



**HAL**  
open science

# 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

Maxime Aurian

## ► To cite this version:

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. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02151056

**HAL Id: dumas-02151056**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02151056>**

Submitted on 7 Jun 2019

**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.

Université de Bordeaux  
U.F.R. DES SCIENCES MEDICALES

Année 2019

N° : 56

Thèse pour l'obtention du  
DIPLOME d'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE  
Spécialité Médecine Générale

Présentée et soutenue publiquement le :  
06 Mai 2019  
À Bordeaux

Par Maxime AURIAN  
*Elève de l'Ecole du Val de Grâce*  
*Ancien élève de l'Ecole de Santé des Armées*  
*Ancien élève de l'Ecole du Service de Santé des Armées de Lyon-Bron*

Né le 24/04/1991 à Libourne (33)

COURBE D'APPRENTISSAGE PAR LC-CUSUM DE  
L'ECHOGRAPHIE D'URGENCE CHEZ LES INTERNES DES  
HOPITAUX DES ARMEES (SPECIALITE MEDECINE GENERALE) :  
IMPACT SUR LA FORMATION OPERATIONNELLE

**Directeur de thèse :**

Monsieur le Docteur Nicolas FRITSCH

**Rapporteur de thèse :**

Monsieur le Professeur Stéphane TRAVERS

**Jury :**

Monsieur le Professeur Luc AIGLE	: Président
Monsieur le Professeur Philippe CASTERA	: Juge
Monsieur le Professeur Bruno FONTAINE	: Juge
Monsieur le Docteur Christophe DUBECQ	: Juge
Monsieur le Docteur Paul-Vincent MARTIN	: Juge

## **ÉCOLE DU VAL DE GRACE**

### **A Monsieur le médecin général Humbert BOISSEAUX**

Directeur de l'École du Val-de-Grâce

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Chevalier de la Légion d'honneur

Officier dans l'Ordre National du Mérite

Chevalier de l'Ordre des Palmes académiques

### **A Madame le médecin-chef des services hors classe**

**Catherine CRÉACH nom d'usage THIOLET**

Directrice-adjointe de l'École du Val-de-Grâce

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Chevalier de la Légion d'honneur

Officier dans l'Ordre National du Mérite

## **A L'HÔPITAL D'INSTRUCTION DES ARMÉES ROBERT PICQUÉ**

### **A Monsieur le Médecin Général Inspecteur Fabrice MONCADE**

Médecin chef de l'Hôpital d'Instruction des Armées Robert PICQUE

Chevalier de la Légion d'Honneur

Officier de l'Ordre National du Mérite

Croix de la Valeur Militaire

## **A NOTRE PRESIDENT DE JURY**

### **A Monsieur le Médecin en chef Luc AIGLE**

Professeur agrégé de l'École du Val-de-Grâce

Médecin responsable de la 154ème Antenne médicale d'Aubagne

*Vous nous faites le grand honneur de présider notre jury. Nous vous remercions de l'intérêt que vous avez voulu porter à notre travail. Nous vous prions d'accepter l'assurance de notre profond respect.*

## **A NOTRE DIRECTEUR DU JURY**

### **A Monsieur le Médecin en Chef Nicolas FRITSCH**

Spécialiste des Hôpitaux des Armées

Pôle Bloc Anesthésie Réanimation Urgences, Hôpital d'Instruction des Armées Robert Picqué

*Merci d'avoir dirigé cette thèse, et de m'avoir guidé tout au long de ce travail. Sans toi, je n'aurais jamais pu mener à terme ce projet. Merci d'avoir toujours été disponible. Ton expérience opérationnelle mais également en tant que formateur ainsi que tes conseils avisés m'ont permis d'aborder de la meilleure manière possible ce travail. J'espère avoir été à la hauteur de celui-ci.*

## **A NOTRE RAPPORTEUR**

### **A Monsieur le Médecin en Chef Stéphane TRAVERS**

Professeur agrégé de l'École du Val-de-Grâce

Médecin responsable de la 12ème Antenne Médicale de Villacoublay

*Nous sommes honorés de l'intérêt que vous avez portés à ce travail. Nous vous remercions de la réactivité à laquelle vous avez évalué ce travail ainsi que vos remarques et conseils toujours positifs. Nous vous prions d'accepter l'assurance de notre profond respect.*

## **A NOS JUGES**

### **A Monsieur le Docteur Philippe CASTERA**

Professeur associé au Département de Médecine Générale de l'Université de Bordeaux

Médecin généraliste

*Nous sommes honorés de l'intérêt que vous avez porté à notre travail. Nous vous remercions pour vos enseignements dispensés au cours de notre cursus. Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir accepté de juger ce travail.*

### **A Monsieur le Médecin Chef des Services Bruno Fontaine**

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Spécialiste des Hôpitaux des Armées, Chef du Pôle Bloc-Anesthésie-Réanimation-Urgences

*Nous sommes honorés de l'intérêt que vous avez porté à notre travail et de nous honorer de votre présence. Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir accepté de juger ce travail.*

### **A Monsieur le Médecin en Chef Christophe Dubecq**

Docteur en Médecine Générale

Médecin de la 4<sup>eme</sup> Antenne Médicale Spécialisée de Bayonne

*Nous sommes honorés de l'intérêt que vous avez porté à notre travail et de nous honorer de votre présence. Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir accepté de juger ce travail et ce malgré vos impératifs.*

### **A Monsieur le Médecin Principal Paul-Vincent Martin**

Docteur en Médecine Générale

Médecin urgentiste à l'HIA Percy

*Nous sommes honorés de l'intérêt que vous avez porté à notre travail et de nous honorer de votre présence. Nous vous remercions de votre investissement vis-à-vis des IHA de Percy pour le déroulement de ce projet. Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir accepté de juger ce travail.*

## **A ma Famille :**

A mes Parents, soutiens indéfectibles dans tous les moments que j'ai vécus. Chacun à sa façon, vous m'avez construit et je vous en serai éternellement reconnaissant. Vous m'avez élevé dans le meilleur cadre qu'un enfant puisse imaginer. Merci ne suffirait pas. Poursuivez vos rêves et projets pas encore réalisés, on y arrive forcément un jour, il faut se lancer. De toute façon, les nombres l'ont déjà dit....

A Paul, mon frère, toujours dans mon sillage, souvent loin des yeux, mais un plaisir sincère à chaque retrouvaille. Tu es grand maintenant, il va falloir que je m'y fasse. Je te souhaite profondément un épanouissement total dans tout ce que tu entreprendras si ce n'est déjà pas le cas.

*Pour tout cela et bien d'autres choses, je vous aime.*

A tous les membres de ma famille, qui m'ont toujours soutenu, je vous embrasse affectueusement.

A Gaëlle, qui m'a accompagné et rassuré dans les moments les plus difficiles. Hâte de m'envoler au loin à tes cotés sous un air de guitare. Je t'aime

## **Au Premier Cercle :**

**A Deuch**, et à ce premier aménagement à la fin de Chambaran il y a 9 ans maintenant, qui nous a amené à ne plus se quitter. Toujours dirigé vers les sommets, tu disparaissais parfois le temps d'une soirée... Mais ta force de caractère, ton indépendance surdéveloppée et ta détermination dans tout ce que tu entreprenais étaient et restent encore parfois un modèle pour moi.

**A Gaby**, libournais de cœur, on ne se côtoie qu'une fois dans cette sacrée salle Boate. Ton attrait pour l'œnologie a fait de toi le cerveau de cette magnifique académie des neufs, il ne faut pas l'oublier. Ton extraordinaire joie de vivre, ton altruisme et ta loyauté sont des valeurs chères à mes yeux et c'est pour cela que cette amitié est si forte. Ne change pas.

**A Rouc**, mon malgache breton préféré. Ta folie, ta précision dans le détail et ton dévouement total auprès de ceux que tu apprécies sont des qualités que j'admire. A nos discussions absurdes parfois métaphoriquement beaucoup trop longue pour être comprises par nos confrères...de toute façon ce qui compte c'est les valeurs. Plus de raisons de réguler le bonheur ...

Ne dit-on pas qu'une amitié qui dure plus de 7 ans durera pour toujours ? .... Non mais moi je le dis.

**MERCI**

## **A mes Amis :**

Aux potes, Rory, Jeannot, Cousti, Grab, Jade, Marion, Julie, Injy, etc ... Et tous ceux que j'oublie... De bien belles années vécues à vos côtés, en espérant que cela se prolonge du moins en pensée.

Au XV de la Boate, et son légendaire entraîneur Tatane. Cette bande de fous furieux m'a fait côtoyer les meilleurs « Bons Gonz' » que je connaisse. Désormais famille et ce pour l'éternité. « Roulotte »

Aux meilleurs co-internes bordelais, Morgan, Mat et Maelle sans qui cet internat n'aurait jamais été aussi épanouissant. A Gwendo, chef de cœur présente depuis le premier jour pour essayer de former ces « bizuths ». J'espère le meilleur pour vous et que vous vous éclatez dans tout ce que vous ferez dans la vie.

A Morgane et à ces premiers moments à la Boate. Le mur d'« *After Eight* », c'était encore hier. En espérant essayer de se voir plus souvent...

A la promotion Le Nepvou De Carfort.

A Max et Emilien, toujours une guitare à la main si ce n'est plus. A quand la prochaine sonnerie du lycée...

A Natacha

## **A l'Equipe De Robert-Picqué :**

A l'ensemble de l'équipe des urgences de Robert-Picqué, qui m'ont vu grandir durant ces 3 ans au fur et à mesure des stages et gardes parfois nombreuses.

A Christophe Gramond, qui a été un soutien et un excellent formateur durant ces gardes m'ayant permis de toujours progresser et de réaliser ma maquette de DES idéale. Je te remercie très sincèrement de cet investissement.

A tous les chefs des urgences, et de MAU. Particulièrement à Gilles, pour qui ces gardes étaient un réel plaisir, j'espère partagé. Je m'entraîne chaque jour pour le « blind test » ...

A tous les infirmier(e)s et auxiliaires sanitaires, sans qui mon internat aurait été bien terne. Anne-claire, Marie, Marilyne, Julien, Meyline, Alex, François, etc ....

Au service de réanimation, qui m'a accueilli parfois bien tard toujours avec bienveillance, A Ariane, David, Phillipe et toute l'équipe.

A Laura pour ce coaching et ta disponibilité, remercie aussi l'ensemble des personnels de l'excellente équipe de la BA 120 CAZAUX.

**A tous ceux que j'ai pu oublier, qui m'ont aidé à me construire et à devenir ce que je suis devenu aujourd'hui.**

# TABLE DES MATIERES

<b>I. INTRODUCTION.....</b>	<b>12</b>
<b>II. ETAT DE L'ART EN ECHOGRAPHIE D'URGENCE .....</b>	<b>13</b>
A. L'ECHOGRAPHIE EN MEDECINE D'URGENCE .....	13
1. FAST échographie et polytraumatisé .....	13
2. Echographie pleuropulmonaire et eFAST.....	17
3. L'échocardiographie.....	20
4. Du polytraumatisé à l'échographie ciblée .....	23
B. L'ECHOGRAPHIE EN MILIEU MILITAIRE.....	26
1. Evaluation clinique du blessé de guerre.....	26
2. L'échographie de l'avant.....	29
C. FORMATION A L'ECHOGRAPHIE.....	32
1. Formation actuelle à l'échographie d'urgence.....	32
2. La formation militaire à l'échographie d'urgence.....	37
<b>III. ETUDE.....</b>	<b>40</b>
A. GENERALITES.....	40
1. Caractéristiques et population étudiée.....	40
2. Objectif.....	40
3. Critères d'inclusion / exclusion de chaque examen échographique .....	40
B. MATERIEL ET METHODE.....	41
1. Protocole de recueil de données.....	41
2. Matériel utilisé.....	45
3. Analyse statistique .....	46
<b>IV. RESULTATS.....</b>	<b>49</b>
A. LC-CUSUM .....	49
B. QUESTIONNAIRE.....	54
<b>V. DISCUSSION.....</b>	<b>58</b>
A. COMPARAISON AVEC ETAT DE L'ART.....	58
1. Echographie abdominale.....	58
2. Echographie pleuropulmonaire.....	58
3. Echographie cardiaque .....	59
B. IMPACT DE L'ANALYSE STATISTIQUE.....	60
C. ANALYSE DU QUESTIONNAIRE .....	61
D. LIMITES .....	62
E. IMPACT SUR LA FORMATION OPERATIONNELLE .....	65
F. IMPACT TECHNOLOGIQUE .....	66
G. POINTS CLES.....	67
<b>VI. CONCLUSION .....</b>	<b>68</b>
<b>VII. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>69</b>

## LISTE ABREVIATIONS

ACCP: « *American College of Chest Physicians* »  
ACEP: « *American College of Emergency Physicians* »  
ACR: Arrêt Cardio-Respiratoire  
ATLS: « *Advance Trauma Life Support* ® »  
BLUE: « *Bedside Lung Ultrasound in Emergency* »  
BPCO : Bronchopneumopathie obstructive  
CUSUM: « *Cumulative Summation* »  
DASH: « *Debriefing Assessment for Simulation in Healthcare*© »  
ECMU : Echographie Clinique en Médecine D'urgence  
eFAST: « *extended Focused Assessment with Sonography for Trauma* »  
EtCO2 : Toux de Co2 Expiré  
EVASAN : Evacuation Sanitaire  
FAST: « *Focused Assessment with Sonography for Trauma* »  
FDR : « *False Discovery Rate* »  
FEVG : Fraction d'Ejection du Ventricule Gauche  
HIA : Hôpital d'Instruction des Armées  
HTIC : Hypertension Intracrânienne  
IHA : Interne des Hôpitaux des Armées  
LC-CUSUM: « *Learning Curve Cumulative Summation* »  
OPEX : Opérations Extérieures  
PLS : Position Latérale de Sécurité  
SAU : Service d'Accueil des Urgences  
SC : Secours au Combat  
Se : Sensibilité  
SFMU : Société Française de Médecine d'Urgence  
Sp : Spécificité  
SRLF : Société de Réanimation de Langue Française  
SSA : Service de Santé des Armées  
SSH : Sérum Salé Hypertonique

TAAF : Terre Australes et Antarctiques Françaises

TDM: Tomodensitométrie

TDR: « *True Discovery Rate* »

TM : Temps-Mouvement

TVP: Thrombose Veineuse Profonde

UMO : Unité Médicale Opérationnelle

VAS : Voies Aériennes Supérieures

VCI : Veine Cave Inférieure

VD : Ventricule Droit

VG : Ventricule Gauche

VPN : Valeur Prédicative Négative

VPP : Valeur Prédicative Positive

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Performances de la FAST échographie .....	15
Tableau 2: Performances pour n = 50 échographies .....	48
Tableau 3: Taux d'échec en pourcentage de la concordance diagnostique selon les coupes et par étudiant .....	53

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 et Figure 2: Positionnement échographique FAST .....	14
Figure 3: Algorithme prise en charge du patient traumatisé abdominal .....	16
Figure 4: Positionnement échographie eFAST .....	17
Figure 5: Zones d'exploration de l'échographie pulmonaire par D.Lichtenstein .....	18
Figure 6: Coupe longitudinale pulmonaire d'un poumon sain et Temps-Mouvement de ce même poumon .....	18
Figure 7: BLUE Protocol (PLAPS : Syndrome Pleural et/ou Alvéolaire Postéro-Latéral) .....	20
Figure 8: Coupes échocardiographie.....	21
Figure 9: Chaîne de santé du SSA.....	26
Figure 10: Extrait du carnet de recueil des IHA.....	42
Figure 11: Questionnaire d'auto-évaluation des IHA à l'issue des inclusions .....	44
Figure 12: échographe VScan Dual Probe® .....	45
Figure 13: échographe GE NEXTGEN LOGIQ e R6®.....	45
Figure 14: Courbes d'apprentissages LC-CUSUM : Echographie abdominale .....	50
Figure 15: Courbes d'apprentissages LC-CUSUM : Echographie pleuropulmonaire.....	51
Figure 16: Courbes d'apprentissages LC-CUSUM : Echographie cardiaque .....	52
Figure 17: Evaluation de la formation théorique .....	54
Figure 18: Evaluation de la formation pratique .....	54
Figure 19: Evaluation de la faisabilité et accessibilité de l'échographie durant l'étude.....	55
Figure 20: Remplissage du carnet de suivi.....	55
Figure 21: Auto-évaluation de la compétence en échographie sans séniorisation au SAU .....	56
Figure 22: Auto-évaluation de la compétence opérationnelle en échographie dans l'hypothèse d'un départ en opérations extérieures.....	56

## I. INTRODUCTION

En médecine d'urgence, l'utilisation de l'échographie est devenue un outil essentiel dans l'optimisation de la prise en charge des patients. En médecine pré hospitalière ou en service d'accueil d'urgence, l'échographie trouve toute sa place dans le prolongement de l'examen clinique avec des applications en termes de diagnostic, de pronostic et de suivi thérapeutique (1,2).

En opération extérieure, le contexte tactique, l'isolement et l'éloignement géographique rendent la pratique de la médecine militaire spécifique (3). Tous les médecins à l'avant doivent maîtriser l'échographie d'urgence pour faire face à de nombreuses situations cliniques (prise en charge du blessé de guerre, afflux massif, triage, etc.) et c'est pour cette raison qu'ils bénéficient dans le cadre de leur préparation opérationnelle d'une formation spécifique à l'échographie (4–9).

Si les moyens de formations actuels en France, dans le milieu civil comme militaire sont diversifiés (durée, usages étudiés, pratique...), aucun outil d'évaluation scientifiquement validé ne permet à l'heure actuelle de considérer l'acquisition effective de la compétence en échographie d'urgence notamment lors de la préparation opérationnelle des médecins militaires (10).

Après une mise au point à propos de l'échographie d'urgence, nous détaillerons son intérêt et ses perspectives en médecine militaire. Nous ferons ensuite le bilan de l'état actuel de la formation à l'échographie. Enfin, en s'appuyant sur notre étude prospective qui traite de l'évaluation de la courbe d'apprentissage de l'échographie d'urgence pour les Internes des Hôpitaux des Armées, spécialité médecine générale, nous discuterons de l'optimisation possible de la formation dans ce domaine et de l'impact sur la préparation opérationnelle des médecins militaires.

## II. ETAT DE L'ART EN ECHOGRAPHIE D'URGENCE

### A. L'ECHOGRAPHIE EN MEDECINE D'URGENCE

Sur les vingt dernières années, l'échographie occupe une place de plus en plus importante dans la pratique médicale d'urgence. Couplée à l'évaluation clinique, son apport diagnostique, pronostique et thérapeutique en fait un outil incontournable à maîtriser.

#### 1. FAST échographie et polytraumatisé

C'est dans les années 1970 qu'une des premières utilisations de l'échographie en médecine d'urgence est décrite en Europe sur les traumatisés abdominaux (11). De nombreuses études apparaissent dans les années 1990, montrant l'intérêt de celle-ci pour le diagnostic d'épanchements péritonéaux et péricardiques chez le polytraumatisé avec des performances intéressantes (12–25) (Tableau 1).

Rozycki et al. ont décrit sur 1227 patients ayant un traumatisme abdominal que l'échographie pratiquée par des chirurgiens urgentistes était un moyen de diagnostic rapide, sensible (83.3%) et spécifique (99.7%) à forte valeur prédictive négative (VPN à 95 %) pour la détection d'épanchements intra-abdominaux et péricardiques (14,22,26).

Entre 1993 et 1999, un protocole appelé « *Focused Assessment with Sonography for Trauma* » (FAST) apparaît, permettant de standardiser l'échographie d'urgence pour les traumatisés abdominaux (8). Une revue de littérature récente actualise ce protocole confirmant sa place dans la prise en charge du patient traumatisé (27).

En pratique, il regroupe trois incidences abdominales et une incidence péricardique (sous xiphœidienne) dont le but est de déterminer la présence ou l'absence d'épanchement liquidien péricardique ou péritonéal. L'espace hépatorénal ou loge de Morrison, l'espace spléno-rénal ou loge de Köhler, le cul de sac de Douglas et la loge péricardique ont été retenus comme des coupes références échographiques (Figure 1 et Figure 2).

