

2019-2020

THÈSE

pour le

DIPLOÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Qualification en DES de MÉDECINE GÉNÉRALE

**Apprentissage de l'échographie
pleuropulmonaire dans la dyspnée
aiguë : comparaison de deux
stratégies pédagogiques.
Étude COMPUS**

MORIN François

Né le 30 mars 1991 à Rennes (35)

Sous la direction de Monsieur MIROUX Patrick

Membres du jury

Monsieur le Professeur ROY Pierre-Marie	Président
Monsieur le Docteur MIROUX Patrick	Directeur
Monsieur le Professeur AUBÉ Christophe	Membre
Monsieur le Professeur MARTIN Ludovic	Membre
Madame la Docteure DOUILLET Delphine	Membre

Soutenue publiquement le :
31 Octobre 2019

ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

Je, soussigné François MORIN
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une
partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet,
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées
pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le **22/09/2019**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "FM".

LISTE DES ENSEIGNANTS DE LA FACULTÉ DE SANTÉ D'ANGERS

Doyen de la Faculté : Pr Nicolas Lerolle

Vice-Doyen de la Faculté et directeur du département de pharmacie :

Pr Frédéric Lagarce

Directeur du département de médecine : Pr Cédric Annweiler

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

ABRAHAM Pierre	Physiologie	Médecine
ANNWEILER Cédric	Gériatrie et biologie du vieillissement	Médecine
ASFAR Pierre	Médecine intensive et Réanimation	Médecine
AUBE Christophe	Radiologie et imagerie médicale	Médecine
AUGUSTO Jean-François	Néphrologie	Médecine
AZZOUIZI Abdel Rahmène	Urologie	Médecine
BAUFRETON Christophe	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire	Médecine
BENOIT Jean-Pierre	Pharmacotechnie	Pharmacie
BEYDON Laurent	Anesthésiologie-réanimation	Médecine
BIGOT Pierre	Urologie	Médecine
BONNEAU Dominique	Génétique	Médecine
BOUCHARA Jean-Philippe	Parasitologie et mycologie	Médecine
BOUVARD Béatrice	Rhumatologie	Médecine
BOURSIER Jérôme	Gastroentérologie ; hépatologie	Médecine
BRIET Marie	Pharmacologie	Médecine
CAILLIEZ Eric	Médecine générale	Médecine
CALES Paul	Gastroentérologue ; hépatologie	Médecine
CAMPONE Mario	Cancérologie ; radiothérapie	Médecine
CAROLI-BOSC François-xavier	Gastroentérologie ; hépatologie	Médecine
CHAPPARD Daniel	Cytologie, embryologie et cytogénétique	Médecine
CONNAN Laurent	Médecine générale	Médecine
COUTANT Régis	Pédiatrie	Médecine
COUTURIER Olivier	Biophysique et médecine nucléaire	Médecine
CUSTAUD Marc-Antoine	Physiologie	Médecine
DE BRUX Jean-Louis	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire	Médecine
DE CASABIANCA Catherine	Médecine Générale	Médecine
DESCAMPS Philippe	Gynécologie-obstétrique	Médecine
DINOMAIS Mickaël	Médecine physique et de réadaptation	Médecine
DIQUET Bertrand	Pharmacologie	Médecine
DUBEE Vincent	Maladies Infectieuses et Tropicales	Médecine

