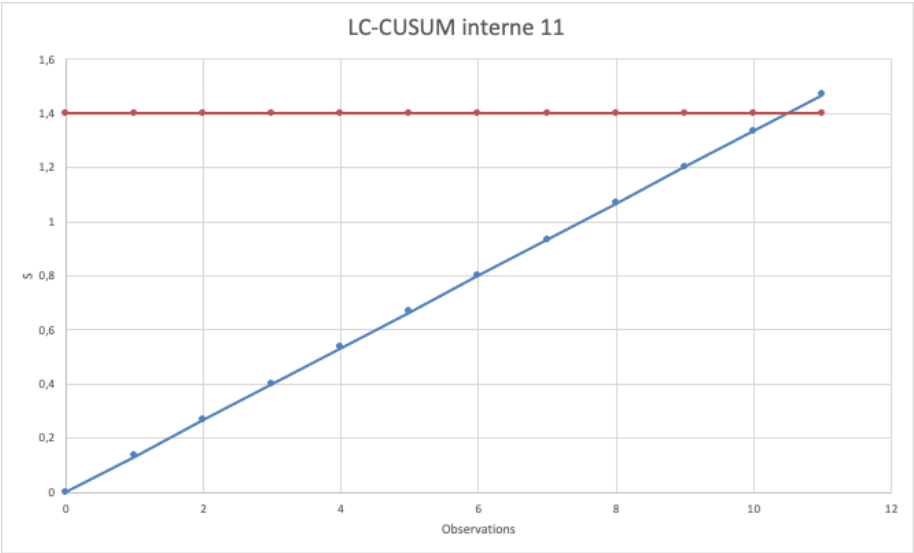
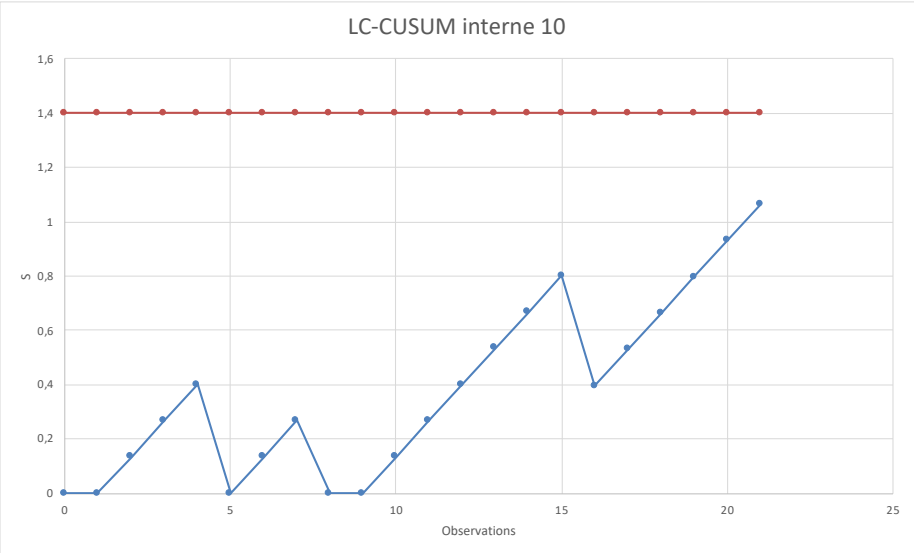
- Oui  
 Non