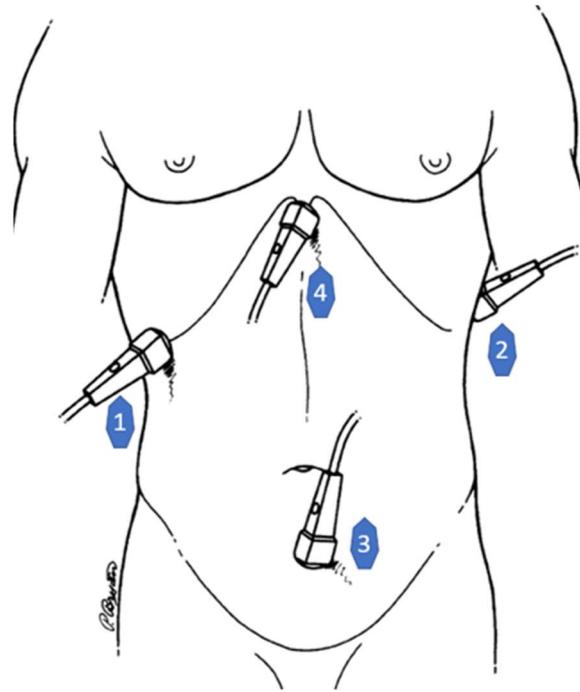


Figure 1: Positionnement échographique FAST ; 1/ Espace hépato-rénal ; 2/ Espace spléno-rénal 3/ Cul de sac de Douglas 4/ Loge péricardique

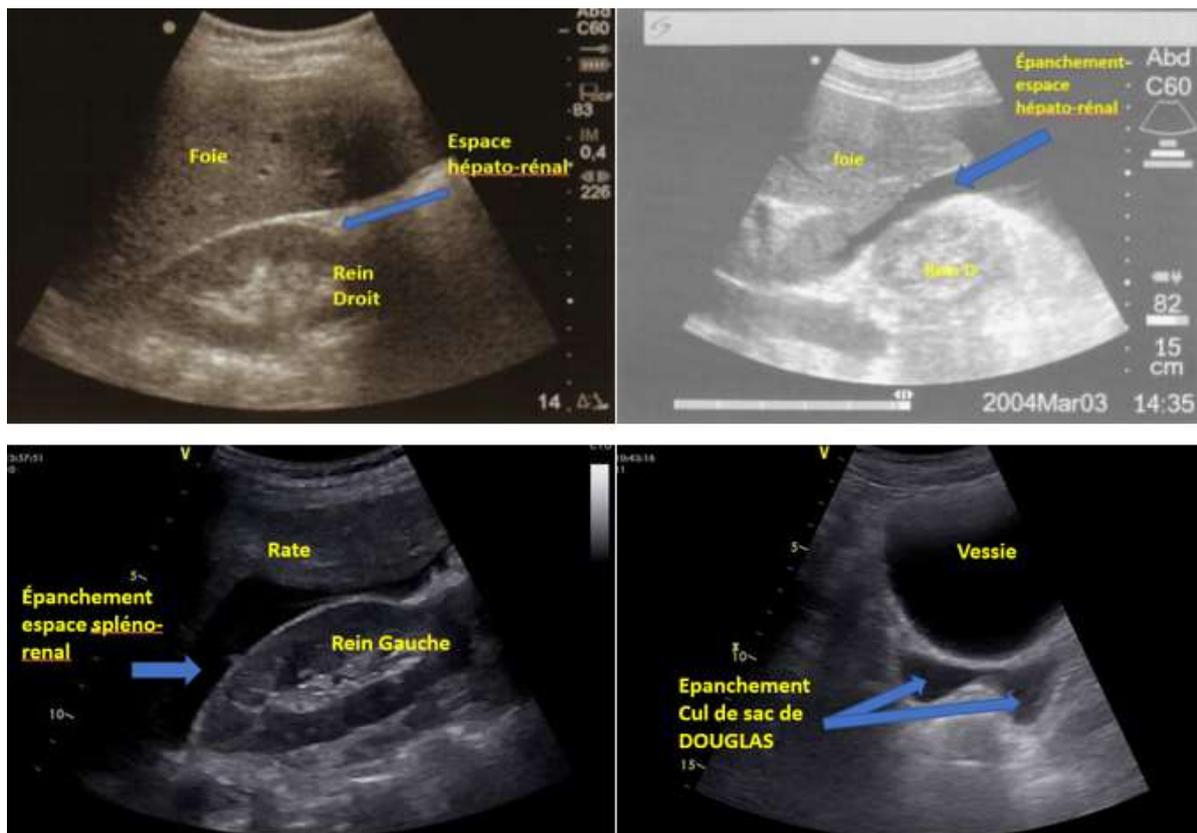


Figure 2: En haut à gauche, espace hépato-rénal de Morison ; En haut à droite, épanchement péritonéal dans la loge de Morison ; En bas à gauche, épanchement péritonéal dans l'espace spléno-rénal de Kohler ; En bas à droite, épanchement péritonéal dans le cul de sac de Douglas (données personnelles)

Tableau 1: Performances de la FAST échographie

<i>Études</i>	<i>Nombre patient</i>	<i>Sensibilité %</i>	<i>Spécificité %</i>	<i>VPN %</i>
<i>Hoffman et al, 1992</i>	291	89	97	95
<i>Tso et al, 1992</i>	163	69	99	96
<i>Rozycki et al, 1995</i>	365	90	100	98
<i>Boulanger et al, 1996</i>	400	81	97	96
<i>Ingeman et al, 1996</i>	97	75	96	92
<i>McKenney et al 1996</i>	996	88	99	98
<i>Wherret at al, 1996</i>	69	85	90	93
<i>Chiu et al, 1997</i>	772	71	100	98
<i>McElveen et al, 1997</i>	82	88	98	96
<i>Thomas et al, 1997</i>	300	81	99	98
<b><i>Rozycki et al, 1998</i></b>	<b>1227</b>	<b>83.3</b>	<b>100</b>	<b>99</b>
<i>Shackford et al, 1999</i>	234	69	99.7	92
<i>Yeo et al, 1999</i>	38	67	97	93
<b><i>McKenney et al, 2001</i></b>	<b>2576</b>	<b>86</b>	<b>98</b>	<b>98</b>

La FAST échographie se révèle donc être un examen fiable et performant pouvant concurrencer le scanner et remplacer le lavage péritonéal diagnostique dans l'évaluation de la plupart des patients atteints de traumatisme abdominal (25). Cependant, malgré des performances élevées dans le diagnostic de lésions parenchymateuses (sensibilité entre 90-92% pour les lésions hépatiques, spléniques et rénales), la réalisation de la FAST ne dispense pas de la réalisation de la tomodensitométrie corps entier qui reste l'examen de référence (28,29).

Ce protocole va standardiser la prise en charge et l'orientation du patient traumatisé (Figure 3).

Les limites de la FAST ont été décrites par Blaivas et al. sur la mise en évidence d'épanchements de faible abondance, d'hématomes rétropéritonéaux et de lésions intra-parenchymateuses (notamment intestinales) (30). Ils décrivent également l'importance fondamentale du niveau d'expérience de l'opérateur (31). Enfin, de meilleurs résultats sont retrouvés d'autant plus que le patient est instable hémodynamiquement (32).

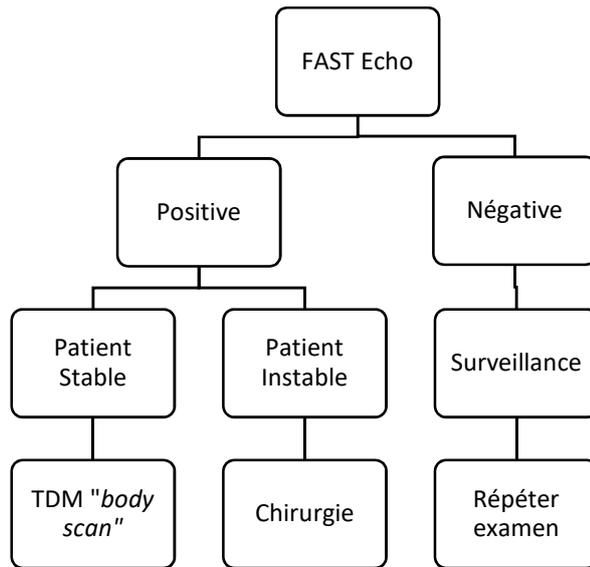


Figure 3: Algorithmme prise en charge du patient traumatisé abdominal (22)

La FAST échographie a certes un intérêt dans le diagnostic positif ou négatif d'un épanchement, cependant il est nécessaire d'évaluer l'abondance de cet épanchement afin d'orienter la prise en charge.

Le score de Mc KENNEY fait office de référence pour cette évaluation (33). Il s'agit d'un score prédictif analysant les cinq citernes majeures abdominales :

- Face supérieure hépatique
- Loge de Morrison (espace hépato-rénal)
- Face supérieure splénique
- Loge de Köhler (espace spléno-rénel)
- Cul de sac de Douglas

Mesure en cm de la citerne la plus volumineuse + Nombre de citernes atteintes

Si le score est supérieur ou égal à 3, l'indication chirurgicale est posée en urgence.

## 2. Echographie pleuropulmonaire et eFAST

La prise en charge d'un patient polytraumatisé ne se limite pas à l'évaluation des lésions abdominales. La recherche d'une atteinte pleurale (et/ou d'hémo-pneumothorax) est nécessaire. L'échographie thoracique fut longtemps considérée comme complexe car artefactée. Cependant, une analyse de ces artefacts est proposée par KirkPatrick et al. en 2004, complétant le protocole FAST avec des coupes pleuropulmonaires : eFAST (« *extended Focused Assessment with Sonography for Trauma* ») (Figure 4) (9).

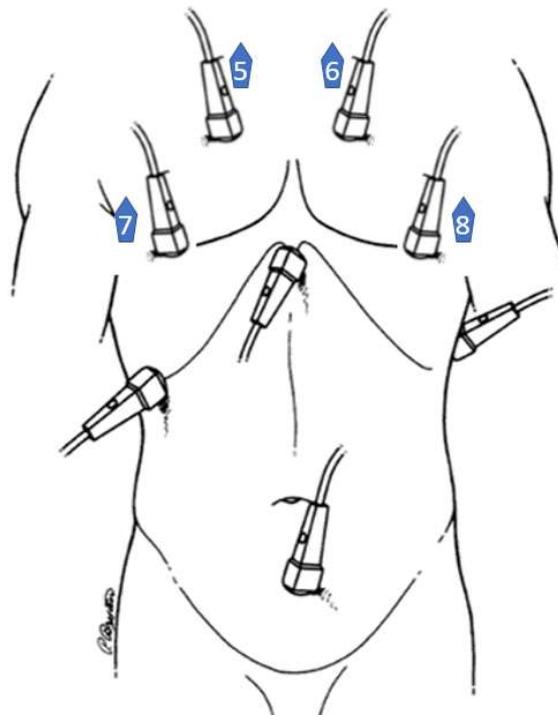


Figure 4: Positionnement échographie eFAST ; 5/ Coupe antérieure D 6/ Coupe antérieure G 7/ coupe inféro-latérale D 8/ coupe inféro-latérale G

On décrit sept principes de l'échographie pleuropulmonaire (34,35) :

- L'utilisation d'un appareil simple est adéquate.
- Le thorax est une région où l'air et les fluides ont des directions gravitationnelles opposées. Les artefacts naissent de cette proximité.
- La surface pulmonaire est large, c'est l'organe le plus volumineux. Des aires précises seront définies (Figure 5).
- L'échographie pulmonaire est largement basée sur l'analyse des artefacts (ces structures qui rendaient l'échographie pulmonaire infaisable).

- La sémiologie pleuropulmonaire part de la ligne pleurale.
- La sémiologie pleuropulmonaire est dynamique.
- Les pathologies thoraciques aiguës touchent presque toujours la ligne pleurale.

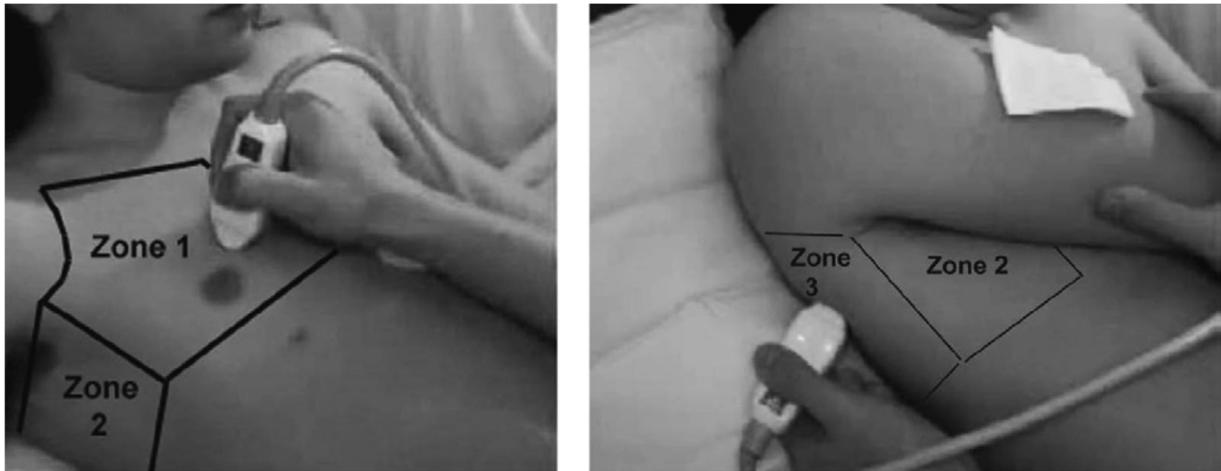


Figure 5: Zones d'exploration de l'échographie pulmonaire par D.Lichtenstein (35)

La sémiologie échographique pulmonaire normale regroupe la ligne pleurale, des lignes A, pas ou peu de lignes B, avec un aspect dit en « bord de mer » en séquence Temps-Mouvement (TM) (Figure 6).

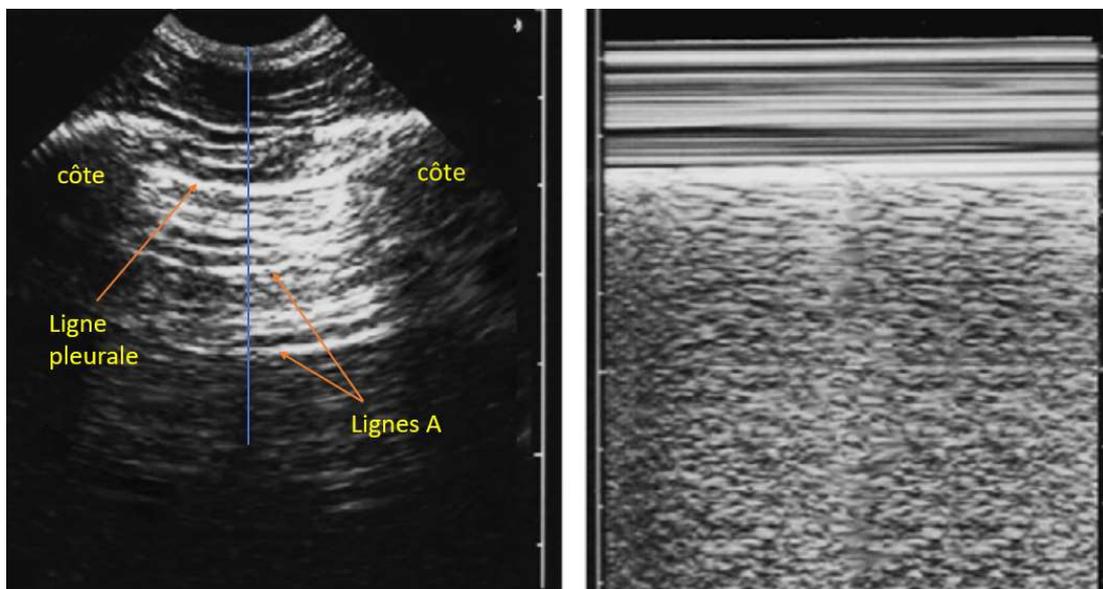


Figure 6: A gauche, coupe longitudinale pulmonaire d'un poumon sain. A droite, Temps-mouvement de ce même poumon (35)

Dans le diagnostic d'épanchements pleuraux liquidiens (hémothorax, pleurésie, etc...), de pneumothorax, de consolidations alvéolaires (pneumopathies, atélectasies, etc...) et de syndromes interstitiels (œdème aigu du poumon, pneumopathie, etc...), les performances de l'échographie sont supérieures à la radiographie standard thoracique et se rapprochent de celles du scanner (36–40). Dans la détection d'hémothorax et de pneumothorax chez le traumatisé, la spécificité est superposable (>95 %) mais la sensibilité (90-96%) est bien supérieure à la radiographie thoracique (< 50%) (36,38).

Un consensus international a publié des recommandations sur son utilisation en 2012 (40). Voici quelques principes clés :

- La présence d'un glissement pleural, de lignes B ou d'un pouls pulmonaire, exclut à 100 % la présence d'un pneumothorax dans le champ étudié.
- La présence d'au moins trois lignes B dans un espace intercostal signe un syndrome interstitiel.
- Le TDM thoracique resterait l'examen le plus performant pour une sensibilité de 100%.
- En cas d'urgence vitale, l'absence de tout mouvement de la ligne pleurale, horizontal (glissement pleural) ou vertical (pouls pleural), couplée à l'absence de ligne B, affirme le diagnostic sûr et sans risque de pneumothorax sans nécessité de recherche d'un « point poumon ».

L'échographie pleuropulmonaire apporte certes le diagnostic positif ou négatif de pneumothorax de façon plus sensible et spécifique que la radiographie thoracique, cependant elle ne permet pas la quantification de celui-ci. Seule une imagerie par rayons X permet d'apprécier l'importance du décollement.

De plus, il s'agit d'un examen non irradiant dont l'accès est plus simple que la radiographie comme le décrit Zhang et al. avec un temps médian d'obtention de l'échographie de 2.3 minutes (+/- 2.9 min) contre 20 minutes (+/- 10 min) pour la radiographie (41).

Orientés par la clinique, tous ces éléments ont permis de faire émerger un algorithme diagnostique de l'ensemble des pathologies pleuropulmonaires d'urgence : le BLUE Protocol (« *Bedside Lung Ultrasound in Emergency* ») (42,43) (Figure 7).

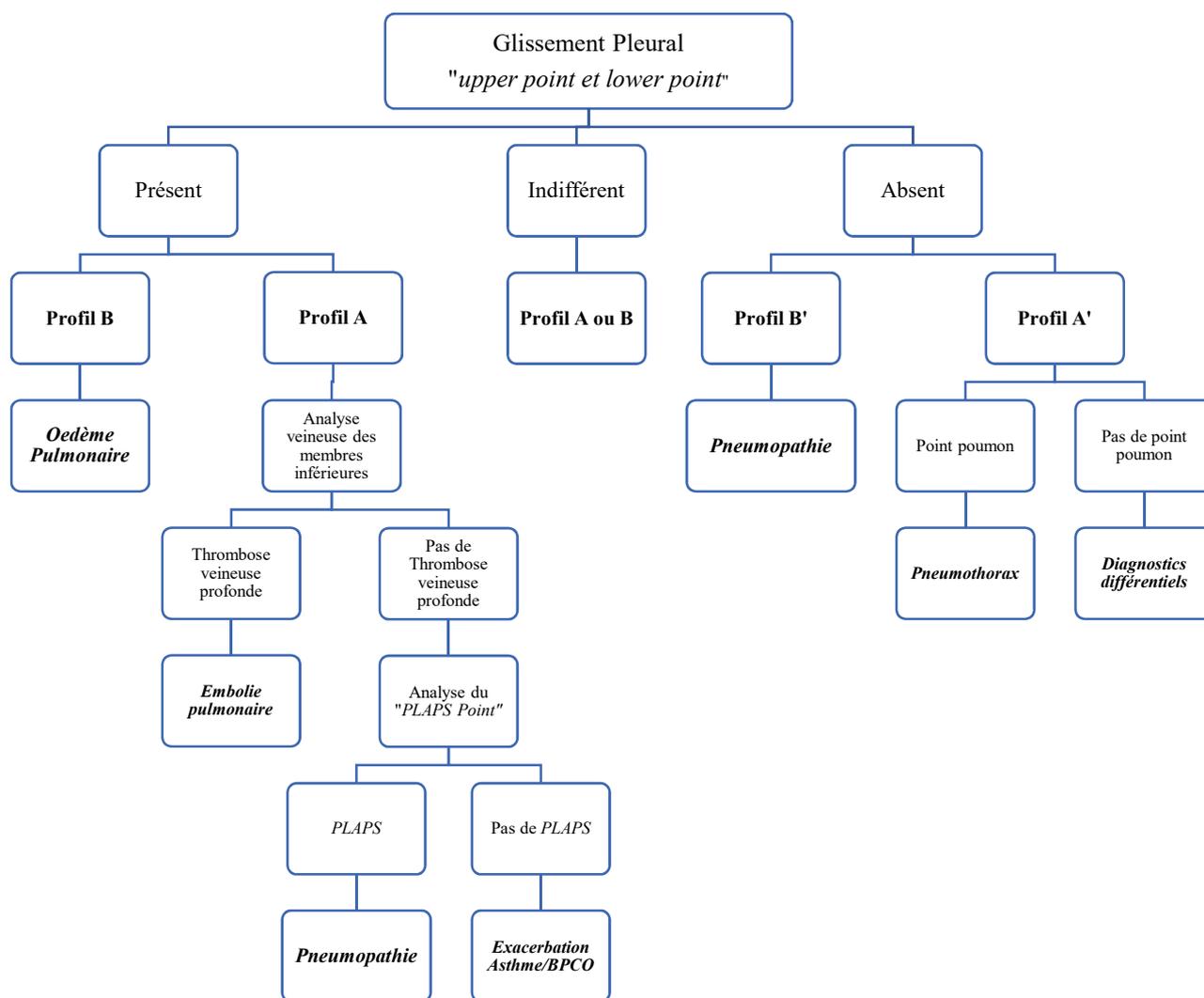


Figure 7: BLUE Protocol (PLAPS : Syndrome Pleural et/ou Alvéolaire Postéro-Latéral)

L'échographie pleuropulmonaire intégrée dans un algorithme diagnostique optimise les prises de décisions du praticien entraîné dans la prise en charge d'un patient aux urgences (39,40).