DUCANCELLÉ Alexandra	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière	Médecine
DUVAL Olivier	Chimie thérapeutique	Pharmacie
DUVERGER Philippe	Pédopsychiatrie	Médecine
EVEILLARD Mathieu	Bactériologie-virologie	Pharmacie
FANELLO Serge	Épidémiologie ; économie de la santé et prévention	Médecine
FAURE Sébastien	Pharmacologie physiologie	Pharmacie
FOURNIER Henri-Dominique	Anatomie	Médecine
FURBER Alain	Cardiologie	Médecine
GAGNADOUX Frédéric	Pneumologie	Médecine
GARNIER François	Médecine générale	Médecine
GASCOIN Géraldine	Pédiatrie	Médecine
GOHIER Bénédicte	Psychiatrie d'adultes	Médecine
GUARDIOLA Philippe	Hématologie ; transfusion	Médecine
GUILET David	Chimie analytique	Pharmacie
HAMY Antoine	Chirurgie générale	Médecine
HUNAULT-BERGER Mathilde	Hématologie ; transfusion	Médecine
IFRAH Norbert	Hématologie ; transfusion	Médecine
JEANNIN Pascale	Immunologie	Médecine
KEMPF Marie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière	Médecine
LACCOURREYE Laurent	Oto-rhino-laryngologie	Médecine
LAGARCE Frédéric	Biopharmacie	Pharmacie
LARCHER Gérald	Biochimie et biologie moléculaires	Pharmacie
LASOCKI Sigismond	Anesthésiologie-réanimation	Médecine
LEGENDRE Guillaume	Gynécologie-obstétrique	Médecine
LEGRAND Erick	Rhumatologie	Médecine
LERMITE Emilie	Chirurgie générale	Médecine
LEROLLE Nicolas	Réanimation	Médecine
LUNEL-FABIANI Françoise	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière	Médecine
MARCHAIS Véronique	Bactériologie-virologie	Pharmacie
MARTIN Ludovic	Dermato-vénérérologie	Médecine
MENEI Philippe	Neurochirurgie	Médecine
MERCAT Alain	Médecine intensive et Réanimation	Médecine
MERCIER Philippe	Anatomie	Médecine
PAPON Nicolas	Parasitologie et mycologie médicale	Pharmacie
PASSIRANI Catherine	Chimie générale	Pharmacie
PELLIER Isabelle	Pédiatrie	Médecine
PETIT Audrey	Médecine et Santé au Travail	Médecine
PICQUET Jean	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire	Médecine
PODEVIN Guillaume	Chirurgie infantile	Médecine
PROCACCIO Vincent	Génétique	Médecine
PRUNIER Delphine	Biochimie et Biologie Moléculaire	Médecine
PRUNIER Fabrice	Cardiologie	Médecine
REYNIER Pascal	Biochimie et biologie moléculaire	Médecine

RICHARD Isabelle	Médecine physique et de réadaptation	Médecine
RICHOMME Pascal	Pharmacognosie	Pharmacie
RODIEN Patrice	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques	Médecine
ROQUELAURE Yves	Médecine et santé au travail	Médecine
ROUGE-MAILLART Clotilde	Médecine légale et droit de la santé	Médecine
ROUSSEAU Audrey	Anatomie et cytologie pathologiques	Médecine
ROUSSEAU Pascal	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique	Médecine
ROUSSELET Marie-Christine	Anatomie et cytologie pathologiques	Médecine
ROY Pierre-Marie	Médecine d'Urgence	Médecine
SAULNIER Patrick	Biophysique et biostatistique	Pharmacie
SERAPHIN Denis	Chimie organique	Pharmacie
SUBRA Jean-François	Néphrologie	Médecine
UGO Valérie	Hématologie ; transfusion	Médecine
URBAN Thierry	Pneumologie	Médecine
VAN BOGAERT Patrick	Pédiatrie	Médecine
VENIER-JULIENNE Marie-Claire	Pharmacotechnie	Pharmacie
VERNY Christophe	Neurologie	Médecine
WILLOTEAUX Serge	Radiologie et imagerie médicale	Médecine

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

ANGOULVANT Cécile	Médecine Générale	Médecine
ANNAIX Véronique	Biochimie et biologie moléculaires	Pharmacie
BAGLIN Isabelle	Chimie thérapeutique	Pharmacie
BASTIAT Guillaume	Biophysique et biostatistique	Pharmacie
BEAUVILLAIN Céline	Immunologie	Médecine
BELIZNA Cristina	Médecine interne	Médecine
BELLANGER William	Médecine générale	Médecine
BELONCLE François	Médecine intensive et Réanimation	Médecine
BENOIT Jacqueline	Pharmacologie	Pharmacie
BIERE Loïc	Cardiologie	Médecine
BLANCHET Odile	Hématologie ; transfusion	Médecine
BOISARD Séverine	Chimie analytique	Pharmacie
CAPITAIN Olivier	Cancérologie ; radiothérapie	Médecine
CASSEREAU Julien	Neurologie	Médecine
CHEVAILLER Alain	Immunologie	Médecine
CHEVALIER Sylvie	Biologie cellulaire	Médecine
CLERE Nicolas	Pharmacologie / physiologie	Pharmacie
COLIN Estelle	Génétique	Médecine
DERBRE Séverine	Pharmacognosie	Pharmacie