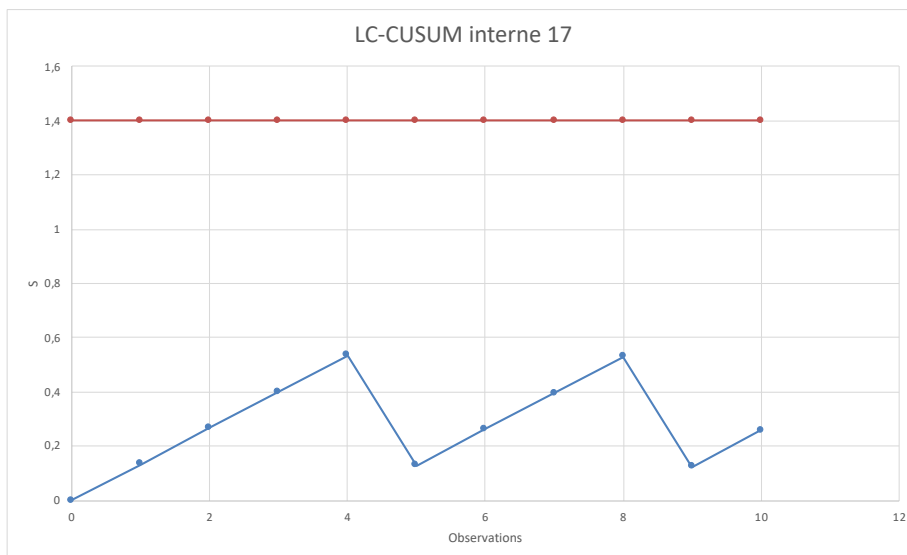
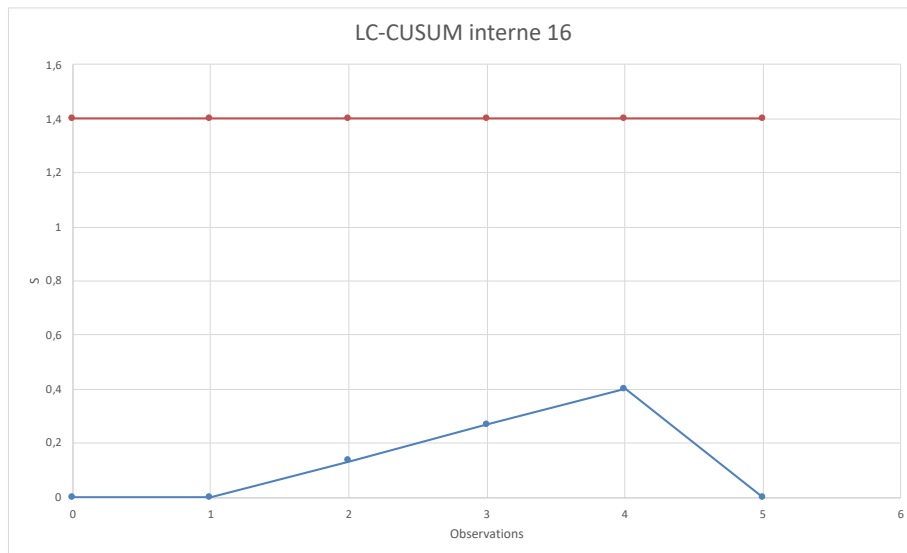
---

## 10 Annexe 2 : Courbes d'apprentissage LC-CUSUM









## 11 Liste des abréviations

ECMU : échographie clinique en médecine d'urgence

SFMU : société française de médecine d'urgence

ETT : échocardiographie transthoracique

ITV : intégrale temps-vitesse

CHU : centre hospitalier universitaire

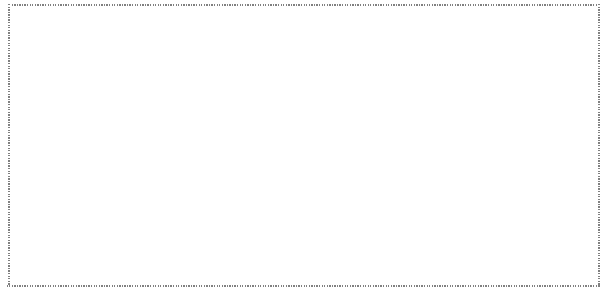
FEVG : fraction d'éjection ventriculaire gauche

LC-CUSUM : Learning Curve CUMulative SUMmation test

VES : volume d'éjection systolique



**Vu, le Président du Jury,**  
(tampon et signature)



Professeur Emmanuel MONTASSIER

**Vu, le Directeur de Thèse,**  
(tampon et signature)



Professeur Philippe LE CONTE

**Vu, le Doyen de la Faculté,**



Professeur Pascale JOLLIET

NOM : HERRAULT

PRENOM : Anaïs

**Titre de Thèse** : Courbe d'apprentissage de la mesure de l'ITV sous aortique chez les internes en médecine d'urgence du CHU de Nantes

---

## RESUME

Introduction : Dans un contexte d'utilisation croissante de l'échographie clinique aux urgences, la mesure d'une ITV sous aortique peut s'avérer précieuse pour la prise en charge d'un patient en état de choc. L'objectif de cette étude était de déterminer le nombre d'échocardiographies qui doivent être réalisées par un interne pour atteindre un niveau de précision suffisant à une bonne interprétation de l'ITV sous aortique.

Méthodes : Étude observationnelle prospective de cohorte. Les courbes d'apprentissage ont été obtenues grâce à l'analyse LC-CUSUM.

Résultats : Sur 11 internes inclus dans l'analyse statistique, seuls trois ont démontré une acquisition de la compétence, en 28, 14 et 11 mesures.

Conclusion : Devant ce faible taux, il n'est pas possible de formuler de nombre moyen de mesures à réaliser pour être compétent pour la mesure de l'ITV sous aortique. Des études complémentaires de plus grande envergure devront être réalisées pour répondre à cette problématique.

---

## MOTS-CLES

ECHOCARDIOGRAPHIE – ITV SOUS AORTIQUE – COURBE D'APPRENTISSAGE – INTERNES – MEDECINE D'URGENCE - LC-CUSUM