### 3. L'échocardiographie.

Les recommandations internationales sur l'échographie cardiaque ont été définies en 2005 (44) mais le champ d'utilisation de cet examen en médecine d'urgence est réduit compte tenu des modalités de prise en charge d'un patient d'urgence. En effet, une échocardiographie est indiquée pour diagnostiquer les causes curables d'arrêt cardio-respiratoire (ACR) à savoir, la tamponnade cardiaque, l'embolie pulmonaire, l'ischémie et la dissection aortique (45). Les

coupes références sont décrites par la société américaine d'échocardiographie mais deux coupes principales sont à retenir pour la médecine d'urgence et permettent d'obtenir l'ensemble des informations nécessaires au praticien pour sa prise en charge : la coupe apicale dite « quatre cavités » et la coupe xiphoidienne (Figure 8).

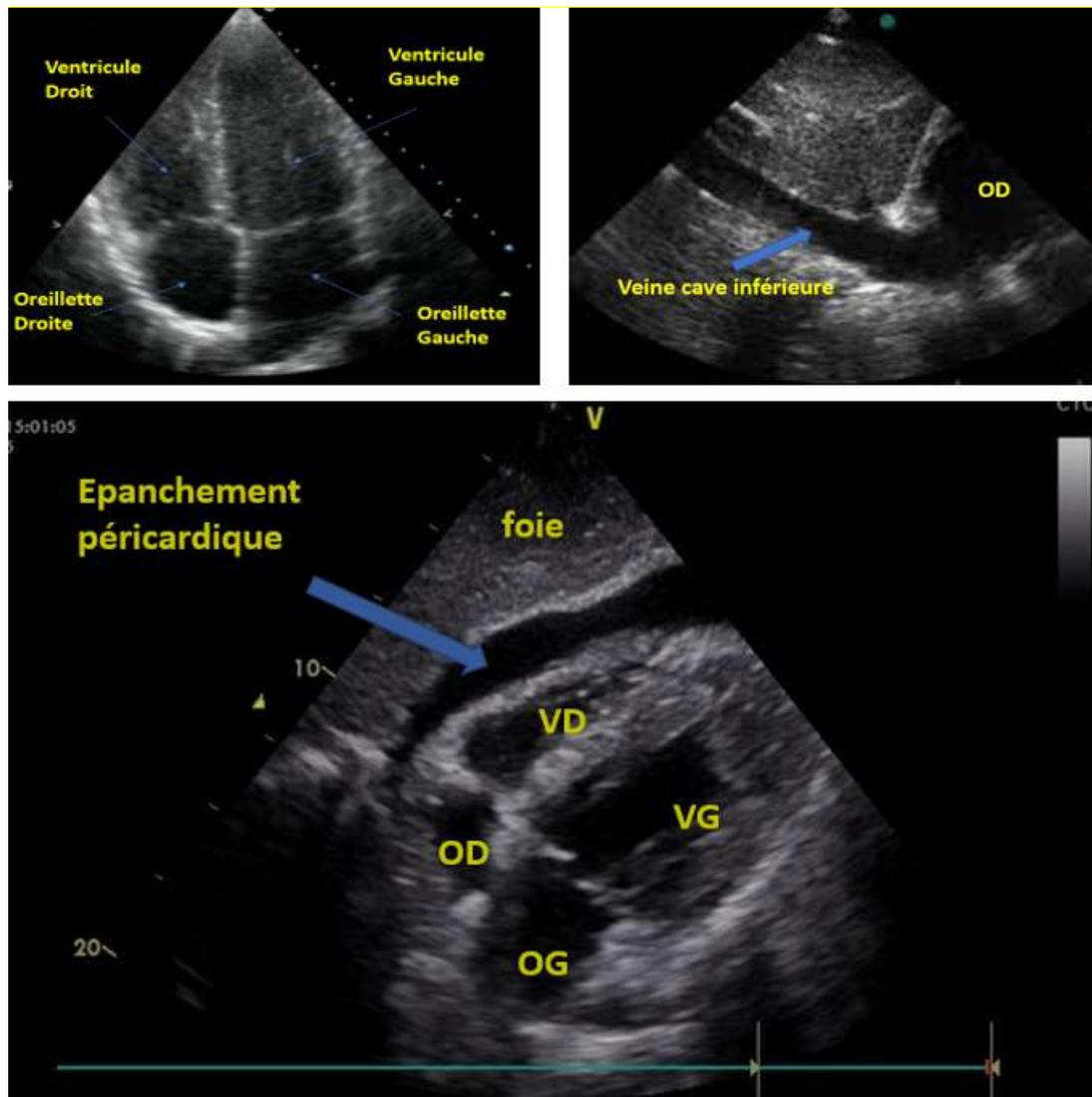


Figure 8: En haut à gauche, coupe apicale 4 cavités ; en haut à droite, coupe xiphoidienne longitudinale veine cave inférieure ; en bas, coupe xiphoidienne 4 cavités avec épanchement péricardique.

Il existe une bonne corrélation entre l'échocardiographie d'urgence réalisée par un cardiologue et celle réalisée par un urgentiste après une formation courte (46).

L'échocardiographie d'urgence a des objectifs clairs et précis, définis comme suit dans la littérature (47) :

- Evaluer la présence ou non d'un épanchement péricardique et échoguidage d'une péricardiocentèse

L'échocardiographie montre une haute sensibilité et spécificité dans la recherche d'épanchement péricardique même de faible abondance (46). Elle présente un intérêt diagnostique couplé à une possibilité de quantification de l'épanchement mais aussi thérapeutique dans le repérage et l'échoguidage de la péricardiocentèse (48).

- Apprécier la fonction systolique cardiaque globale

L'évaluation de la fonction systolique cardiaque globale est visuelle et subjective (dite « empirique » ou « semi-quantitative »). Elle analyse l'épaisseur du myocarde, sa contractilité et a pour objectif de catégoriser les patients selon leur fonction cardiaque « normale » ou « altérée ». L'évaluation semi-quantitative et l'évaluation quantitative de la fraction d'éjection du ventricule gauche est bien corrélée dans la littérature (49).

- Identifier une dilatation des cavités cardiaques droites

Pour l'urgentiste, elle est également appréciée visuellement. Il est décrit un rapport VD/VG habituel inférieur à 0,6 chez la population standard. Toute augmentation de celui-ci orientera vers une suspicion de cœur pulmonaire aigu avec comme principale cause de décès évitable l'embolie pulmonaire. Cependant, l'échocardiographie n'a d'intérêt démontré qu'en cas de forte suspicion d'embolie pulmonaire. Dans les autres cas de figure, l'échographie seule est insuffisamment performante et nécessite des examens complémentaires (50,51).

- Evaluer la volémie

L'étude de la volémie est rendue possible par l'analyse de la variabilité respiratoire de la veine cave inférieure (VCI). La coupe standard pour cette évaluation est la voie xiphœidienne. Elle va permettre dans la prise en charge d'un état de choc, d'évaluer l'état de précharge dépendance du patient en mesurant l'index de collapsibilité grâce au diamètre de la VCI en inspiration et en expiration :

$$\frac{\text{Diamètre maximal VCI} - \text{Diamètre minimal VCI}}{\text{Diamètre maximal VCI}}$$

Un index supérieur à 40 % suggère une bonne réponse au remplissage vasculaire (52). Une collapsibilité visuelle de la VCI en totalité en inspiration est en faveur d'une hypovolémie. A contrario, une VCI qui ne respire pas peut faire évoquer un diagnostic de surcharge vasculaire. Elle s'intègre depuis 2015 dans le protocole de l'Arrêt Cardio Respiratoire (ACR) selon les dernières recommandations de l' « *European Resuscitation Council* » (53).

#### 4. Du polytraumatisé à l'échographie ciblée

La médecine d'urgence se base en partie sur un principe dichotomique (oui/non) ; pour toute pathologie aiguë à la phase initiale, les protocoles de prise en charge et thérapeutiques découlent souvent d'interrogations simples : Existe-t-il un épanchement liquidien (pleural péricardique, péritonéal) ? Y a-t-il une hypovolémie ? Y-a-t-il un pneumothorax ?

L'échographie d'urgence permet de répondre à ces questions et d'orienter la prise en charge en particulier en préhospitalier. En effet, les contraintes de la médecine d'urgence préhospitalière sont multiples : isolement, situations parfois précaires et confinées, conditions climatiques parfois exigeantes, etc.... Il semblerait que l'échographie réalisée en préhospitalier n'améliore pas le traitement du patient traumatisé (54). Cependant, elle se place dans le prolongement de l'évaluation clinique et sa pertinence dans son utilisation préhospitalière est démontrée avec un bénéfice dans le triage et la prise de décision thérapeutique appropriée (5,55–58). Cela permet de hiérarchiser le degré d'urgence et d'optimiser l'orientation du patient.

Les progrès technologiques ont permis une miniaturisation des appareils avec une meilleure autonomie et une qualité d'image grandissante. L'échographe se déplace vers le patient et non plus le contraire.

Le Collège Américain de médecine d'urgence (ACEP « *American College of Emergency Physicians* ») propose en 2009 les premières recommandations sur l'utilisation de l'échographie d'urgence hors polytraumatisé (59,60). Cette échographie ciblée, nommée « *point-of-care ultrasonography* » ou échographie clinique en médecine d'urgence (ECMU), élargit les cibles échographiques non explorées par l'eFAST (61). Les auteurs décrivent également son utilisation dans les procédures d'écho-repérage et d'échoguidage de gestes thérapeutiques d'urgence.

La Société Française de Médecine d'Urgence (SFMU) a proposé en mai 2016 puis 2018 un premier et deuxième niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence (10,62) :

- Echographie abdominale :
  - Détecter un épanchement péritonéal de moyenne à grande abondance
  - Détecter une dilatation pyélocalicielle
  - Détecter une dilatation vésicale et la présence d'un cathéter intra vésical à ballonnet.
  - Détecter un anévrisme de l'aorte abdominale
- Echographie pleuropulmonaire :
  - Détecter un épanchement pleural liquidien de moyenne à grande abondance
  - Détecter et exclure un pneumothorax localisé ou étendu.
  - Détecter une condensation pulmonaire
  - Exclure la présence d'un syndrome interstitiel pulmonaire
- Echocardiographie et échographie vasculaire :
  - Détecter un épanchement péricardique de grande abondance
  - Détecter et mesurer la veine cave inférieure
  - Evaluer la fraction d'éjection du ventricule gauche de façon empirique (effondrée, intermédiaire, normale)
  - Détecter une dilatation des cavités droites et notamment du ventricule droit
  - Reconnaissance des anomalies de contractilité segmentaires du VG (niveau 2)
  - Reconnaissance de signes échographiques d'une tamponnade péricardique (niveau 2)
  - Reconnaissance de signes échographiques de cœur pulmonaire aigu (niveau 2)
  - Quantifier les pressions de remplissage du VG et identifier un trouble diastolique sévère (niveau 2)
  - Identifier une pathologie valvulaire sévère (niveau 2)
  - Mesurer le débit cardiaque et quantifier une réponse au remplissage vasculaire par mesure de l'Intégrale Temps-Vitesse (ITV) sous aortique (niveau 2)
  - Détecter la non-vacuité veineuse aux 4 points (fémoral et poplité)
  - Réalisation d'un Doppler Transcrânien chez le traumatisé crânien sévère (niveau 2)

- ECMU contextuelle :

- Intégrer l'échographie dans la prise en charge d'un état de choc
- Intégrer l'échographie dans la prise en charge d'une dyspnée
- Intégrer l'échographie dans la prise en charge d'une douleur thoracique
- Intégrer l'échographie dans la prise en charge d'un traumatisé grave
- Intégrer l'échographie dans l'échoguidage/écho-repérage des voies veineuses (périphériques et centrales) et artérielles (niveau 2)
- Intégrer l'échographie dans l'écho-repérage des ponctions liquidiennes (ascite, pleurale) ou cathéter sus pubien

Eléments notables pour lesquels il n'y a pas d'accord retenu :

- Identifier une dilatation de la voie biliaire principale
- Identifier une appendicite aiguë
- Repérer une dissection aortique
- Réalisation d'un écho doppler veineux des membres inférieurs (seul une échographie 4 points est recommandée)

**L'échographie d'urgence initialement développée pour le polytraumatisé devient désormais le prolongement de l'examen clinique dans la prise en charge d'un patient en préhospitalier mais également en SAU comme le confirme une revue de littérature très récente de Bobbia et al. (1).**

## B. L'ECHOGRAPHIE EN MILIEU MILITAIRE

La mission prioritaire du service de santé des armées (SSA) est d'assurer le soutien sanitaire des forces armées françaises en opérations extérieures.

### 1. Evaluation clinique du blessé de guerre

La chaîne de santé du service de santé des armées françaises en OPEX est singulière (Figure 9).



Figure 9: Chaîne de santé du SSA

La médecine de l'avant est protocolisée en une succession d'actes précis dont la plus importante est la prise en charge initiale. Toutes ces actions forment ce que l'on nomme le Sauvetage au Combat (SC) (3) définit comme : « un standard de soins permettant à tout combattant, quel que soit son niveau d'emploi, de concourir à la mise en condition de survie d'un blessé de guerre, sans délai et jusqu'à la prise en charge dans une unité médicale

opérationnelle (UMO) ». Il en existe trois niveaux (SC1, SC2 et SC3 ) (3). La médicalisation du blessé de guerre passe par une évaluation clinique codifiée basée sur un algorithme commun à tous les personnels de la chaîne santé appelé le SAFE MARCHE RYAN (3). Cette méthode améliore la réalisation systématique et hiérarchisée d'actions élémentaires de la prise en charge du blessé de guerre :

### **SAFE:**

**S** = « *Stop the burning process* » : Savoir répliquer

**A** = « *Assess the scene* » : Appréhender la scène dans sa globalité y compris tactique

**F** = « *Free of danger for you* » : Se mettre à l'abri

**E** = « *Evaluate* » for **ABC** : « *Airway* » (rechercher et traiter une obstruction des VAS), « *Bleeding* » (garrot), « *Cognition* » (PLS).

SAFE relève d'un niveau de qualification SC1.

### **MARCHE:**

**M** = « *Massive bleeding control* » (garrot tactique, pansement compressif, ceinture pelvienne, suture)

**A** = « *Airway* » (subluxation, nettoyage cavité buccale, Canule de Guédel, coniotomie)

**R** = « *Respiration* », FR > 30/mn (1/2 assis, oxygène, exsufflation, pansement 3 côtés, intubation)

**C** = « *Circulation* » recherche d'un pouls radial (perfusion, remplissage, adrénaline titrée)

**H** = « *Head* », le blessé ne répond pas ou mal (PLS, SSH, intubation)

**H** = « *Hypothermia* » (mise au sec, isoler du sol, couverture, chaufferette)

**E** = Evacuation

MARCHE relève d'un niveau de qualification SC2.

### **RYAN:**

**R** = Réévaluation des blessés

**Y** = Examen des Yeux et de la sphère ORL (couvrir sans pression le globe oculaire, examiner les oreilles)

**A** = Analgésie pour une EVAcuation SANitaire (EVASAN) supportable (immobilisation, morphine)

**N** = Nettoyer et parer les plaies (pansement simple, pansement abdominal)

RYAN relève d'un niveau de qualification SC2 et SC3 (capacité à réévaluer les blessés).

Cet algorithme clinique correspond dans le milieu civil à l' « ABCDE » ( « *Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure* » ) de l' « *Advance Trauma Life Support* ® » (ATLS®) (63).

La principale cause de décès évitable en opération extérieure est le choc hémorragique (64,65). En 2012, une étude américaine qui portait sur 4596 blessés de guerre sur théâtre d'opération extérieure, relatait que 87 % des décès, dont 91 % de cause hémorragique, étaient survenus en préhospitalier dont 24% considérés comme évitables (65).

La médicalisation de blessé de guerre en état de choc repose sur le concept de « *Damage Control Ressuscitation* » (66,67). Ce concept s'est enrichi des nombreuses leçons tirées de l'expérience militaire des conflits récents (Irak, Afghanistan) et est devenu la référence pour la prise en charge du patient traumatisé hémorragique, que ce soit en médecine de guerre ou dans le milieu civil. Il s'agit d'une approche globale et pluridisciplinaire du choc hémorragique qui a pour principal objectif la lutte contre la triade létale (68): hypothermie, acidose et coagulopathie. Initialement, cette philosophie (technique ; procédure) de prise en charge ne s'intéressait qu'à la stratégie chirurgicale (« *damage control surgery* »). Elle a été complétée par un concept de réanimation global qui débute à l'avant (« *damage control ground zero* ») et qui se poursuit en pré, per et post opératoire (« *damage control hematology* »).

Malgré une augmentation de la morbidité et des coûts de prise en charge, le « *Damage Control Ressuscitation* » permet une amélioration significative de la survie (69,70).

La prise en charge du blessé de guerre est codifiée et protocolisée afin de maîtriser du mieux possible les risques à chaque étape, dans le but d'améliorer la survie de nos blessés.

**L'échographie, outil incontournable de la médecine d'urgence du 21<sup>ème</sup> siècle vient optimiser cette prise en charge.**

## 2. L'échographie de l'avant

La prise en charge du blessé de guerre correspond à celle d'un polytraumatisé dans des conditions sanitaires et logistiques beaucoup plus pauvres qu'en milieu civil. Les médecins des forces, orientés par la clinique, se doivent de maîtriser l'échographie d'urgence, plus-value reconnue en particulier dans une utilisation en poste isolé.

En effet, on distinguera deux situations où l'apport de l'échographie est réel :

- En situation isolée, elle permet de suivre l'évolution du patient grâce à sa reproductibilité et apporte des arguments supplémentaires pour hiérarchiser et anticiper l'évacuation parfois longue.
- En cas d'afflux massif, en plus de son intérêt diagnostique, elle permet d'optimiser le triage afin de hiérarchiser les prises en charge et de réduire les délais jusqu'au bloc opératoire.

L'échographie d'urgence trouve sa place à des moments clés de la prise en charge du « *damage controle ground zero* » : lors du triage, du transport et de l'arrivée en Role 1 et 2 avec des évaluations de type eFAST.

Dubecq C., Martin PV. et al. ont fait le bilan de l'utilisation de l'échographie sur les 10 dernières années dans la médecine des forces en France mais également à l'étranger (4,6). Ils proposent la mise en place d'un « MARCHE ECHO », incluant l'échographie dans l'évaluation clinique du blessé de guerre.

### Massive bleeding control (M)

Le contrôle des hémorragies extériorisées est clinique. Cependant l'eFAST est l'examen de référence sur le terrain pour le diagnostic d'épanchements non extériorisés péritonéaux, péricardiques ou pleuropulmonaires.

### Airway (A)

Le contrôle des voies aériennes peut passer par une intubation orotrachéale voire une cricothyroïdotomie (coniotomie). L'écho repérage de la membrane crico-thyroïdienne rapide va permettre la réalisation et le contrôle du positionnement plus rapidement et plus sûrement qu'une auscultation ou une mesure du taux de CO<sub>2</sub> expiré (EtCO<sub>2</sub>) (71).

### Respiration (R)

La recherche d'épanchements pleuraux liquidiens ou gazeux est primordiale dans toute prise en charge de blessé de guerre. L'échographie pleuropulmonaire intégrée dans une eFAST permet le diagnostic de ces épanchements. Le BLUE Protocol propose une prise en charge codifiée de toute dyspnée en milieu isolé. De plus, elle permet un repérage et/ou guidage d'un drainage thoracique.

### Choc (C)

L'évaluation clinique du sauvetage au combat recommande une simple analyse des différents pouls informant sur la tolérance du patient notamment au niveau du pouls radial. Une mesure de la collapsibilité de la veine cave inférieure (VCI) informe sur la volémie et va guider le remplissage et la thérapeutique. Les coupes cardiaques (« apicale 4 cavités » et « xiphoïdiennes ») donnent accès visuellement et rapidement à la fonction systolique cardiaque globale, permettant de repérer la présence ou non d'un épanchement péricardique. Enfin, un écho guidage ou écho repérage préalable facilite la mise en place d'une voie veineuse périphérique et/ou centrale (72).