DESHAYES Caroline	Bactériologie virologie	Pharmacie
FERRE Marc	Biologie moléculaire	Médecine
FLEURY Maxime	Immunologie	Pharmacie
FORTRAT Jacques-Olivier	Physiologie	Médecine
HAMEL Jean-François	Biostatistiques, informatique médicale	Médicale
HELESBEUX Jean-Jacques	Chimie organique	Pharmacie
HINDRE François	Biophysique	Médecine
JOUSSET-THULLIER Nathalie	Médecine légale et droit de la santé	Médecine
LACOEUILLE Franck	Biophysique et médecine nucléaire	Médecine
LANDREAU Anne	Botanique/ Mycologie	Pharmacie
LEBDAI Souhil	Urologie	Médecine
LEGEAY Samuel	Pharmacocinétique	Pharmacie
LE RAY-RICHOMME Anne-Marie	Pharmacognosie	Pharmacie
LEPELTIER Elise	Chimie générale	Pharmacie
LETOURNEL Franck	Biologie cellulaire	Médecine
LIBOUBAN Hélène	Histologie	Médecine
MABILLEAU Guillaume	Histologie, embryologie et cytogénétique	Médecine
MALLET Sabine	Chimie Analytique	Pharmacie
MAROT Agnès	Parasitologie et mycologie médicale	Pharmacie
MAY-PANLOUP Pascale	Biologie et médecine du développement et de la reproduction	Médecine
MESLIER Nicole	Physiologie	Médecine
MOUILLIE Jean-Marc	Philosophie	Médecine
NAIL BILLAUD Sandrine	Immunologie	Pharmacie
PAILHORIES Hélène	Bactériologie-virologie	Médecine
PAPON Xavier	Anatomie	Médecine
PASCO-PAPON Anne	Radiologie et imagerie médicale	Médecine
PECH Brigitte	Pharmacotechnie	Pharmacie
PENCHAUD Anne-Laurence	Sociologie	Médecine
PIHET Marc	Parasitologie et mycologie	Médecine
PY Thibaut	Médecine Générale	Médecine
RINEAU Emmanuel	Anesthésiologie réanimation	Médecine
RIOU Jérémie	Biostatistiques	Pharmacie
ROGER Emilie	Pharmacotechnie	Pharmacie
SAVARY Camille	Pharmacologie-Toxicologie	Pharmacie
SCHMITT Françoise	Chirurgie infantile	Médecine
SCHINKOWITZ Andréas	Pharmacognosie	Pharmacie
SPIESSER-ROBELET Laurence	Pharmacie Clinique et Education	Pharmacie
TANGUY-SCHMIDT Aline	Thérapeutique	Médecine
TESSIER-CAZENEUVE Christine	Hématologie ; transfusion	Médecine
TRZEPIZUR Wojciech	Médecine Générale	Médecine
	Pneumologie	Médecine

AUTRES ENSEIGNANTS

AUTRET Erwan	Anglais	Médecine
BARBEROUSSSE Michel	Informatique	Médecine
BRUNOIS-DEBU Isabelle	Anglais	Pharmacie
CHIKH Yamina	Économie-Gestion	Médecine
FISBACH Martine	Anglais	Médecine
O'SULLIVAN Kayleigh	Anglais	Médecine

PAST

CAVAILLON Pascal	Pharmacie Industrielle	Pharmacie
LAFFILHE Jean-Louis	Officine	Pharmacie
MOAL Frédéric	Pharmacie clinique	Pharmacie