### Head/Hypothermia (H)

Le doppler transcrânien a une excellente sensibilité et spécificité pour le diagnostic et le monitoring de l'hypertension intra crânienne (HTIC). En situation de triage de nombreuses victimes, une négativation des vitesses diastoliques légitime rapidement la limitation des soins sur un polytraumatisé grave (73). La mesure du diamètre du nerf optique par échographie est un marqueur d'HTIC non invasif sensible (90 %) et spécifique (85 %) chez le traumatisé crânien. Cependant, l'expérience de l'opérateur est essentielle dans cette technique (74).

### Évacuation (E)

L'utilité de l'échographie est sans équivoque dans le triage des blessés (5,75). Elle apporte également un recul sur la priorisation des blessés à évacuer.

L'évaluation de ce protocole MARCHE ECHO est actuellement en cours sur trois théâtres d'opérations extérieures (4,76).

La littérature militaire récente illustre l'intérêt de l'échographie clinique d'urgence dans l'exercice de la médecine des forces en particulier en dehors de la prise en charge d'un polytraumatisé (77-79).

Au travers d'études de cas, Aigle, Favier et al. décrivent l'apport de l'échographie dans la pratique de la médecine des forces comme un outil diagnostique. En dehors de son utilisation chez le blessé de guerre, ils illustrent son intérêt pour le diagnostic :

- de pneumopathies
- de lésions musculo-tendineuse et osseuses
- de thrombose veineuse profonde
- de pathologies urinaires et digestives (appendicite aigüe, cholécystite, dilatation pyélocalicielles)
- de localisation de corps étranger

Thien-Bourgery et al. , autour de quatre cas survenus en République Centrafricaine, affirment l'intérêt de l'échographie en Rôle 1 pour le diagnostic de pneumothorax et de TVP. Ils se questionnent également sur un élargissement des indications échographiques notamment en Rôle 1 isolé sans accès à la radiographie (contrôle de réduction de luxation gléno-humérale, diagnostic d'entorse grave) (79).

Leyral et al. distinguent deux types d'échographies nécessaires en Rôle 1 (80) :

- L'échographie d'urgence dite ciblée se référant aux standards d'échographie réalisables en SAU en métropole (60).
- L'échographie « de l'avant », se caractérisant par une recherche restreinte et exclusive de certaines cibles afin de répondre binairesment à des interrogations non accessibles à la clinique. Elle se réalise dans des conditions souvent précaires et dégradées par rapport à la médecine d'urgence traditionnelle (zones de combat, ambiances visuelles et sonores difficiles, temps d'examen limité, etc...)

Une distinction des cibles nécessaires pour le médecin des forces est proposée en 2014 par Leyral et al. complétée en 2017 par Dubecq et al. en accord avec les recommandations de la SFMU de 2016 (6,80).

L'échographie doit être maîtrisée par les médecins des forces déployés sur les théâtres d'opérations extérieures en priorité pour la médecine de guerre, réel cœur de métier du SSA. Cependant, son apport diagnostique et thérapeutique en médecine d'urgence hors polytraumatisé est reconnu et s'implante désormais dans les cibles à maîtriser par le médecin des forces.

Le questionnement de la formation initiale et continue est posé pour l'acquisition de cette compétence. Le but est d'optimiser la capacité opérationnelle et l'efficacité diagnostique dans les contraintes d'exercices de la médecine des forces.

## C. FORMATION A L'ECHOGRAPHIE

### 1. Formation actuelle à l'échographie d'urgence

L'échographie est un examen dont l'interprétation est dépendante de l'opérateur ce qui implique une formation initiale de qualité et un entretien des compétences régulier. Elle nécessite que les opérateurs maîtrisent les indications en échographie d'urgence, qu'ils soient compétents en acquisition mais également en interprétation afin d'intégrer les résultats obtenus de manière appropriée dans la prise en charge d'un patient.

Les moyens de formation actuels en France sont multiples :

- Diplôme interuniversitaire d'échographie et techniques ultrasonores (DIUETUS)
- Formations spécialisées au sein du Diplôme d'Etudes Spécialisées Complémentaires de Médecine d'Urgence (DESCMU) et depuis 2016 du Diplôme d'Etudes Spécialisées (DES) de médecine d'urgence
- Quelques formations privées reconnues comme la « *World Interactive Network Focused On Critical UltraSound* » (WINFOCUS)

Au vu des données de la littérature, c'est la FAST échographie qui fut le plus étudiée avec un nombre d'examen approchant les 150 à 250 examens dans les pays anglosaxons au début des années 2000 comme le recommandait l'ACEP (59,60). Ce chiffre a considérablement diminué avec des analyses plus fines et plus puissantes. A ce jour, on considère entre 20 et 50 le nombre minimum d'examen pour être compétent en FAST, améliorant nettement l'apprentissage et l'organisation des formations (21–23,81–84).

La première étude à préconiser un nombre minimal de réalisation en FAST a été menée en 1999 par Shackford et al. Le protocole comprenait une formation théorique de huit heures, dix échographies sur sujets sains puis 50 échographies réalisées en situation d'urgence. Ils concluent selon la prévalence de la pathologie étudiée : 50 examens sont nécessaires si la

prévalence était inférieure à 20 %, et ce chiffre se réduit à 30 si la prévalence était supérieure à 20 %. En ce qui concerne la FAST ils préconisaient 50 examens. La plupart des erreurs survenaient dans les dix premiers examens (23).

L'apparition de l'ECMU et la diversification des cibles accessibles désormais par échographies va de pair avec la l'éclosion de nombreuses études.

Depuis 2001, la formation à l'échographie d'urgence est recommandée pour tous les étudiants en médecine d'urgence par le Collège Américain de Médecine d'Urgence (ACEP) et la Société Académique de Médecine d'Urgence (59).

Aux Etats unis, l'ACEP a établi en 2009 pour la première fois des recommandations sur la formation de ses praticiens à l'ECMU (60). Il décrit trois étapes dans la formation à l'ECMU :

- La connaissance des indications et des limites
- L'apprentissage du geste technique
- La reconnaissance des images pathologiques

En pratique, elle consiste en une journée de cours théorique complétée de 15 jours (environ 80 heures) d'ateliers pratiques sur la première année de leur résidanat.

Cette formation pratique concerne selon ces recommandations :

- L'échographie du polytraumatisé avec recherche d'hémo-pneumothorax, hémopéritoine, hémopéricarde, évaluation de la volémie avec analyse de la veine cave inférieure et de la fonction systolique gauche
- La recherche et mesure d'un anévrisme de l'aorte abdominale
- L'échocardiographie
- L'échographie pleuropulmonaire
- L'analyse des voies biliaires
- L'échographie rénales et des voies urinaires
- La recherche de thrombose veineuse profonde
- L'analyse de lésion osseuses, des tissus mous et musculosquelettiques
- L'échographie des pathologies d'urgences du premier trimestre de grossesse
- L'écho repérage et échoguidage de technique de prélèvement ou thérapeutique d'urgence

L'évaluation de la compétence peut se faire grâce à différentes méthodes :

- L'évaluation de la technique échographique stricto-sensu (obtention de coupes de qualité, maniement de l'appareil), sous la forme d'un examen pratique orienté par l'examen clinique.

- L'évaluation de l'interprétation d'imagerie échographique, que ce soit sur des clichés statiques ou dynamiques, lors de l'examen mais aussi à distance avec interprétation de clichés sans que ce soit l'apprenant qui les ait récoltés.
- Un examen théorique sous forme de QCM évaluant la prise de décision clinique découlant de l'interprétation de coupes échographiques.

L'ACEP recommandent l'apprentissage de la compétence avec au moins 150 à 250 examens en situation tout organe confondu et surtout **25 à 50 examens par cible** sur la première année de résidanat.

L'évaluation de la courbe d'apprentissage de l'échographie d'urgence est difficile. Il semble validé qu'une formation théorique courte associée à un examen échographique sur sujet sain suffise (32).

Pour ce qui est de la pratique de nombreuses études s'y sont intéressées, voici les principales :

Blehar et al. ont réalisé en 2015 une étude rétrospective incluant 52408 échographies d'urgences évaluant les courbes d'apprentissages selon les cibles étudiées (85). L'analyse évaluait l'apparition d'un plateau dans la courbe évoquant une diminution du bénéfice d'apprentissage. Les auteurs rejoignent l'ACEP avec la préconisation de 50 examens d'apprentissage par cible échographique chez le praticien novice.

L'ECMU a également été évaluée par Carrié et al. en 2015 qui conclue à 20 échographies par cible concernant le diagnostic d'épanchements péritonéaux, d'hydronéphrose, d'anévrisme de l'aorte abdominale, et d'échographie pleuropulmonaire. 30 échocardiographies sont recommandées et centrées sur la FEVG empirique, la recherche de cœur pulmonaire aigu, d'épanchement péricardique et la mesure du diamètre de la VCI (86). Cependant, cette analyse n'a comparé qu'un résident novice en échographie avec un médecin urgentiste expérimenté sur 187 patients.

Un article publié par le service des urgences et de radiologie de l'Hôpital d'Instruction des Armées (HIA) Laveran a étudié en 2013 la courbe d'apprentissage des praticiens en formation lors de leur passage aux SAU (87). Leur formation consistait en une formation théorique de deux heures par le référent échographique des urgences, puis dix examens par cible (FAST, Plèvre, Aorte, Vésicule biliaire et vessie) et enfin dix examens en situation chronométrée par cible. Un seuil arbitraire de 20 échographies (celles d'apprentissage comprises) montrait une performance idéale pour les coupes aortique, pleurale et vésicale.

Les auteurs concluaient pour l'apprentissage de la FAST à 30 examens minimum et 25 à 50 pour l'échographie pleurale. Toutes ces données sont à modérer car l'inclusion dans les performances du test des dix échographies par cible sur sujet sain semble être un biais majeur d'interprétation.

Leyral et al. estiment qu'un minimum de 20 échographies par cible doit être réalisé car aucune étude suffisamment puissante ne valide une compétence en échographie à moins de 20 examens. Cependant, ils insistent sur le fait qu'un nombre de 50 échographies doit être réalisé pour être compétent sur n'importe quelle cible d'échographie de l'avant (80).

En se basant sur des recommandations de l'« *American College of Chest Physicians* » (ACCP) en collaboration avec la Société de Réanimation de Langue Française (SRLF) (88), des recommandations canadiennes sur l'échographie d'urgence préconisent, après une formation théorique de 10 heures, un nombre minimal d'échographies supervisées de (89):

- 30 pour l'échocardiographie
- 20 pour l'échographie pleuropulmonaire
- 10 pour l'échoguidage dans la pose d'accès vasculaires
- 10 pour la détection de liquide péritonéal chez le traumatisé
- 25 pour l'échographie rénale
- 25 pour la recherche d'anévrisme de l'aorte abdominale
- 25 pour le diagnostic de TVP

A notre connaissance, il existe peu d'études évaluant la courbe d'apprentissage en échographie pleuropulmonaire (85,90).

Un travail de thèse évaluant la courbe d'apprentissage en échographie pulmonaire en 2016 retrouvait un minimum de dix échographies pleurales pour permettre de prendre en charge une dyspnée aigue (90). Cependant, un seul des étudiants avait réalisé plus de dix échographies. De même, l'apprentissage en échocardiographie d'urgence selon les critères d'ECMU est peu décrite. La littérature rapporte un nombre très variable d'échocardiographies à réaliser au minimum pour valider la compétence (2,85). L'ACEP en préconise 25 à 50 comme toute cible accessible par échographie. Bobbia et al détaille de façon précise les compétences à maîtriser en échocardiographie d'urgence (51).

En France, c'est en 2016 que les premières recommandations écrites par la SFMU sont proposées (10). Elle décrit d'ailleurs l'absence de consensus concernant ces 25 à 50 examens par cible, affirmant la nécessité de production d'études afin d'obtenir un nombre minimal d'échographie d'urgence par cible afin d'optimiser la formation.

Par ailleurs, peu d'études évaluent le temps requis pour pratiquer l'échographie d'urgence. La littérature rapporte un temps médian de réalisation de deux à six minutes (87,91) pour la FAST. En 2010, une étude américaine a évalué la durée de réalisation pour cinq cibles échographiques d'urgence (la FAST, l'ACR, la recherche d'épanchement péricardique, la recherche d'un anévrisme de l'aorte abdominale et la recherche d'une grossesse extra-utérine). La durée moyenne de réalisation toute cible confondue est de 2 minutes et 17 secondes (92).

Sa réalisation ne doit pas se substituer à l'examen clinique ni entraîner une perte de chance notamment sur la durée de prise en charge. Brun et al. ne décrivent pas de différence significative dans la performance ni la durée de réalisation que l'eFAST soit réalisée sur place ou lors du transfert chez un polytraumatisé. Cependant, ils recommandent la répétition de l'examen car celui-ci montrait une modification par rapport au premier examen dans 66% des cas après transport (93).

**L'absence d'outil d'évaluation validé pour la compétence en échographie d'urgence est une des limitations actuelles dans les processus d'évaluation de la formation et il existe de grandes disparités sur le nombre d'examens à réaliser pour considérer la formation comme acquise. La problématique d'évaluation des compétences est donc réelle.**

La plupart des études retrouvées évaluaient la performance de la FAST en critère d'évaluation principal et proposaient un nombre d'examen minimal souvent après une analyse secondaire. En 2009, l'ACEP recommandait l'évaluation de la performance par comparaison cumulative de l'échographie aux autres examens d'imagerie standard et aux résultats chirurgicaux. La première analyse de la FAST par somme cumulée a été proposée par Mc Carter et al. (94). Elle concluait à un taux de précision de 90 %. Cette conclusion est à tempérer compte tenu de la faible sensibilité (63%) et du faible taux de vrais positifs (60 sur 587) tout praticien confondu. L'approche par analyse des sommes cumulées est en revanche très intéressante pour l'évaluation de la compétence.

Initialement développée par les entreprises et développeurs de techniques industrielles pour surveiller la compétence et la fiabilité d'un processus au cours du temps, l'analyse « CUSUM » (*Cumulative SUMmation Test*) est une méthode statistique qui va permettre de tester selon une formule de somme cumulative l'hypothèse selon laquelle le processus est sous contrôle. Ainsi, il détecte quand le processus passe vers un état hors de contrôle (95–97).

Le test CUSUM va progressivement évoluer en méthode **LC-CUSUM** (« *Learning Curve CUmulative SUMmation test* ») et devenir la **méthode de référence pour la construction de courbes d'apprentissages** (98). Elle existe depuis 2008 et son utilisation en médecine est fréquente (99–101). Elle est devenue la méthode de référence pour l'évaluation des courbes d'apprentissages qui se définissent comme une représentation graphique de la performance au cours de la phase d'apprentissage.

**A notre connaissance, il n'existe actuellement aucune donnée concernant la courbe d'apprentissage en échographie d'urgence avec la méthode LC-CUSUM.**

## 2. La formation militaire à l'échographie d'urgence

La préparation opérationnelle des médecins des forces est longue. L'apprentissage et l'entretien des compétences sur le plan opérationnel et militaire sont primordiales.

Au niveau médical, les objectifs sont doubles :

- Maîtriser toutes les notions théoriques et pratiques de prise en charge des blessés de guerre
- Détenir les compétences pour réaliser un examen d'échographie d'urgence

Pour la formation à l'échographie d'urgence, les praticiens militaires bénéficient d'une formation courte dans les différents centres de formation de France (Paris, Bordeaux, Brest, Lyon et Toulon). Cette courte formation dure de deux et cinq jours selon les centres. Elle est destinée aux médecins des forces et aux médecins amenés à pratiquer en Terre Australes et Antarctiques Françaises (TAAF). Les modalités de ce stage sont différentes en fonction des centres de formation :

- A **Paris**, le stage dure deux jours et étudie l'e-FAST, l'échocardiographie (recherche d'un épanchement péricardique, évaluation volémie avec mesure collapsibilité VCI et

contractilité du ventricule gauche), l'échographie pleuropulmonaire (recherche d'épanchement pleural liquidien, pneumothorax, condensation pulmonaire, etc...), la recherche de TVP, d'anévrisme de l'aorte abdominale, de pathologies abdominales d'urgences (vésicule et voies biliaires, appendice, voies urinaires etc...) et lésion musculo-articulaire. L'évaluation se déroule sous la forme de mises en situations pratiques de type e-FAST.

- A **Brest**, la formation dure deux jours et demi et s'intéresse à l'e-FAST, l'échocardiographie (recherche d'un épanchement péricardique, évaluation volémie avec mesure collapsibilité VCI et contractilité du ventricule gauche), l'échographie pleuropulmonaire, la recherche d'un anévrisme de l'aorte abdominale et la recherche de TVP. Elle s'articule en une matinée de formation théorique suivie de deux jours de pratique sur sujet malade et simulateur complexe de blessé de guerre. L'évaluation se déroule sous la forme d'un passage chronométré de type eFAST avec obligation de dix examens eFAST sur malade et trois sur simulateur.
- A **Toulon et Lyon**, il s'agit un enseignement théorique et pratique réparti sur cinq jours abordant l'eFAST, l'échocardiographie (FEVG, épanchement péricardique, échographie quatre points), le doppler transcrânien et l'échographie du nerf optique, les lésions digestives d'urgences (appendice, vésicule biliaire, ...), le pelvis féminin, l'appareil locomoteur (musculaire et ostéoarticulaire) de l'épaule et des membres inférieurs, l'échographie testiculaire et thyroïdienne. La formation est évaluée à l'issue du stage et il est recommandé aux stagiaires d'effectuer un jour de recyclage des connaissances annuel.
- A **Bordeaux**, le stage dure deux jours. Une journée est consacrée à la formation théorique suivie d'examens échographiques sur sujets sains. Puis les stagiaires passent la deuxième journée à réaliser des examens échographiques sur des patients de l'HIA sélectionnés. La formation se porte sur l'eFAST, l'échocardiographie (mesure collapsibilité VCI, contractilité du ventricule gauche et recherche d'un épanchement péricardique), l'échographie pleuropulmonaire, la recherche d'un anévrisme de l'aorte abdominale et l'échographie vasculaire avec écho-repérage et échoguidage de pose de voie veineuse et geste thérapeutique. Elle se conclue par une évaluation chronométrée de type eFAST.

**La formation à l'échographie en médecine d'urgence dans le SSA n'est pour l'instant pas harmonisée.** De grandes disparités apparaissent dans l'ensemble de ces formations. Cependant, les éléments essentiels à maîtriser en échographie de l'avant sont enseignés.

Il semble acquis que l'apprentissage en échographie ciblée ou clinique dépende de la prévalence de la pathologie cible. Une formation théorique courte complétée d'un apprentissage des acquisitions standard sur sujets sains semble suffisante.

L'implantation croissante de l'échographie dans la pratique de la médecine d'urgence en complément de l'examen clinique pose la question de la formation mais également celle de la courbe d'apprentissage.

Tout l'enjeu serait de déterminer sur le plan quantitatif et qualitatif les éléments de la formation à l'échographie d'urgence pour les médecins généralistes militaires dans le cadre de leur préparation opérationnelle. Les praticiens en formation (IHA) lors de leur semestre de formation obligatoire en Service d'Accueil d'Urgence sont des sujets idéaux pour étudier la courbe d'apprentissage en échographie d'urgence.

### III. ETUDE

#### A. GENERALITES

##### 1. Caractéristiques et population étudiée

Il s'agit d'une étude prospective bi centrique se déroulant de novembre 2017 à novembre 2018. Douze Internes des Hôpitaux des Armées (IHA), spécialité médecine générale, novices en échographie ont été inclus :

- 6 IHA en formation sur l'Hôpital d'Instruction des Armées (HIA) Robert-Picqué (Bordeaux).
- 6 IHA en formation sur l'Hôpital d'Instruction des Armées (HIA) Percy (Clamart).

##### 2. Objectif

L'objectif principal est de construire la courbe d'apprentissage de l'échographie d'urgence (abdominale, pleuropulmonaire et cardiaque) des IHA, spécialité médecine générale.

##### 3. Critères d'inclusion / exclusion de chaque examen échographique

Critères d'inclusion :

- Patient âgé de plus de 18 ans ou mineur avec accord parental
- Indication d'un examen échographique orienté par l'examen clinique
- Consentement oral à l'examen de la part du patient

Critères d'exclusion :

- Mineur sans accord parental
- Refus du patient

## B. MATERIEL ET METHODE

### 1. Protocole de recueil de données

Les IHA ont tous bénéficié au préalable d'une formation initiale standardisée à l'échographie d'urgence dans leurs HIA respectifs comprenant un module théorique et pratique :

- La formation théorique a été dispensée sur une demi-journée et concernait :
  - L'eFAST
  - L'échographie pleuropulmonaire pour la recherche d'hémo-pneumothorax, de syndrome interstitiel et de condensation pulmonaire
  - L'échocardiographie d'urgence (coupe apicale 4 cavités et sous xiphoïdienne) pour l'évaluation de l'inotropisme, la recherche d'épanchement péricardique, la recherche de cœur pulmonaire aigu et la mesure de la collapsibilité de la Veine Cave Inférieure (VCI)
  - La recherche de globe urinaire, de dilatation pyélocalicielle et d'anévrysme de l'aorte abdominale
- La formation pratique a eu lieu sur une demi-journée directement à l'issue de la formation théorique. Les étudiants réalisaient entre eux les échographies et coupes standards à la recherche d'images physiologiques.

Dans les suites, les IHA ont réalisé des examens échographiques durant leur stage au SAU et gardes dans leurs HIA respectifs et ont été suivis individuellement pendant 6 mois.

A l'issue de cette formation, chaque étudiant a reçu individuellement un carnet de recueil (Figure 10) :

Date: HIA Robert-Picqué   
HIA Percy

**CRITERES D'INCLUSION**

> 18 ans (ou mineur avec autorisation parentale ou représentant légal)  
 Consentement à l'examen.  
 Nécessité d'un examen échographique

**ECHOGRAPHIE PULMONAIRE**

Durée : .... Min ..... Sec (décompter dès que la sonde est sur le patient)

Obtention des coupes :

Pleurale antérieure D	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Pleurale antérieure G	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Postéro-latérale D	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Postéro-latérale G	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non

✓ Glissement pleural D  oui  non  
 ✓ Glissement pleural G  oui  non  
 ✓ Lignes A  présentes  absentes  
 ✓ Point poumon  oui  non  
 ✓ Lignes B  absentes  présentes  abondantes  
 Si présence, coté :  droit  gauche

Avant validation par le sénior, diagnostic évoqué :

<b>Pneumothorax</b>	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
<b>Epanchement pleural liquidien</b>	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
<b>Condensation pulmonaire</b>	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
<b>Syndrome interstitiel</b>	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non

Après validation par le sénior, concordance clinique :  oui  non

**ECHOGRAPHIE CARDIAQUE**

Durée : .... Min ..... Sec (décompter dès que la sonde est sur le patient)

Obtention des coupes :

Apicale 4 cavités	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Sous costale 4 cavités	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
VCI	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non

✓ Péricarde  Sec  Epanchement modéré  Epanchement abondant  
 ✓ Inotropisme : FEVG  Effondré  Intermédiaire  Normale  
 ✓ Dilatation VD  oui  non  
 ✓ VCI : Taille Inspiration .....mm Taille Expiration .....mm  
 Collapsibilité :  <50 %  > 50 %

Avant validation par le sénior, diagnostic évoqué :

<b>Epanchement péricardique</b>	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	
<b>Hypokinésie</b>	<input type="checkbox"/> globale	<input type="checkbox"/> segmentaire	<input type="checkbox"/> aucune
<b>Cœur pulmonaire aigu</b>	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	
<b>Volémie</b>	<input type="checkbox"/> hypovolémie	<input type="checkbox"/> intermédiaire	<input type="checkbox"/> surcharge

Après validation par le sénior, diagnostic final :  
 ⇒ Concordance clinique :  oui  non

**ECHOGRAPHIE ABDOMINALE**

Durée : .... Min ..... Sec (décompter dès que la sonde est sur le patient)

Obtention des coupes :

Espace Hépaté rénal (Morrison)	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Espace Spléno-rénal (Kholer)	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Espace de Douglas et péri-vésical	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Aorte abdominale	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non

Avant validation par le sénior, diagnostic évoqué :

<b>Dilatation pyélocalicelle G</b>	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	
<b>Dilatation pyélocalicelle D</b>	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	
<b>Epanchement péritonéal</b>	<input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> faible abondance	<input type="checkbox"/> abondant
<b>Globe urinaire</b>	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	
<b>Anévrysme de l'Aorte Abdominale</b>	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	

Après validation par le sénior, diagnostic final :  
 ⇒ Concordance clinique :  oui  non

Figure 10: Extrait du carnet de recueil des IHA

Il était donc proposé à l'étudiant trois cadres nosologiques : pleuropulmonaire, cardiovasculaire et abdominal avec l'ensemble des pathologies d'urgence s'y rapportant à l'exception des pathologies gynécologiques et thrombo-emboliques.

Chaque interne sélectionnait, en fonction des éléments cliniques, un patient au SAU et réalisait l'échographie. Si la clinique orientait vers la réalisation d'échographies dans un ou plusieurs cadres nosologiques étudiés, l'étudiant devait réaliser l'ensemble des coupes requises par notre étude. Par exemple, pour un tableau de douleur thoracique, après son examen clinique, l'IHA réalisait une échographie pleuropulmonaire et cardiaque.

Le remplissage du carnet était à la charge de l'étudiant. Il était daté et complété chronologiquement à l'issue de chaque examen échographique. Il comportait trois étapes :

- **La mesure précise (min/sec) de la durée de l'examen** à partir du moment où la sonde était en contact avec le patient.
- **L'obtention des coupes** supervisée par un médecin sénior : soit présent lors de l'examen, soit après comparaison des clichés du sénior avec celle de l'étudiant. La validation ou non de cette étape était notifiée du tampon du sénior.
- **La concordance diagnostique** : le diagnostic échographique choisi par l'étudiant était alors comparé au diagnostic final lors de la prise en charge et validé par le médecin sénior.

En ce qui concerne notre étude, le succès est validé **si et seulement si** les trois critères suivants sont réunis :

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Durée de réalisation &lt; 5 minutes</b></li><li>• <b>Obtention des coupes standard, validée par un médecin sénior</b></li><li>• <b>Concordance diagnostique, validée par un médecin sénior</b></li></ul> |
|---|

La fin d'inclusion des données a eu lieu en Novembre 2018.

Dès la fin des inclusions, un questionnaire a été proposé aux IHA afin d'évaluer de façon individuelle et subjective la formation reçue (théorique et pratique) (Figure 11).

## Formation à l'Echographie d'urgence et Thèse IHA Aurian Maxime

*\* Obligatoire*

La formation théorique dont vous avez bénéficié était : \*

- Inadaptée
- Insuffisante
- Suffisante
- Optimale

La formation pratique dont vous avez bénéficié était: \*

- Inadaptée
- Insuffisante
- Suffisante
- Optimale

Concernant la faisabilité, la réalisation d'échographie durant votre stage était: \*

- Facile et disponible
- Facile mais indisponible
- Difficile mais disponible
- Difficile et indisponible

Le recueil de données dans les carnets de suivi était : \*

- Rapide et compréhensible
- Rapide mais complexe
- Chronophage mais compréhensible
- Chronophage et complexe

Vous sentez- vous capable de réaliser une échographie d'urgence sans séniorisation ? \*

- Oui, totalement
- Oui, assez
- Non, pas assez
- Non, pas du tout

Vous sentez vous compétents ( en échographie ) pour partir en opération extérieure ? \*

- Oui, totalement
- Oui, assez
- Non, pas assez
- Non, pas du tout

Quelles améliorations proposeriez-vous dans cette formation à l'échographie dédiée aux IHA ? ( détaillez en quelques lignes ) \*

Votre réponse

---

Avez-vous des remarques positives et négatives concernant la formation reçue ?

Votre réponse

---

Figure 11 : Questionnaire d'auto-évaluation des IHA à l'issue des inclusions

## 2. Matériel utilisé

Les IHA ont réalisé leurs échographies grâce à deux échographes :

- Le VScan Dual Probe® pour l’HIA Robert-Picque



Figure 12: échographe VScan Dual Probe®

- Echographe GE NEXTGEN LOGIQ e R6® pour l’HIA Percy.



Figure 13: échographe GE NEXTGEN LOGIQ e R6®

### 3. Analyse statistique

L'analyse des données est réalisée par la méthode LC-CUSUM. Ainsi, pour chaque type d'échographie et ce pour chaque étudiant, nous obtiendrons une courbe graphique.

Le test LC-CUSUM permet de détecter à quel moment un sujet a atteint une certaine performance (97). Il fonctionne comme un test de non-infériorité. La déviation de la performance jugée comme adéquate par une valeur delta se définit comme hypothèse nulle. Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée, on considère que la performance est sensiblement égale ou supérieure à la performance jugée comme adéquate. En pratique, chaque procédure est notée comme un succès ou un échec.

Le score LC-CUSUM est une somme cumulée, qui commence à zéro, et en fonction du résultat, succès ou échec, va augmenter (succès) ou descendre (échec) d'une valeur W (Équation 1). Le score ne peut être inférieur à 0 ce qui lui permet d'être toujours réactif à un changement de performance récent. Ainsi, le sujet évalué ayant un long passé d'échec ne sera pas pénalisé proportionnellement.

Équation 1: Formule Test LC-CUSUM

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

Avec  $W = \text{poids de l'échantillon} = \log \left[ \frac{p_0^{X_t} (1 - p_0)^{1-X_t}}{(p_0 + \delta)^{X_t} (1 - p_0 - \delta)^{1-X_t}} \right]$

$S_t$  : score LC-CUSUM au temps/obs  $t$

$X_t$  : 0 pour un succès et 1 pour un échec

$p_0$ : niveau de performance adéquate

$\delta$  : zone d'équivalence

Si  $S_t \geq h$ , la performance adéquate est démontrée

Pour utiliser le LC-CUSUM il faut définir : la performance adéquate, la valeur delta d'équivalence et la limite de détection  $h$ . La limite  $h$  est calculée par simulation et choisie pour donner les propriétés les plus appropriées en termes de risque d'erreur. Compte tenu du caractère répétitif de la procédure, les performances du test sont rapportées en TDR (« True Discovery Rate ») et FDR (« False Discovery Rate ») qui sont à comprendre de la même façon respectivement que les risques bêta et alpha des essais randomisés classiques.

Pour ce test LC-CUSUM, la performance adéquate a été définie à 20 % d'échecs, avec une déviation acceptable de 10 %. Une limite h de 1.25 pour 50 procédures a été choisie pour obtenir la performance suivante du test (Tableau 2) : 91 % de probabilité de détecter un niveau de performance adéquat et 15 % de probabilité de déclarer à tort une performance inadéquate comme adéquate. Cela correspond à une augmentation de 0.1335314 pour un succès et une baisse de 0.4054652 pour un échec ; il faut donc environ trois succès pour rattraper un échec.

**La compétence est démontrée lorsque la courbe d'apprentissage de l'étudiant atteint la limite h.**

Grâce à cette méthode d'analyse, nous espérons évaluer précisément l'apprentissage de l'échographie d'urgence chez les IHA. La prise en compte de ces résultats amènerait des pistes d'amélioration afin d'optimiser la formation essentielle dans notre corps de métier.

Tableau 2: Performances pour  $n = 50$  échographies

Limite h	Performance				
	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
1	970	890	717	559	360
1.01	966	864	736	521	346
1.02	965	891	743	513	328
1.03	968	894	752	529	343
1.04	969	888	724	527	351
1.05	967	867	708	516	375
1.06	971	888	714	509	340
1.07	944	815	648	401	240
1.08	944	804	609	383	245
1.09	943	807	595	399	230
1.1	936	803	598	415	228
1.11	931	815	620	384	223
1.12	950	795	600	430	217
1.13	945	832	582	402	244
1.14	960	804	624	389	254
1.15	951	818	642	397	216
1.16	936	804	610	429	243
1.17	935	815	618	412	219
1.18	946	824	580	403	246
1.19	947	794	639	412	217
1.2	906	742	586	377	186
1.21	901	718	509	302	165
1.22	911	724	517	292	146
1.23	905	743	497	307	178
1.24	881	701	503	300	148
1.25	912	744	514	285	154
1.26	930	727	506	284	156
1.27	906	754	501	304	146
1.28	916	755	509	300	147
1.29	900	736	499	289	173
1.3	907	724	542	295	168
1.31	892	729	500	305	152
1.32	892	722	474	305	146
1.33	879	695	479	288	142
1.34	874	650	413	218	116
1.35	851	655	395	198	104
1.36	848	677	410	225	87
1.37	863	633	396	227	110
1.38	847	643	434	257	114
1.39	855	648	430	219	92
1.4	879	652	403	204	92



## IV. RESULTATS

### A. LC-CUSUM

Parmi les 12 étudiants ayant bénéficié de la formation à l'échographie d'urgence dans leur HIA respectif, 9 ont renseigné sur leur carnet d'apprentissage chaque examen réalisé. Parmi les perdus de vue, 3 ont rempli moins de trois échographies au total. Ils n'apparaissent donc pas dans les courbes ci-dessous.

Les résultats des courbes d'apprentissage par analyse LC-CUSUM des 9 étudiants sont présentés en fonction de chaque échographie. Nous rappelons que la compétence est démontrée si la courbe d'apprentissage de l'étudiant atteint la limite  $h$ , graphiquement modélisée par une ligne à 1.25.

- **Echographie abdominale (Figure 14) :** La compétence est démontrée chez deux étudiants (étudiant 5 et 6) en respectivement 26 et 32 examens. Tous les étudiants ont réalisé au moins 20 échographies excepté l'étudiant 8.
- **Echographie pleuropulmonaire (Figure 15) :** La compétence est démontrée chez un seul étudiant (étudiant 7) en 17 examens. C'est également celui qui a réalisé le plus d'échographies.
- **Echographie cardiaque (Figure 16) :** Aucun étudiant n'a démontré la compétence avec un nombre maximum d'examen de 10 chez l'étudiant 6.