ATER

FOUDI Nabil	Physiologie	Pharmacie
KILANI Jaafar	Biotechnologie	Pharmacie
WAKIM Jamal	Biochimie et chimie biomoléculaire	Médecine

AHU

BRIS Céline	Biochimie et biologie moléculaire	Pharmacie
CHAPPE Marion	Pharmacotechnie	Pharmacie
LEBRETON Vincent	Pharmacotechnie	Pharmacie

CONTRACTUEL

VIAULT Guillaume	Chimie organique	Pharmacie
------------------	------------------	-----------

REMERCIEMENTS

Je remercie très sincèrement,

Monsieur le Professeur ROY Pierre-Marie :

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse. Merci pour vos conseils avisés et répétés mais également un immense merci pour votre soutien et vos encouragements pour le début de mes fonctions universitaires.

Monsieur le Docteur MIROUX Patrick :

Je te remercie de m'avoir orienté vers ce sujet de thèse et de m'avoir donné les moyens techniques pour sa réalisation. Merci pour tes précieux conseils tout au long de ce travail et de m'avoir rassuré lors de mes périodes de doute.

Madame le Docteur DOUILLET Delphine :

Je te remercie pour ta disponibilité et ta gentillesse sans faille, tes conseils avisés et tes encouragements permanents. Tes suggestions méthodologiques m'ont été d'une très grande aide.

Monsieur le Professeur AUBÉ Christophe :

Je vous remercie pour l'intérêt porté à mon travail et d'avoir accepté de composer mon jury de thèse.

Monsieur le Professeur MARTIN Ludovic :

Je vous remercie pour l'intérêt porté à mon travail et d'avoir accepté de composer mon jury de thèse malgré votre éloignement géographique.

Monsieur le Docteur MOUMNEH Thomas :

Je te remercie pour ta précieuse aide statistique et de t'être toujours rendu disponible, à Angers comme à des milliers de kilomètres

Madame le Docteur SOULIÉ-CHAVIGNON :

Merci de m'avoir soutenu dès les balbutiements de ma thèse.

Madame RACOILLET Fabienne, Customer Specialist chez Twin Medical:

Merci de vous être rendue disponible et d'avoir arrangé tous les aléas techniques auxquels j'ai été confronté.

La société Twin Medical :

Pour avoir prêté pendant 4 mois au centre de simulation All Sims le module de simulation échographique pulmonaire afin de mener à bien mon travail

Monsieur Stéphane BRUT, technicien au centre de Simulation All Sims d'Angers :

Merci d'avoir répondu avec bienveillance à toutes mes demandes et de t'être démené pour me permettre d'accéder au simulateur échographique quand je le souhaitais.

Merci à toute l'équipe du centre de simulation All Sims, qui m'aide logistiquement tout au long de mon travail.

Merci à tous les internes qui ont accepté de participer à ce travail, merci donc à M. BIZOUARD Thomas, M. ARMAND Matthieu, Mme PLARD Delphine, Mme ERMEL Anne-Sophie, M. SALOUX Thomas, Mme BELIARD Marianne, M. LEVERT Bastien, M. MAVROPOULOS Arthur, Mme JOLIVET Elina, Mme TROCHE Manon, Mme BOUGARD Maeva, Mme MPENZI Bernadette, Mme SABOURAULT Juliette, M. CHEVALIER Rémi, Mme RAVON Pauline, M. POISSON Benjamin, M. WINTENBERGER Benjamin, M. MARGUERITTE Clément, M. RETIERE-DORE Nicolas, M. FOURICQUET Victor et Mme RYCKEBOER Margaux

Merci à tous les médecins du Département de Médecine d'Urgence (DMU), du service des urgences adultes du Centre Hospitalier du Mans et du service de médecine intensive et réanimation – médecine hyperbare du CHU d'Angers :

Merci d'avoir pris le temps de senioriser les internes participant à cette étude.

Un grand merci à toute l'équipe hospitalo-universitaire du service de Médecine Intensive et Réanimation, Médecine Hyperbare du CHU d'Angers et tout particulièrement aux Pr.MERCAT, Pr .ASFAR, Dr.BELONCLE, Dr.MEZDAD et Dr.PIERROT. Votre rigueur et votre bienveillance m'ont beaucoup aidé.

REMERCIEMENTS

Merci Pauline de m'apporter ton sourire et tout ce bonheur au quotidien.

Merci Papa et Maman de m'avoir apporté votre soutien sans faille dans les moments difficiles comme heureux de mes études médicales. Votre affection fut le principal moteur de ma réussite et me permet d'exercer aujourd'hui le métier dont je rêvais étant petit, heureux et épanoui.

Merci Nicolas d'être depuis 28 ans un frère aimant, un ami bienveillant et un compagnon d'étude motivant. Que de chemin parcouru depuis cet effrayant hangar de 2011 où nous avions nos tables l'une derrière l'autre. Je suis fier d'être aujourd'hui ton confrère.

Merci Noëlline de me rendre si fier tous les jours, aussi bien par tes brillantes études médicales que par la personne altruiste que tu es.

Merci papy Louis, mamie Hélène, papy Marcel et mamie Simone pour vos encouragements et votre tendresse indéfectible.

Merci à toute l'« Ex-Team Laval ». Nos discussions insensées et parfois irrévérencieuses sont toujours un plaisir.

Merci à mes cointernes de promotion de DESC de Médecine d'Urgence et tout particulièrement à Clémence, Delphine et Benjamin. C'est toujours une joie de passer ensemble des moments d'urgence mais pas que.

Merci à tous mes co-internes du « Mercatshow » avec qui j'ai passé des moments extraordinaires.

Dr.ROUËSSE et Dr.GUILLOU je vous remercie sincèrement pour vos enseignements durant les 6 mois passés à vos côtés. J'ai apprécié votre pratique de la médecine ambulatoire et votre dévouement pour vos patients.

Merci aux équipes médicales et paramédicales des services de pédiatrie du CH de Laval, de cardiologie du CH du Mans, des urgences adultes de Cholet et du CHU d'Angers, du SAMU d'Angers et de Réanimation Médicale au CHU d'Angers.

Merci à mes ex-coexternes dorénavant éloignés mais pour qui je garderai toujours une grande affection : merci Kaan, Alisée, Lisa et Claire.

Un grand merci à tous ceux que j'aurais pu oublier.

Liste des abréviations

ICA	Insuffisance cardiaque aiguë
BPCO	Broncho-pneumopathie chronique obstructive
DESC MU	Diplôme d'Étude Spécialisées Complémentaires en Médecine d'Urgence
DES MU	Diplôme d'Étude Spécialisées en Médecine d'Urgence
CHU	Centre Hospitalo-Universitaire
ECMU	Echographie clinique en médecine d'urgence
COMPUS	Comparison Methods Pleuropulmonary UltraSound
SIDES NG	Système Inter-universitaire Dématérialisé d'Evaluation en Santé Nouvelle Génération
CNUMU	Collège National des Universitaires en Médecine d'Urgence (CNUMU)
CNIL	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
DMG	Département de Médecine Générale
DMU	Département de Médecine d'Urgence
CCU-AH	Chef de Clinique Universitaire – Assistant des hôpitaux
2D	Mode échographique bi-dimensionnel
TM	Temps-Mouvements
EN	Echelle numérique d'auto-évaluation de la douleur
KWT	Kruskall Wallis Test
DTB	Dunn Test avec approximation de Bonferroni
MWT	Mann & Whitney Test
SFMU	Société Française de Médecine d'Urgence
SRLF	Société de Réanimation de Langue Française
SFAR	Société Française d'Anesthésie et de Réanimation
SOFRASIMS	Société Francophone de Simulation en Santé
HAS	Haute Autorité de Santé
JORF	Journal Officiel de la République Française
GRS	Global Rating Scale
CS	Checklist score
DPC	Développement professionnel continu
ANOVA	ANalyse Of VAriance
All Sims	Angers Loire Learning Simulation en Santé