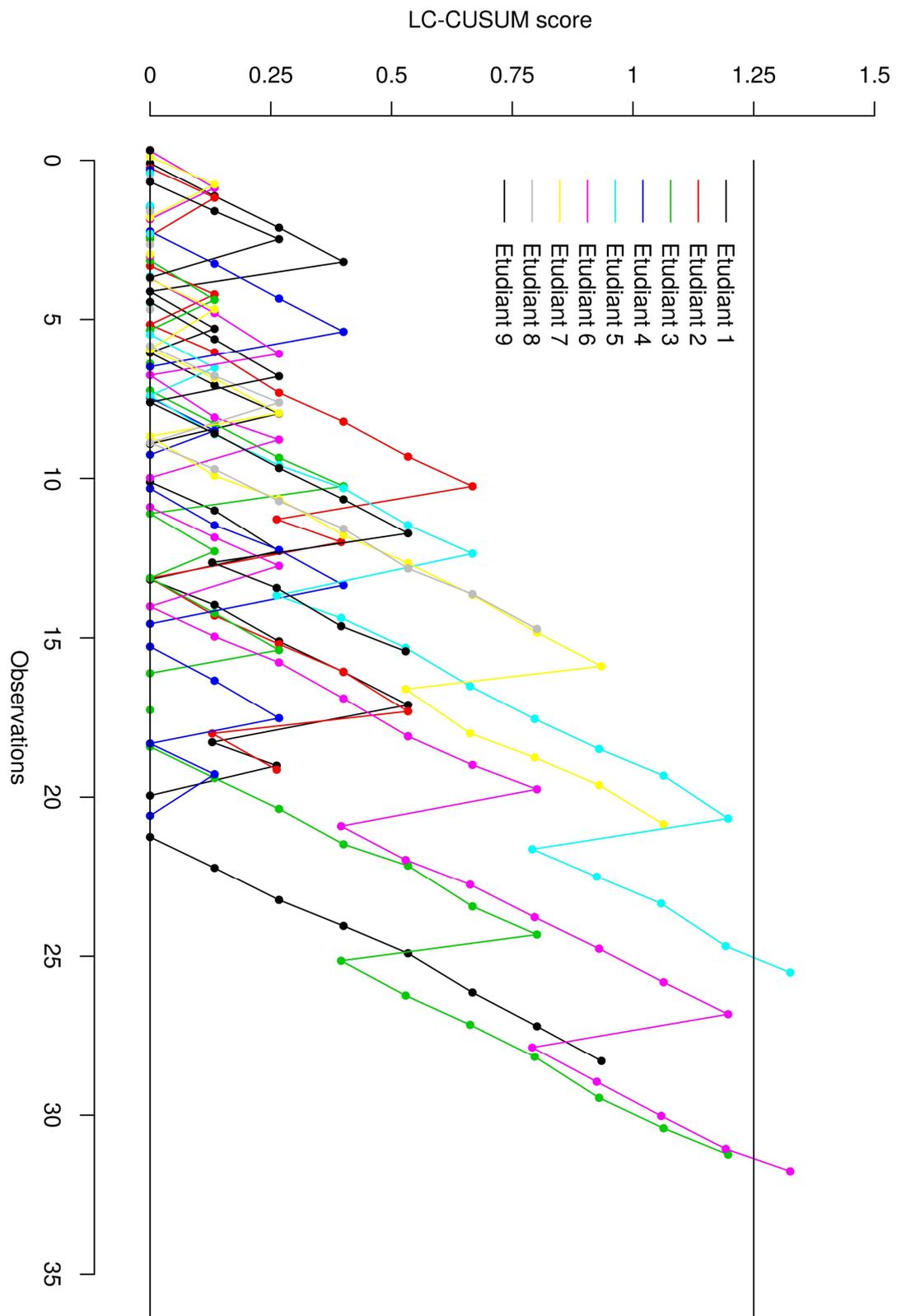


Figure 14: Courbes d'apprentissages LC-CUSUM : Echographie abdominale

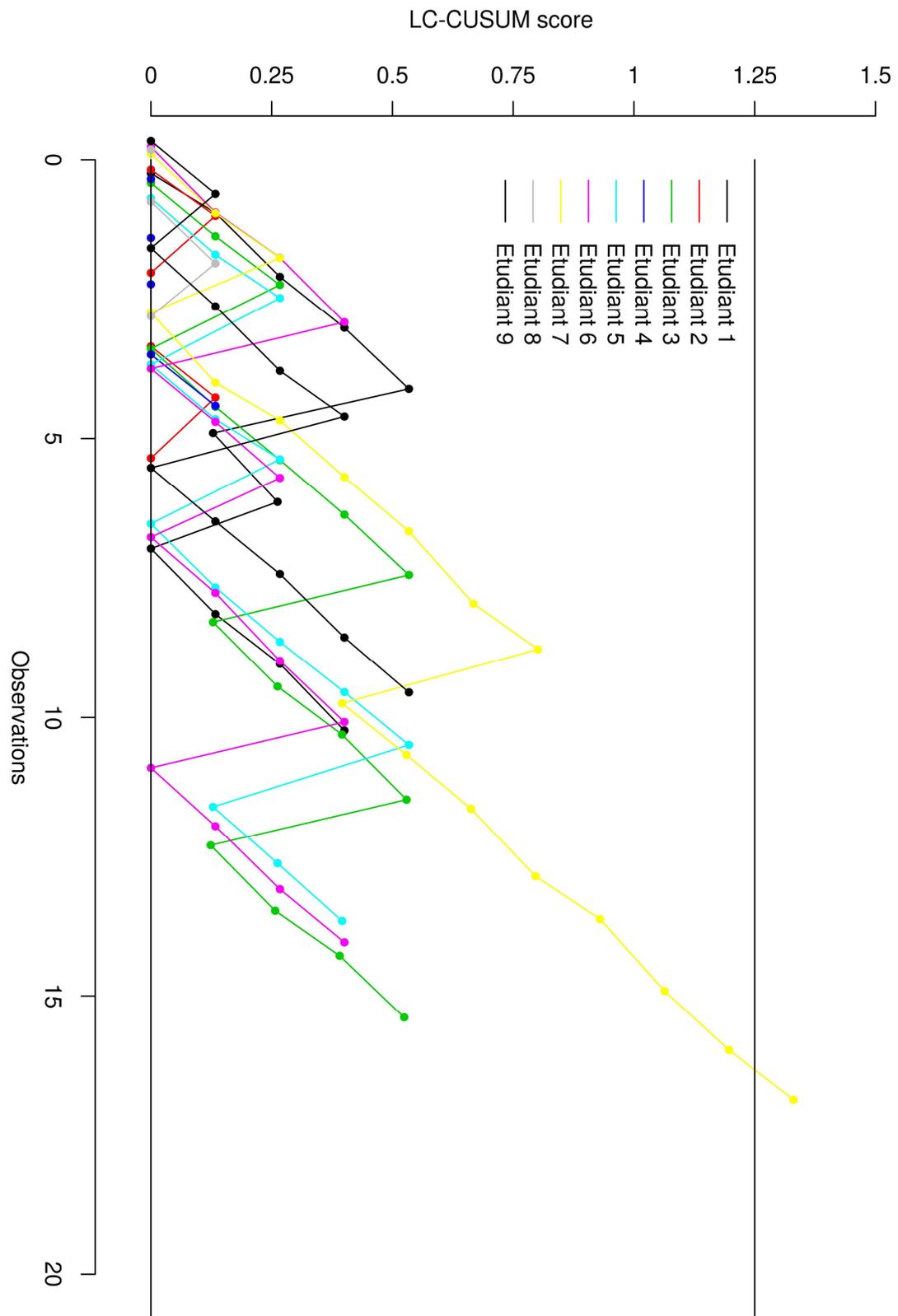


Figure 15: Courbes d'apprentissages LC-CUSUM : Echographie pleuropulmonaire

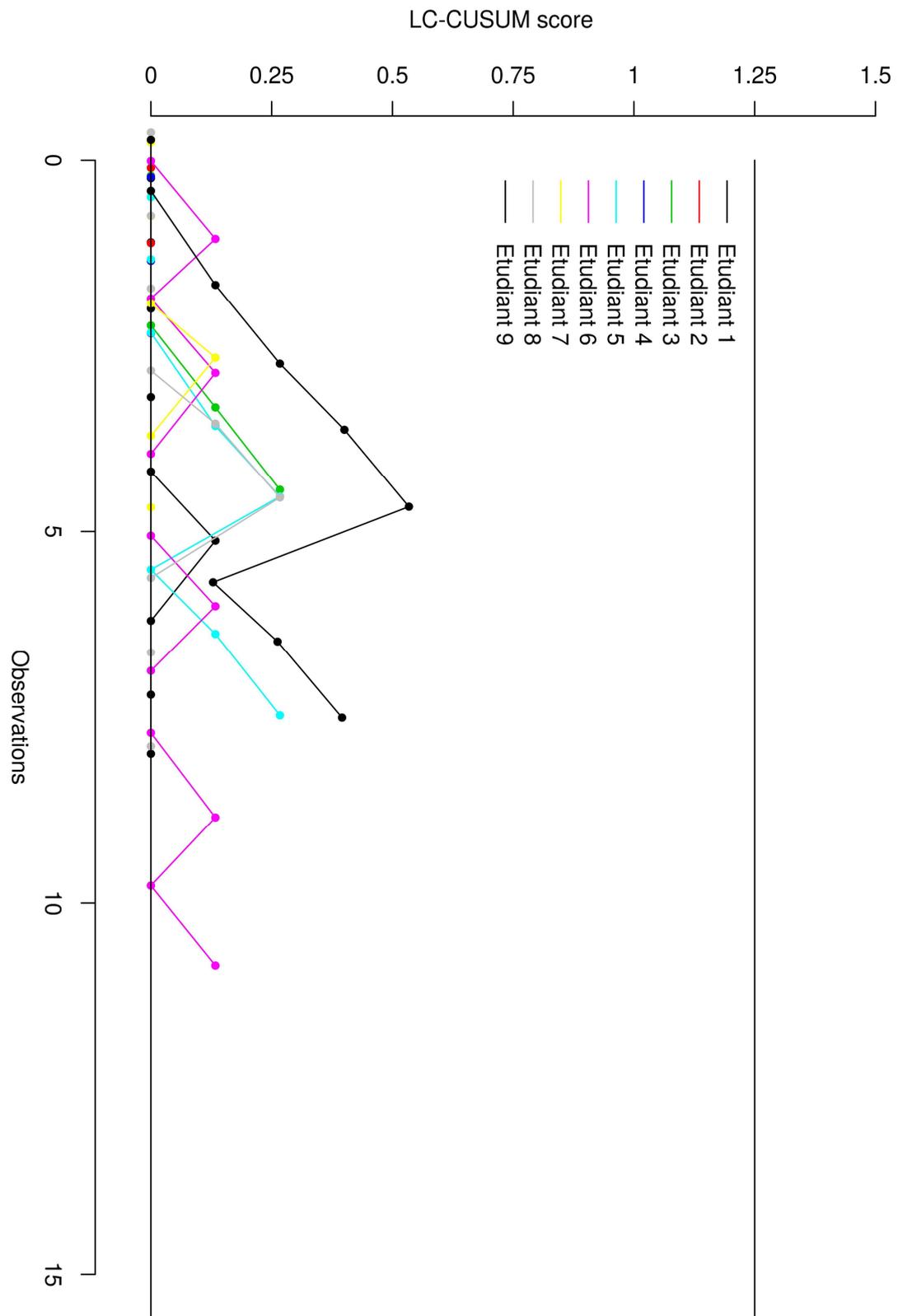


Figure 16: Courbes d'apprentissages LC-CUSUM : Echographie cardiaque

Les taux d'échecs (en pourcentage) de la concordance diagnostique selon les coupes et par étudiant sont représentés dans le Tableau 3.

*Tableau 3: Taux d'échec en pourcentage de la concordance diagnostique selon les coupes et par étudiant*

Etudiant	Taux d'échec de concordance diagnostique selon les coupes		
	Abdominale	Pleuropulmonaire	Echocardiographie
1	20	0	75
2	21	60	
3	16	13	50
4	50	50	100
5	14	23	14
6	12	14	36
7	22	11	60
8	6	33	50
9	6,25	10	12,5
Moyenne	18,6	23,8	49,7
Ecart-Type	13,2	20,0	29,6

## B. Questionnaire

Les résultats du questionnaire proposé aux IHA à l'issue de leurs inclusions sont représentés sur les figures ci-dessous (Figure 17, Figure 18, Figure 19, Figure 20, Figure 21 et Figure 22 )

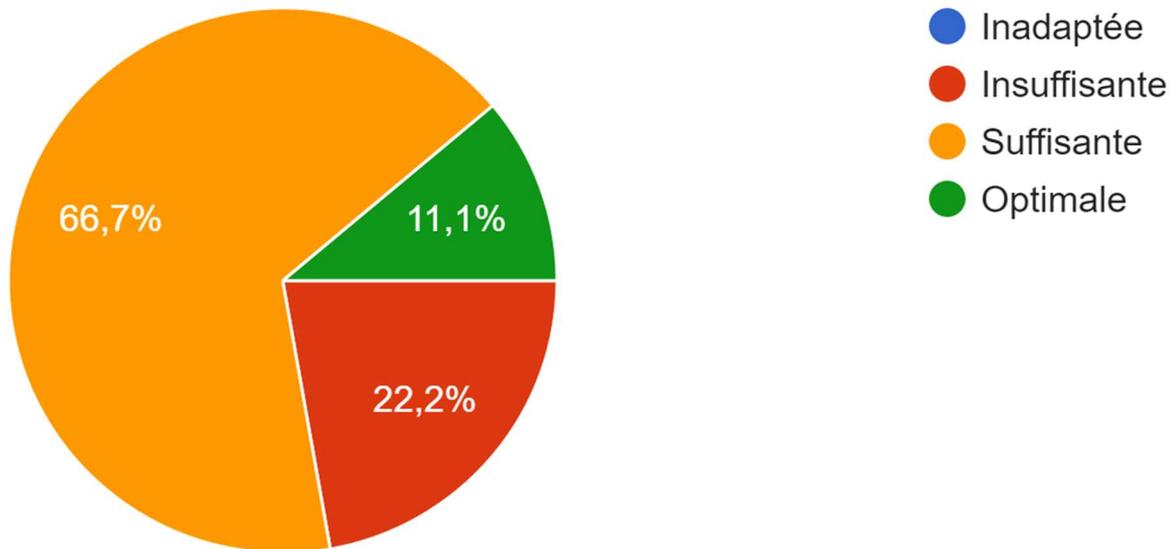


Figure 17: Evaluation de la formation théorique

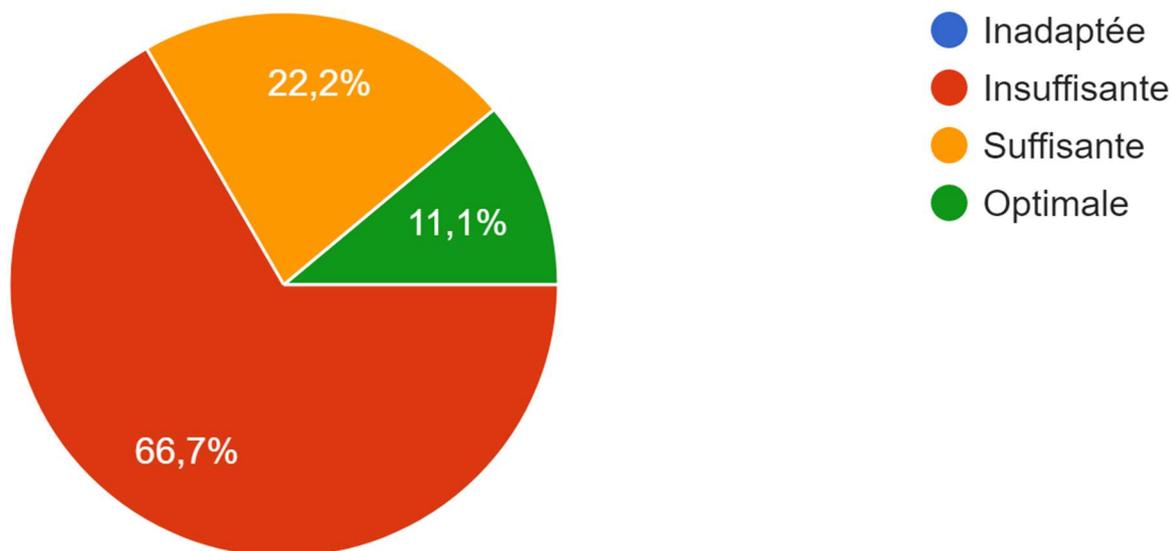


Figure 18: Evaluation de la formation pratique

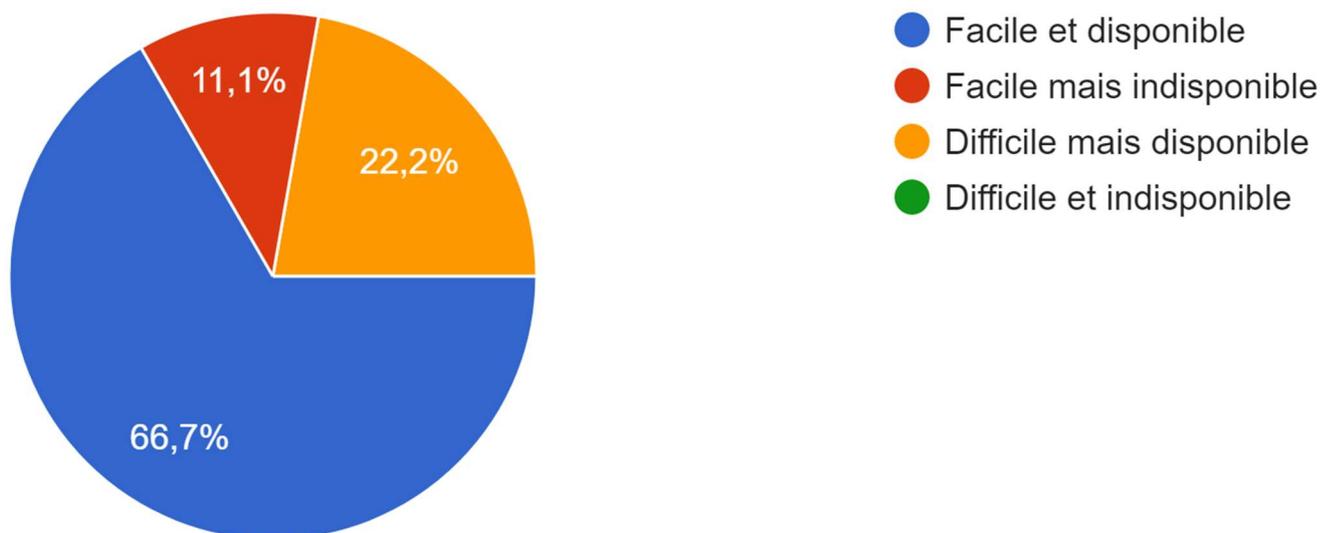


Figure 19: Evaluation de la faisabilité et accessibilité de l'échographie durant l'étude

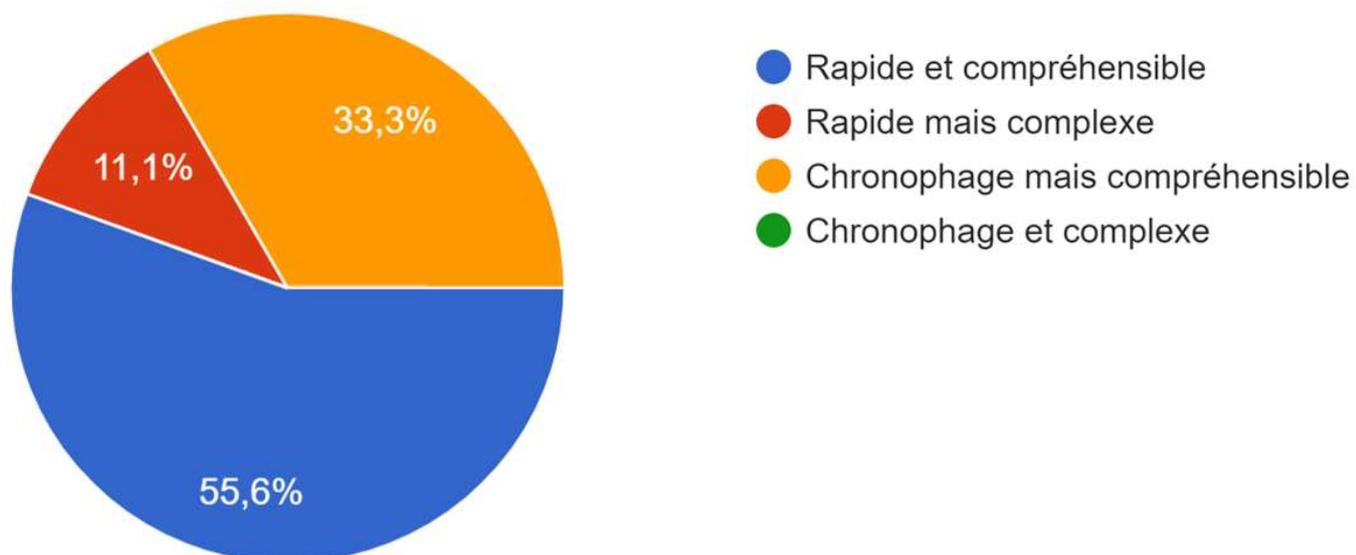


Figure 20: Remplissage du carnet de suivi

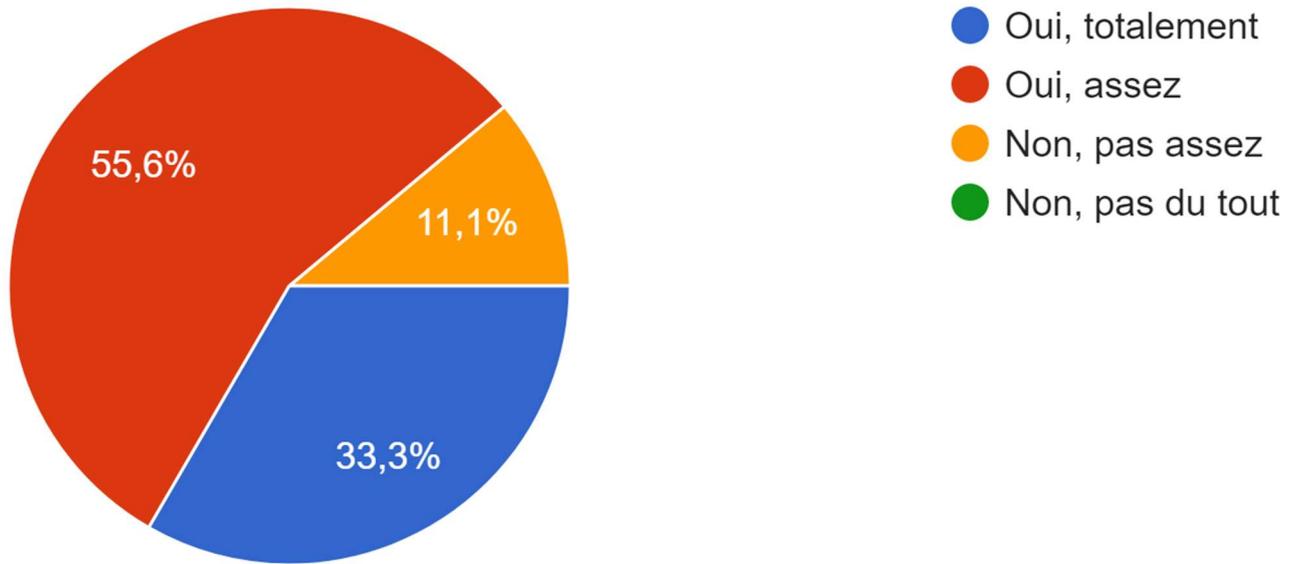


Figure 21: Auto-évaluation de la compétence en échographie sans séniorisation au SAU

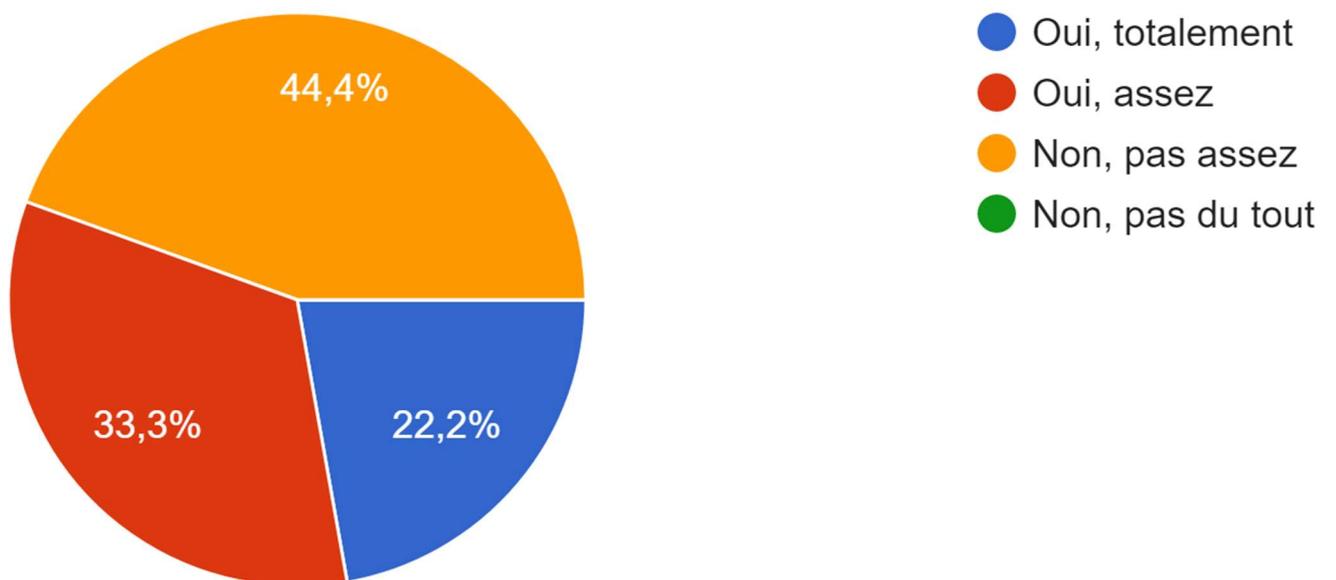


Figure 22: Auto-évaluation de la compétence opérationnelle en échographie dans l'hypothèse d'un départ en opérations extérieures

Dans les commentaires, les étudiants ont fait remonter le fait que cette formation était une plus-value dans leur formation, augmentant leur autonomisation dans la prise en charge des patients. Cependant, la majorité estiment que la formation pratique était trop courte, avec une volonté de plus d'examens d'entraînements sur sujets saints avant de débiter. Une proposition d'exercice sur simulateur a été émise de leur part. Ils proposent des rappels ponctuels théoriques au cours du semestre. Certains évoquent une séniorisation difficile et une réalisation parfois compliquée d'examens échographiques dans la gestion des flux au SAU.

## V. DISCUSSION

Il s'agit de la première étude s'intéressant à la courbe d'apprentissage en échographie d'urgence chez les Internes des Hôpitaux des Armées, spécialité médecine générale.

Le constat principal est un faible taux d'acquisition de compétence sur l'ensemble des trois champs d'explorations selon la méthode de référence LC-CUSUM.

### A. Comparaison avec état de l'art

#### 1. Echographie abdominale

Deux étudiants ont validé la compétence par LC-CUSUM en respectivement 26 et 32 examens et la quasi-totalité des IHA ont réalisé au moins 20 examens.

En ce qui concerne la FAST échographie, l'ACEP préconise la réalisation de 25 à 50 échographies par cible, supervisées sur une période de 12 mois (60). La revue de littérature récente conclue à la réalisation d'au moins 25 à 30 examens (23,27,29,80,86,87). A notre connaissance, il n'existe qu'une seule étude affirmant la validation de la compétence échographique avec moins de 20 examens d'apprentissages. Il s'agit des recommandations canadiennes de 2014 qui préconisent 10 échographies pour le diagnostic positif d'épanchement péritonéal (89). **Les données de la littérature sont donc variables** mais difficilement comparables entre elles.

Si on se réfère aux recommandations de la littérature, on peut considérer que nos IHA ont démontré la compétence en échographie abdominale du fait du nombre de réalisations d'examen échographiques.

#### 2. Echographie pleuropulmonaire

Sur le plan pleuropulmonaire, la compétence est démontrée chez l'étudiant 7 en 17 examens. On remarque également que c'est celui qui a réalisé le plus d'examen.

Si on se réfère à l'état de l'art sur le nombre d'examen minimum à réaliser pour être compétent en échographie pleuropulmonaire, aucun IHA n'a démontré la compétence.

Pourtant, l'examen pleuropulmonaire est rapide, peu irradiant et performant pour la recherche des principales pathologies pleuropulmonaires (36–38,40,41). Même s'il est évident que le nombre d'examens réalisé est insuffisant pour nos IHA, nous devons poursuivre nos efforts quant à l'enseignement de l'échographie pleuropulmonaire aux urgences.

### 3. Echographie cardiaque

Sur le plan de l'échocardiographie, aucun étudiant n'a démontré sa compétence. Là aussi, nous sommes confrontés à un **manque de procédures par IHA**. Il nous est donc difficile de conclure.

*Pourquoi nos IHA ont-ils alors un faible taux d'apprentissage selon notre évaluation ?*

On remarque que le taux d'échec de concordance diagnostique sur l'ensemble des étudiants est presque de 50 % sur l'échocardiographie. Il est proche de 20 % en échographie abdominale et pleuropulmonaire. L'interprétation des images obtenues selon le contexte clinique est un élément primordial afin de pouvoir obtenir le bon diagnostic et donc les bonnes décisions thérapeutiques.

Le manque de procédure couplé à nos exigences de concordance diagnostique sont deux arguments fort pour expliquer ce faible taux d'apprentissage.

Il est à noter que nous avons travaillé sur des échographies par organe alors que les recommandations s'intéressent à des cibles (FAST échographie, recherche de dilatation pyélocalicielle, d'anévrisme de l'aorte abdominale, de signes échographiques de cholécystite, etc...).

En 2016, la SFMU s'est positionnée en concluant à une **absence de consensus** concernant le nombre d'examens à réaliser (10). **Il est donc nécessaire de poursuivre les études et notre travail a toute sa place pour répondre à ces problématiques pédagogiques.**

**Le point clé dans les trois champs d'études (abdominal, pleuropulmonaire et cardiaque) est le manque d'échographie pour conclure à l'acquisition de la compétence en échographie d'urgence. Notre exigence de concordance diagnostique a clairement augmenté les difficultés d'apprentissage selon nos critères. Cependant, nous considérons que ce niveau d'exigence est nécessaire pour former des praticiens amenés à réaliser des échographies en situation isolée lors d'opérations extérieures.**

### B. Impact de l'analyse statistique

La méthode LC-CUSUM est la référence en termes de courbe d'apprentissage et est adaptée à ce genre d'étude à petits effectifs (97,98).

Cependant, l'interprétation des résultats est intrinsèquement liée aux paramètres du test LC-CUSUM et principalement à la **limite h** (limite d'acquisition de compétence).

Pour rappel, la limite h a été fixée à 1.25 donnant comme caractéristiques à notre test : TDR (équivalent risque bêta) à 91 % de probabilité d'évaluer la compétence comme adéquate et FDR (équivalent risque alpha) à 15 % d'interpréter à tort une compétence comme adéquate.

Le choix d'une limite h basse a pour principale conséquence l'amélioration du seuil de détection. Cependant, cela va de pair avec l'augmentation du risque d'interpréter à tort l'acquisition de la compétence. A l'inverse, une limite h trop élevée permet de diminuer ce risque mais va de pair avec une nette diminution de probabilité d'acquisition de compétence (102).

On aura donc tendance à privilégier une limite h haute avec un FDR faible pour une procédure où l'on ne veut pas d'échec.

Dans notre étude, le test a été paramétré pour 50 réalisations et le choix de la limite h est arbitraire et spécifique de la méthode LC-CUSUM. Le choix d'une limite à 1.25 optimise l'objectif de l'acquisition de la compétence tout en respectant un risque modéré de 15% d'interpréter à tort cette acquisition.

L'unique moyen d'obtenir un TDR élevé associé à un FDR bas est d'augmenter le nombre de procédure. Cependant, cela semble difficile en termes de formation notamment sur 6 mois.

**Un suivi sur une période supérieure à 6 mois est donc nécessaire pour obtenir plus d'échographie par IHA et donc des résultats plus performants.**

La pertinence de l'indication échographique n'est pas l'objet de cette étude et la méthode LC-CUSUM ne répond pas à cette interrogation. Elle est une aide décisionnelle dans les critères d'acquisition d'une compétence pratique (ici l'échographie d'urgence). Cependant, elle permet d'affirmer l'acquisition technique et interprétative de l'échographie.

Pour affiner la validation de la compétence en échographie d'urgence, il est nécessaire de coupler cette analyse LC-CUSUM avec d'autres moyens d'évaluation tels que des examens théoriques (écrits, oraux) et pratiques avec mise en situation.

### C. Analyse du questionnaire

Nous avons voulu évaluer de manière subjective ce mode de formation des IHA.

La formation théorique dont ont bénéficié les IHA était courte (½ journée) mais a tout de même été vécue comme satisfaisante voir optimale chez plus de ¾ des étudiants. Seuls 22.2 % estiment que la formation théorique a été insuffisante et personne ne l'a trouvée inadaptée. Ils demandent tout de même des rappels théoriques ponctuels afin d'optimiser leurs interprétations. Une formation théorique courte est recommandée dans la littérature mais sur des durées plus longues (dizaine d'heure) **ce qui fut difficilement réalisable en pratique pour nous** (32).

En revanche, concernant la formation pratique, ils l'estiment à 66.6% comme insuffisante. La durée pratique sur sujet sain est trop courte. Ils sont surtout demandeurs d'échographies d'entraînements sur des sujets malades afin de s'imprégner d'images pathologiques. Là aussi, il nous a été difficile en pratique d'organiser une formation plus longue. L'étude d'image pathologique impliquerait que chaque IHA soit accompagné au lit du malade. En l'absence de recommandation formelle sur les modalités pratiques de la formation, nous nous sommes concentrés sur l'acquisition des images physiologiques.

Le remplissage d'un carnet de suivi est recommandé (10,62,89) et a été réalisé chronologiquement par les étudiants. Il a été facilement compris par l'ensemble des IHA même si 1/3 l'estiment chronophage. Il s'agit de la seule trace écrite de leur apprentissage. La réflexion autour d'un outil numérique connecté est à développer pour permettre le suivi en temps réel de

l'évolution des IHA. Cependant, cela ne résoudrait pas le temps passé par l'étudiant à renseigner ses résultats.

Enfin, concernant le ressenti subjectif de leur compétence par auto-évaluation, 89.9% des IHA se sentent compétents en échographie d'urgence dont 1/3 avec certitude. Cela contraste avec les données quantitatives de la méthode LC-CUSUM. Cette question évaluait surtout leur exercice dans leur SAU respectif donc dans un environnement, des personnels et une organisation connue. Cela influence certainement cette impression de compétence. Paradoxalement, ils se sentent compétents en la matière au sein de leur HIA mais pas en situation isolée (OPEX) où seulement 55.5 % se sentent compétents, ce qui vient renforcer cette hypothèse.

Ils sont en revanche unanime sur le fait que cette formation est une excellente initiative surtout pendant leur internat. Ils considèrent avoir gagné en autonomie.

**En conclusion, même si les résultats par l'analyse LC-CUSUM semblent décevants, il apparaît que le moment idéal à consacrer à cette formation essentielle serait l'internat.**

#### D. Limites

Comme dit précédemment, la pertinence de l'indication échographique n'est pas l'objet de cette étude. En effet, il ne s'agissait pas de réaliser un protocole d'indication de cible échographique. L'objectif principal était de construire la courbe d'apprentissage en échographie d'urgence avec des critères cliniques, techniques et diagnostiques. L'examen échographique devait être orienté par la clinique.

L'objectif de formation en « échographie de l'avant » s'intéresse à des cibles spécifiques au polytraumatisé et au blessé de guerre hémorragique : eFAST, échocardiographie d'urgence et collapsibilité de la VCI (65,80).

Idéalement, cette étude aurait pu s'intéresser à l'ensemble des IHA novices en échographie sur les huit HIA afin de les suivre durant leur semestre au SAU. Cependant, dans une problématique d'organisation, nous avons fait le choix d'une étude bi-centrique. Parmi les centres étudiés, le recrutement de patients polytraumatisés était insuffisant pour permettre la réalisation de l'étude uniquement sur ce type de coupes. Nous avons donc élargi les indications échographiques aux

critères ECMU (10,62) afin de s'adapter aux pathologies des patients réellement examinés dans ces deux SAU.

Nous avons fait le choix de diviser cette procédure en trois cadres nosologiques (pleuropulmonaire, cardiaque et abdominale). Afin d'augmenter la répétition des examens, l'étudiant devait réaliser l'ensemble des coupes échographiques appartenant à ce cadre (exemple : rechercher systématiquement un anévrysme de l'aorte abdominale devant une douleur de colique néphrétique). Les critères de succès ont été définis avant le début d'inclusion des échographies des IHA :

- Le choix de la durée (< 5 minutes) s'est fait de façon arbitraire d'après le peu de données de la littérature existantes et selon un délai considéré comme acceptable en condition réelle de réalisation (87,91). Il n'y a eu aucun problème avec le chronométrage des examens. La notion de chronométrage a un intérêt et représente une étape nécessaire afin d'augmenter progressivement la rapidité d'exécution au cours de l'apprentissage.

En pratique, il n'y a aucun intérêt à obtenir la réalisation la plus rapide possible. Seule une limite acceptable de réalisation en a un. En effet, dans la prise en charge d'une urgence vitale, l'échographie, bien qu'essentielle, ne doit pas retarder dans sa réalisation un acte thérapeutique ou une mise en condition du patient pour évacuation, notamment à l'avant.

- La validation de l'obtention des coupes était faite avec un médecin sénior formé à l'échographie d'urgence présent au moment de l'examen. A défaut, devant des problématiques organisationnelles des SAU, l'étudiant pouvait figer les images et les enregistrer afin de les faire valider ultérieurement par le médecin sénior. Toutes les échographies devaient être, après remplissage du carnet de suivi, contresignées par un médecin senior. Cet aspect fut partiellement réalisé en pratique compte tenu de la gestion des flux au SAU mais plus de 75 % des échographies réalisées ont été contresignées par les médecins seniors dans les carnets de suivi. Toutes les échographies non validées n'ont pas été comptabilisées comme un succès.

Tout cela amène le questionnement des formateurs ou superviseurs lors du contrôle avec l'étudiant. Nous avons choisi les HIA comme centres principaux de formation car l'ensemble des urgentistes sont formés à l'échographie. La moitié est même qualifiée en échographie d'urgence (DU d'échographie) sur l'HIA Robert-Picqué conformément aux recommandations de la SFMU (10). La disponibilité variable des seniors pour superviser les IHA lors de leurs échographies est cependant évoquée par les IHA dans le

questionnaire. Concernant l'investissement, celui des IHA a également été variable, malgré notre bienveillance et nos rappels réguliers. Il est à noter tout de même trois perdus de vue sur douze étudiants formés initialement. Un investissement des urgentistes côtoyant les IHA au quotidien dans une formation harmonisée et généralisée diminuerait ce biais d'attrition.

- La troisième et dernière étape était l'interprétation des échographies par les étudiants et la concordance avec le diagnostic final. Le diagnostic posé par l'étudiant était comparé soit à :
  - L'échographie réalisée par le médecin sénior
  - Un examen complémentaire (radiographie, TDM, échographie) interprété par un radiologue

Cet aspect de l'étude ne faisait pas appel uniquement à leurs compétences techniques mais plutôt réflexives, essentielles lors de la réalisation d'un examen complémentaire (comment interpréter ce que je vois dans le contexte clinique du patient ?). Cette phase essentielle d'interprétation ne va de pair qu'avec une formation théorique initiale suffisante et éventuellement répétée. Tout cela va dans le sens d'une formation avec un temps dédié dans leur cursus, idéalement au début de leur stage au SAU.

Sur le plan de l'accessibilité, les échographes étaient disponibles à tout moment selon les besoins des étudiants durant la durée de l'étude. Néanmoins, il y eu au total un mois d'indisponibilité du V-SCAN sur l'HIA Robert-Picqué. Nous avons donc pris la décision de poursuivre la réalisation d'échographies avec un autre échographe présent aux urgences soit le LOGIQ e R6.

## E. Impact sur la formation opérationnelle

Au sein de la préparation opérationnelle, l'échographie doit être intégrée afin d'optimiser la prise en charge du blessé de guerre. L'interne est en formation durant trois ans sur l'HIA, durée pendant laquelle la formation en échographie a tout intérêt à être enseignée et évaluée.

Au cours de cette étude, les IHA ont bénéficié d'une formation se rapprochant de la formation de préparation opérationnelle en échographie. Le principal constat est qu'il faut plus d'examen échographiques pour construire la courbe d'apprentissage et obtenir la compétence. **Un suivi supérieur à 6 mois est nécessaire.**

L'étude de l'état de cette formation dans le SSA fait actuellement l'objet du travail de thèse de l'IHA Brenet.C et confirme le constat d'une non-harmonisation des formations dispensées à Toulon, Lyon, Brest, Bordeaux et Paris. Même si le contenu s'axe principalement sur l'échographie de l'avant, on retrouve quelques disparités locales. Sur la forme, seule Bordeaux et Brest pratiquent les examens sur des sujets malades. Sur Brest, un simulateur d'eFAST haute-fidélité existe et est utilisé durant le stage. Le ressenti à posteriori des praticiens est positif sur cette formation mais plus de 75 % d'entre eux sont désireux d'une formation continue.

Dans ce contexte, une formation initiale pourrait être instaurée et idéalement harmonisée dans les HIA avec recueil de données dans un carnet de suivi comme recommandé par l'ACEP et la SFMU. Le suivi se ferait sur la durée totale du DES avec une mise au point semestrielle afin de suivre l'apprentissage des IHA. Une évaluation avec mise en situation et utilisation de l'échographie à l'issue de l'internat pourrait avoir lieu au sein du module d'urgence en temps de crise suivi à l'EVDG. Cependant, un nombre minimum d'échographie par cible doit être validé afin d'obtenir un suivi fiable. C'est ce que nous avons tenté de réaliser afin d'optimiser cette formation essentielle à la médecine des forces.

Le taux de projection actuel sur les différents théâtres d'opérations extérieures des praticiens sortis d'école est de plus de 80 % la première année.

<p><b>L'intérêt de former le praticien durant son internat permettrait aux médecins des forces d'arriver dans leur première affectation déjà formés en échographie.</b></p>
---

## F. Impact technologique

La formation des IHA de Robert-Picqué a été effectuée grâce au VScan Dual Probe®, échographe portatif présentant une sonde bifocale. Il s'agit actuellement de la dotation des médecins d'unités en Rôle 1, ainsi que des structures MEDEVAC voire certains CMA (6). Concernant les échographes portatif, Bobbia X. confirme son intérêt dans l'ECMU et notamment dans l'échographie pleuropulmonaire où le VScan présente de meilleures images que des échographes plus sophistiqués (1). L'explication viendrait en partie de l'absence de traitement de l'image par le VScan correspondant parfaitement à l'échographie pleuropulmonaire qui n'est qu'une interprétation d'artefact (34,40).

La simulation sur mannequins haute-fidélités est devenue courante et devient incontournable dans la formation à la plupart des gestes techniques de médecine d'urgence (103). La SFMU décrit une absence de consensus pour valider la formation échographique en laboratoire de simulation et nécessite de plus amples investigations (10). Cependant, les progrès technologiques en matière de haute-fidélité amènent à penser qu'il s'agirait d'une option de formation à valider. L'HIA de Brest a déjà commencé depuis 2015 à intégrer ce type de simulation dans sa formation à l'échographie opérationnelle. Une étude est actuellement en cours comparant la formation sur sujets sains et sur mannequins à haute-fidélité échographique (1).

Concernant les outils d'amélioration potentiels de formation, il existe un programme nommé « *Debriefing Assessment for Simulation in Healthcare*© » (DASH©) qui, couplé à des mises en situations ou simulations haute-fidélité améliorerait l'apprentissage (104). Il s'agit d'un outil utilisé depuis 2011 par l'« *American College of Chest Physician* » (ACCP) pour la formation principalement basé sur le debriefing d'une situation. Il consiste à échanger sur la mise en situation ou simulation vécue, analyser les actes et ressentis des praticiens évalués (105). Cela conduit à des apprentissages plus approfondis et augmente ainsi la probabilité d'acquisition.

Depuis l'utilisation de smartphones, l'accès aux informations concernant la prise en charge, les traitements, les contre-indications, etc..., est extrêmement simple. Une application sur smartphone est actuellement en cours de développement par le SSA et dirigée par le MC Travers S. pour les médecins des forces. Elle regrouperait l'ensemble des protocoles de sauvetage au combat (3). Le projet d'inclusion de points clefs concernant l'échographie voire l'inclusion du MARCHE/ECHO (5,6,76) dans ces protocoles est à proposer.

Dans la continuité des projets connectés, une application de carnet de suivi électronique accessible aux IHA et aux formateurs afin de suivre en temps réel l'apprentissage en échographie serait intéressant à développer.

#### G. Points clés

Cette étude avait pour objectif de déterminer la compétence en échographie d'urgence chez les internes. De façon globale, la compétence n'est pas acquise en six mois dans les trois champs d'explorations. Individuellement, on remarque que le peu d'étudiant ayant acquis la compétence ont réalisé un nombre d'échographies dans des proportions similaires aux données de la littérature.

Fort de ces résultats et de leur analyse, nous proposons une optimisation de la formation à l'échographie d'urgence destinée aux IHA :

- **Il est nécessaire de proposer aux IHA une formation harmonisée à l'échographie d'urgence durant leur internat, notamment lors de leurs passages en SAU**
- **La durée de formation doit être supérieure à 6 mois avec suivi par carnet de recueil avec un nombre d'examen par cible à valider**
- **Intérêt d'un examen final à l'issue du DES afin de valider cette formation**
- **Confirmation de la présence d'un encadrement formé à l'échographie d'urgence pour optimiser cet apprentissage**
- **Intérêt d'intégrer des nouvelles technologies dans la formation : utilisation de la simulation haute-fidélité en échographie, carnet de suivi numérique, applications connectées**

## VI. CONCLUSION

L'échographie d'urgence est désormais un outil incontournable en médecine d'urgence. Maîtrisée et reconnue dans la prise en charge des patients polytraumatisés, elle s'impose comme prolongement de l'examen clinique dans les SAU et le préhospitalier avec l'échographie clinique en médecine d'urgence (ECMU). En ce qui concerne la médecine opérationnelle, cœur de métier de la médecine des forces, elle fait désormais partie des différents algorithmes de prise en charge du blessé de guerre.

C'est pourquoi, grâce à notre étude prospective nous avons montré l'importance d'instaurer une formation harmonisée à l'échographie s'intéressant aux IHA et surtout d'évaluer leur courbe d'apprentissage, chaînon manquant et difficile à évaluer. La formation à l'échographie d'urgence mérite d'être généralisée à tous les IHA durant leur internat.

Ce travail s'intéressait à l'apprentissage à l'issue d'une formation initiale. La question se pose de la formation continue et du maintien de cette compétence une fois validée. Une analyse de la courbe de « désapprentissage » par analyse CUSUM mérite d'être réalisée (capacité à alerter sur un défaut de compétences au bout d'une limite inacceptable d'échec).

## VII. BIBLIOGRAPHIE

1. Bobbia X, Claret P-G, Perrin-Bayard R, Coussaye J-E de L. Place de l'échographie clinique en médecine d'urgence. *Ann Fr Médecine D'urgence*. 2019.
2. Ultrasound Guidelines: Emergency, Point-of-Care and Clinical Ultrasound Guidelines in Medicine. *Ann Emerg Med*. 1 mai 2017;69(5):e27-54.
3. EVDG. Enseignement du sauvetage au combat, 0309/EVDG/SPMO. 2012.
4. Martin P-V, Fogelman J, Dubecq C, Galant J, Travers S, Fritsch N. Intérêt de l'échographie dans la prise en charge du blessé de guerre dyspnéique. *Ann Fr Médecine D'urgence*. 2018.
5. Morand G, Dubecq C, Martin P vincent, Coz P., Travers S. Utilisation de l'échographie pour le triage de blessés de guerre.
6. Dubecq C. Le virage incontournable de l'échographie en médecine des forces. Bilan de dix ans d'utilisation et perspectives. *Med Armées*. 2017;45(2):205-12.
7. Décision n°521621/DEF/DCSSA/RH/PF2R relative à la création du centre d'enseignement et de simulation à la médecine opérationnelle. 2014.
8. Scalea TM, Rodriguez A, Chiu WC, Brenneman FD, Fallon WF, Kato K, et al. Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST): Results from an International Consensus Conference. *J Trauma Acute Care Surg*. mars 1999;46(3):466.
9. Kirkpatrick AW, Sirois M, Laupland KB, Liu D, Rowan K, Ball CG, et al. Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: the Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma (EFAST). *J Trauma*. août 2004;57(2):288-95.
10. SFMU. Premier niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé. *Societe francaise de medecine d'urgence*; 2016.
11. Kristensen JK, Buemann B, Kühl E. Ultrasonic scanning in the diagnosis of splenic haematomas. *Acta Chir Scand*. 1971;137(7):653-7.
12. Hoffmann R, Nerlich M, Muggia-Sullam M, Pohlemann T, Wippermann B, Regel G, et al. Blunt abdominal trauma in cases of multiple trauma evaluated by ultrasonography: a prospective analysis of 291 patients. *J Trauma*. avr 1992;32(4):452-8.
13. Tso P, Rodriguez A, Cooper C, Militello P, Mirvis S, Badellino MM, et al. Sonography in blunt abdominal trauma: a preliminary progress report. *J Trauma*. juill 1992;33(1):39-43; discussion 43-4.
14. Rozycki GS, Ochsner MG, Schmidt JA, Frankel HL, Davis TP, Wang D, et al. A prospective study of surgeon-performed ultrasound as the primary adjuvant modality for injured patient assessment. *J Trauma - Inj Infect Crit Care*. 1 janv 1995;39(3):492-500.

15. Boulanger BR, McLellan BA, Brenneman FD, Wherrett L, Rizoli SB, Culhane J, et al. Emergent Abdominal Sonography as a Screening Test in a New Diagnostic Algorithm for Blunt Trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* juin 1996;40(6):867.
16. Ingeman JE, Plewa MC, Okasinski RE, King RW, Knotts FB. Emergency Physician Use of Ultrasonography in Blunt Abdominal Trauma. *Acad Emerg Med.* 1996;3(10):931-7.
17. McKenney MG, Martin L, Lentz K, Lopez C, Sleeman D, Aristide G, et al. 1,000 Consecutive Ultrasounds for Blunt Abdominal Trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* avr 1996;40(4):607.
18. Wherrett LJ, Boulanger BR, McLellan BA, Brenneman FD, Rizoli SB, Culhane J, et al. Hypotension after Blunt Abdominal Trauma: The Role of Emergent Abdominal Sonography in Surgical Triage. *J Trauma Acute Care Surg.* nov 1996;41(5):815.
19. Sherbourne CD, Shanmuganathan K, Mirvis SE, Chiu WC, Rodriguez A. Visceral injury without hemoperitoneum: A limitation of screening abdominal sonography for trauma. *Emerg Radiol.* 1 nov 1997;4(6):349-54.
20. McElveen TS, Collin GR. The role of ultrasonography in blunt abdominal trauma: a prospective study. *Am Surg.* févr 1997;63(2):184-8.
21. Thomas B, Falcone RE, Vasquez D, Santanello S, Townsend M, Hockenberry S, et al. Ultrasound Evaluation of Blunt Abdominal Trauma: Program Implementation, Initial Experience, and Learning Curve. *J Trauma Acute Care Surg.* mars 1997;42(3):384.
22. Rozycki GS, Ballard RB, Feliciano DV, Schmidt JA, Pennington SD. Surgeon-performed ultrasound for the assessment of truncal injuries: lessons learned from 1540 patients. *Ann Surg.* oct 1998;228(4):557-67.
23. Shackford SR, Rogers FB, Osler TM, Trabulsy ME, Clauss DW, Vane DW. Focused Abdominal Sonogram for Trauma: The Learning Curve of Nonradiologist Clinicians in Detecting Hemoperitoneum. *J Trauma Acute Care Surg.* avr 1999;46(4):553.
24. Yeo A, Wong CY, Soo KC. Focused abdominal sonography for trauma (FAST). *Ann Acad Med Singapore.* nov 1999;28(6):805-9.
25. McKenney MG, Varela JE, Compton RP, McKenney KL, Cohn SM, Dolich MO. 2,576 Ultrasounds for Blunt Abdominal Trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* janv 2001;50(1):108.
26. Rozycki GS. Prospective evaluation of surgeons' use of ultrasound in the evaluation of trauma patients. *J Trauma.* mai 1993;
27. Richards JR, McGahan JP. Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) in 2017: What Radiologists Can Learn. *Radiology.* 14 mars 2017;283(1):30-48.
28. Yoshii H, Sato M, Yamamoto S, Motegi M, Okusawa S, Kitano M, et al. Usefulness and Limitations of Ultrasonography in the Initial Evaluation of Blunt Abdominal Trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* juill 1998;45(1):45.

29. Stengel D, Bauwens K, Schouli J, Porzsolt F, Rademacher G, Mutze S, et al. Systematic review and meta-analysis of emergency ultrasonography for blunt abdominal trauma. *BJS*. 2001;88(7):901-12.
30. Blaivas M, Theodoro D. Intraperitoneal blood missed on a FAST examination using portable ultrasound. *Am J Emerg Med*. 1 mars 2002;20(2):105-7.
31. MacKenzie EJ, Rivara FP, Jurkovich GJ, Nathens AB, Frey KP, Egleston BL, et al. A National Evaluation of the Effect of Trauma-Center Care on Mortality. *N Engl J Med*. 26 janv 2006;354(4):366-78.
32. Adnet F, Galinski M, Lapostolle F. Échographie en traumatologie pour l'urgentiste : de l'enseignement à la pratique. *Réanimation*. 1 déc 2004;13(8):465-70.
33. McKenney KL, McKenney MG, Cohn SM, Compton R, Nunez DB, Dolich M, et al. Hemoperitoneum Score Helps Determine Need for Therapeutic Laparotomy. *J Trauma Acute Care Surg*. avr 2001;50(4):650.
34. Lichtenstein DA. Échographie pleuro-pulmonaire. *Réanimation*. 1 janv 2003;12(1):19-29.
35. Lichtenstein D. Échographie pulmonaire en réanimation et aux urgences. *Réanimation*. 1 déc 2008;17(8):722-30.
36. Ma OJ, Mateer JR. Trauma Ultrasound Examination Versus Chest Radiography in the Detection of Hemothorax. *Ann Emerg Med*. 1 mars 1997;29(3):312-6.
37. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J-J. Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Anesthesiol J Am Soc Anesthesiol*. 1 janv 2004;100(1):9-15.
38. Rowan KR, Kirkpatrick AW, Liu D, Forkheim KE, Mayo JR, Nicolaou S. Traumatic Pneumothorax Detection with Thoracic US: Correlation with Chest Radiography and CT—Initial Experience. *Radiology*. 1 oct 2002;225(1):210-4.
39. Zanobetti M, Poggioni C, Pini R. Can Chest Ultrasonography Replace Standard Chest Radiography for Evaluation of Acute Dyspnea in the ED? *Chest*. 1 mai 2011;139(5):1140-7.
40. 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*. 1 avr 2012;38(4):577-91.
41. Zhang M, Liu Z-H, Yang J-X, Gan J-X, Xu S-W, You X-D, et al. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Crit Care*. 1 août 2006;10(4):R112.
42. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure\*: The BLUE Protocol. *Chest*. 1 juill 2008;134(1):117-25.
43. Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol: Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically Ill. *Chest*. 1 juin 2015;147(6):1659-70.

44. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for Chamber Quantification: A Report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, Developed in Conjunction with the European Association of Echocardiography, a Branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr.* 1 déc 2005;18(12):1440-63.
45. Neumar R., Otto C, Link M. Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Am Heart Assoc. 2010;
46. Bustam A, Azhar MN, Veriah RS, Arumugam K, Loch A. Performance of emergency physicians in point-of-care echocardiography following limited training. *Emerg Med J.* 1 mai 2014;31(5):369-73.
47. Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, et al. Focused Cardiac Ultrasound in the Emergent Setting: A Consensus Statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr.* 1 déc 2010;23(12):1225-30.
48. Tsang TSM, Enriquez-Sarano M, Freeman WK, Barnes ME, Sinak LJ, Gersh BJ, et al. Consecutive 1127 Therapeutic Echocardiographically Guided Pericardiocenteses: Clinical Profile, Practice Patterns, and Outcomes Spanning 21 Years. *Mayo Clin Proc.* 1 mai 2002;77(5):429-36.
49. Randazzo MR, Snoey ER, Levitt MA, Binder K. Accuracy of Emergency Physician Assessment of Left Ventricular Ejection Fraction and Central Venous Pressure Using Echocardiography. *Acad Emerg Med.* 2003;10(9):973-7.
50. Roy P-M, Colombet I, Durieux P, Chatellier G, Sors H, Meyer G. Systematic review and meta-analysis of strategies for the diagnosis of suspected pulmonary embolism. *BMJ.* 28 juill 2005;331(7511):259.
51. Bobbia X. Évaluation hémodynamique en médecine d'urgence : apport de l'échocardiographie.
52. Muller L, Bobbia X, Toumi M, Louart G, Molinari N, Ragonnet B, et al. Respiratory variations of inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with acute circulatory failure: need for a cautious use. *Crit Care.* 8 oct 2012;16(5):R188.
53. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation.* 1 oct 2015;95:100-47.
54. O'Dochartaigh D, Douma M. Prehospital ultrasound of the abdomen and thorax changes trauma patient management: A systematic review. *Injury.* 1 nov 2015;46(11):2093-102.
55. Blaivas M. Triage in the trauma bay with the focused abdominal sonography for trauma (FAST) examination. *J Emerg Med.* 1 juill 2001;21(1):41-4.

56. Bode P, Edwards M, Kruit M, Vugt A. Bode PJ, Edwards MJR, Kruit MC, van Vugt AB. Sonography in a clinical algorithm for early evaluation of 1671 patients with blunt abdominal trauma. *AJR Am J Roentgenol.* 172: 905-911. *AJR Am J Roentgenol.* 1 mai 1999;172:905-11.
57. Walcher F, Weinlich M, Conrad G, Schweigkofler U, Breitzkreutz R, Kirschning T, et al. Prehospital ultrasound imaging improves management of abdominal trauma. *BJS.* 1 févr 2006;93(2):238-42.
58. Zieleskiewicz L, Fresco R, Duclos G, Antonini F, Mathieu C, Medam S, et al. Integrating extended focused assessment with sonography for trauma (eFAST) in the initial assessment of severe trauma: Impact on the management of 756 patients. *Injury.* 1 oct 2018;49(10):1774-80.
59. ACEP emergency ultrasound guidelines–2001. *Ann Emerg Med.* 1 oct 2001;38(4):470-81.
60. Emergency Ultrasound Guidelines. *Ann Emerg Med.* 1 avr 2009;53(4):550-70.
61. Wiel E, Rouyer F. De la FAST-échographie à l'échographie clinique. *Ann Fr Anesth Réanimation.* 1 mars 2014;33(3):149-50.
62. SFMU. Deuxieme niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé. juill 2018;
63. International ATLS working group, American College of Surgeons' Committee on Trauma, ATLS Subcommittee, Tchorz K. Advanced Trauma Life Support (ATLS®): The Ninth Edition. *J Trauma Acute Care Surg.* 1 mai 2013;1363.
64. Holcomb JB, McMullin NR, Pearse L, Caruso J, Wade CE, Oetjen-Gerdes L, et al. Causes of Death in U.S. Special Operations Forces in the Global War on Terrorism. *Ann Surg.* juin 2007;245(6):986-91.
65. Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, Cantrell J, Tops T, Uribe P, et al. Death on the battlefield (2001–2011): Implications for the future of combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg.* déc 2012;73(6):S431.
66. Holcomb JB, Jenkins D, Rhee P, Johannigman J, Mahoney P, Mehta S, et al. Damage Control Resuscitation: Directly Addressing the Early Coagulopathy of Trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* févr 2007;62(2):307.
67. Le Noël A, Mérat S, Ausset S, De Rudnicki S, Mion G. Le concept de damage control resuscitation. *Ann Fr Anesth Réanimation.* 1 sept 2011;30(9):665-78.
68. Moore EE. Staged laparotomy for the hypothermia, acidosis, and coagulopathy syndrome. *Am J Surg.* 1 nov 1996;172(5):405-10.
69. Nicholas JM, Rix EP, Easley KA, Feliciano DV, Cava RA, Ingram WL, et al. Changing Patterns in the Management of Penetrating Abdominal Trauma: The More Things Change, the More They Stay the Same. *J Trauma Acute Care Surg.* déc 2003;55(6):1095.

70. Hatch QM, Osterhout LM, Ashraf A, Podbielski J, Kozar RA, Wade CE, et al. Current Use of Damage-Control Laparotomy, Closure Rates, and Predictors of Early Fascial Closure at the First Take-Back. *J Trauma Acute Care Surg.* juin 2011;70(6):1429.
71. Kerforne T, Petitpas F, Scepi M, Loupec T, Dufour J, Nanadoumgar H, et al. Accurate and easy to learn ultrasound sign to confirm correct tracheal intubation in cadaver model. *Br J Anaesth.* 1 sept 2013;111(3):510-1.
72. Bouaziz H, Zetlaoui PJ, Pierre S, Desruennes E, Fritsch N, Jochum D, et al. Guidelines on the use of ultrasound guidance for vascular access. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 1 févr 2015;34(1):65-9.
73. Ziegler D, Cravens G, Angles G, Gandhi R, Cho P. Use of transcranial Doppler in patients with severe traumatic brain injury. *Crit Care.* 2010;14(Suppl 1):P292.
74. Messerer M, Berhouma M, Messerer R, Dubourg J. Intérêt de l'échographie du diamètre de l'enveloppe du nerf optique pour la détection non invasive de l'hypertension intracrânienne. *Neurochirurgie.* 1 avr 2013;59(2):55-9.
75. Wey P-F. UltraSound Assessment of battle injuries in war conditions. *Urgence Prat.* 1 mars 2009;93:45-8.
76. Hallais S, Martin P vincent. Évaluation du protocole « MARCH écho » dans la prise en charge du blessé de guerre. *Med Armées.* 2018;(2):191.
77. Aigle L. L'échographe au secours du médecin d'unité: gadget ou réel outil diagnostique? *Med Armées.* 2012;
78. Favier jean-christophe, Aigle L, Tondeur G, Cazes N, Leyral J. Quelles devraient être les indications de l'échographie en Role 1? *Medécine Armées.* 1 oct 2014;42:315-20.
79. Thien-bourgery F, Da Silva-Moinet V, Claret P-G, Roussel P, Saroch S, Hacia J. Echographie en OPEX et en situation isolée, à propos de quatre cas. *Med Armées.* 2018;(2):115-9.
80. Leyral J, Cazes N, Aigle L, Petitjeans F, Lablanche C, Fav J-C. Échographie de l'avant au Role 1: quelle formation pour le médecin d'unité? *Med Armées.* 2014;42(4):309-14.
81. Smith RS, Kern SJ, Fry WR, Helmer SD. Institutional Learning Curve of Surgeon-Performed Trauma Ultrasound. *Arch Surg.* 1 mai 1998;133(5):530-6.
82. Ma OJ, Mateer JR, Ogata M, Kefer MP, Wittmann D, Aprahamian C. Prospective analysis of a rapid trauma ultrasound examination performed by emergency physicians. *J Trauma.* juin 1995;38(6):879-85.
83. Jang T, Aubin C, Naunheim R. Minimum training for right upper quadrant ultrasonography. *Am J Emerg Med.* 1 oct 2004;22(6):439-43.
84. Gracias VH, Frankel HL, Gupta R, Malcynski J, Gandhi R, Collazzo L, et al. Defining the learning curve for the Focused Abdominal Sonogram for Trauma (FAST) examination: implications for credentialing. *Am Surg.* avr 2001;67(4):364-8.

85. Blehar DJ, Barton B, Gaspari RJ. Learning curves in emergency ultrasound education. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* mai 2015;22(5):574-82.
86. Carrié C, Biais M, Lafitte S, Grenier N, Revel P, Janvier G. Goal-directed ultrasound in emergency medicine: evaluation of a specific training program using an ultrasonic stethoscope. 2015.
87. Cazes N, Desmots F, Geffroy Y, Renard A, Leyral J, Chaumoître K. Échographie en situation d'urgence : étude prospective sur la formation nécessaire et suffisante pour des médecins militaires. 2013.
88. Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, et al. American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française Statement on Competence in Critical Care Ultrasonography. *Chest.* 1 avr 2009;135(4):1050-60.
89. Arntfield RT, Millington SJ, Ainsworth CD, Arora RC, Boyd J, Finlayson G, et al. Canadian recommendations for critical care ultrasound training and competency. *Can Respir J J Can Thorac Soc.* 2014;21(6):341-5.
90. Le Gourrierec T. Formation des urgentistes à l'échographie pulmonaire. 2015.
91. Gogalniceanu P, Sheena Y, Kashef E, Purkayastha S, Darzi A, Paraskeva P. Is Basic Emergency Ultrasound Training Feasible as Part of Standard Undergraduate Medical Education? *J Surg Educ.* 1 mai 2010;67(3):152-6.
92. Socransky S, Wiss R, Bota G, Furtak T. How long does it take to perform emergency ultrasound for the primary indications? *Crit Ultrasound J.* 1 nov 2010;2(2):59-63.
93. Brun P-M, Bessereau J, Chenaitia H, Pradel A-L, Deniel C, Garbaye G, et al. Stay and play eFAST or scoop and run eFAST? That is the question! *Am J Emerg Med.* 1 févr 2014;32(2):166-70.
94. McCarter FD, Luchette FA, Molloy M, Hurst JM, Davis K, Johannigman JA, et al. Institutional and Individual Learning Curves for Focused Abdominal Ultrasound for Trauma. *Ann Surg.* mai 2000;231(5):689-700.
95. Williams SM, Parry BR, Schlup MM. Quality control: an application of the cusum. *BMJ.* 23 mai 1992;304(6838):1359-61.
96. Bolsin S, Colson M. The use of the CUSUM technique in the assessment of trainee competence in new procedures. *Int J Qual Health Care J Int Soc Qual Health Care ISQua.* 1 nov 2000;12:433-8.
97. Biau DJ, Porcher R. A method for monitoring a process from an out of control to an in control state: Application to the learning curve. *Stat Med.* 15 août 2010;29(18):1900-9.
98. Biau DJ, Williams SM, Schlup MM, Nizard RS, Porcher R. Quantitative and individualized assessment of the learning curve using LC-CUSUM. *Br J Surg.* juill 2008;95(7):925-9.

99. Segna E, Caruhel J-B, Corre P, Picard A, Biau D, Khonsari RH. Quantitative assessment of the learning curve for cleft lip repair using LC-CUSUM. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2017.
100. Masson E. Évaluation de la courbe d'apprentissage des prothèses trapézométacarpiennes Maia par le LC-CUSUM Test. *EM-Consulte*. 2017.
101. Lee Y-K, Biau DJ, Yoon B-H, Kim T-Y, Ha Y-C, Koo K-H. Learning Curve of Acetabular Cup Positioning in Total Hip Arthroplasty Using a Cumulative Summation Test for Learning Curve (LC-CUSUM). *J Arthroplasty*. 1 mars 2014;29(3):586-9.
102. Biau DJ. Monitoring the learning curve. 2015.
103. Allain M, Kuczer V, Longo C, Batard E, Conte PL. Place de la simulation dans la formation initiale des urgentistes : enquête nationale observationnelle. *Ann Fr Médecine D'urgence*. 1 avr 2018;8(2):75-82.
104. Beaulieu Y, Laprise R, Drolet P, Thivierge RL, Serri K, Albert M, et al. Bedside ultrasound training using web-based e-learning and simulation early in the curriculum of residents. *Crit Ultrasound J*. 21 janv 2015;7(1):1.
105. Debriefing Assessment for Simulation in Healthcare (DASH) Student Version©.

## SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité.

Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer leurs consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés.

Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission.

Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences.

Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses : que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

○...ALLEZ OU LA PATRIE ET L'HUMANITE ○  
VOUS APPELLENT SOYEZ Y TOUJOURS  
PRETS A SERVIR L'UNE ET L'AUTRE ET S'IL  
LE FAUT SACHEZ IMITER CEUX DE VOS  
GENEREUX COMPAGNONS QUI AU MEME POSTE  
SONT MORTS MARTYRS DE CE DEVOUEMENT  
INTREPIDE ET MAGNANIME  
QUI EST LE VERITABLE ACTE DE FOI  
DES HOMMES DE NOTRE ETAT.

---

**BARON PERCY**

CHIRURGIEN EN CHEF DE LA GRANDE ARMÉE  
○ AUX CHIRURGIENS SOUS-AIDES. 1811 ○