Table des matières

INTRODUCTION :	1
MATÉRIEL ET MÉTHODE	4
1. Considérations éthiques et réglementaires	4
2. Étude COMPUS	4
3. Critères de jugement	5
4. Population étudiée	6
5. Nombre de sujets nécessaires	7
6. Hypothèses diagnostiques	7
7. Matériel technique	8
7.1. Simulateur MENTOR U/S ® Simbionix	8
7.2. Echographes	9
8. Déroulé de l'étude	10
8.1. Résumé de l'étude	10
8.2. Phase de formation initiale	10
8.3. Attribution des bras	12
8.4. Première évaluation des internes	12
8.5. Phase d'apprentissage	13
8.6. Deuxième évaluation	15
8.7. Troisième évaluation	15
9. Analyse statistique	16
RÉSULTATS	17
1. Description de la population étudiée	17
2. Evaluation des notes de compétences, des pourcentages de certitude et des temps de réalisation à 2 mois	18
2.1. Evaluation de la progression « $\Delta 1$ » de notes de compétence entre les évaluations 1 et 2	18
2.2. Evaluation des pourcentages de certitude à 2 mois	23
2.3. Evaluation du temps de réalisation échographique à 2 mois	25
3. Evaluation de l'ancrage à 3 mois de la formation	26
3.1. Evaluation de la progression « Δ » de notes de compétence entre les évaluations 1 et 3 et entre les évaluations 2 et 3.	26
3.2. Evaluation du temps de réalisation de l'échographie et du pourcentage de confiance diagnostique post-échographie lors de l'évaluation 3	28
4. Courbes d'apprentissage	28
4.1. Courbe d'apprentissage des notes de compétence	28
4.2. Courbe d'apprentissage des pourcentages de certitude diagnostique	31
4.3. Courbe d'apprentissage de la durée de réalisation des échographies	32
5. Pourcentage de pertinence diagnostique	35
6. Temps de réalisation des échographies seniorisées	36

DISCUSSION	37
1. Résultats principaux	37
2. Matériel et méthode	40
3. Limites et apport de l'étude	46
4. Perspectives et utilisation future	49
CONCLUSION	50
BIBLIOGRAPHIE.....	52
LISTE DES FIGURES	57
LISTE DES TABLEAUX.....	58
ANNEXES.....	I
SERMENT D'HIPPOCRATE.....	VII
RÉSUMÉ/ABSTRACT	1

INTRODUCTION :

La dyspnée aiguë est un motif très fréquent de recours aux soins préhospitaliers et de consultation aux urgences adultes (1,2). Elle représenterait environ 5% des admissions dans les services d'urgences d'Europe et d'Asie (1), avec une prévalence plus importante chez la population âgée de plus de 70 ans (3), en faisant le second motif de recours pour cette tranche d'âge. Elle représenterait ainsi 3,7 millions de consultations annuelles aux urgences aux Etats Unis.

La très grande variété des causes de dyspnée peut parfois rendre le diagnostic difficile, néanmoins une étude récente a permis de montrer que 4 étiologies dominent (2): les pneumopathies infectieuses, l'insuffisance cardiaque aiguë (ICA), l'exacerbation de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) et la crise d'asthme aiguë. Ces différentes pathologies peuvent évoluer rapidement de manière défavorable et nécessitent par conséquent un diagnostic précis et rapide.

La prise en charge diagnostique des dyspnées repose sur l'examen clinique et l'utilisation d'examens paracliniques. En matière d'imagerie, la radiographie thoracique a longtemps été considérée comme le « standard ». Néanmoins ses sensibilités et spécificités pour les diagnostics de décompensation cardiaque aiguë, d'exacerbation de BPCO, de pneumothorax et d'épanchement pleural sont de plus en plus remis en cause (4). Le scanner thoracique est moins utilisé et limité par son accessibilité, son irradiation et la difficulté d'y gérer des patients instables. La biologie fait également partie de l'arsenal diagnostic utilisé quotidiennement dans les services d'urgence. Les gaz du sang artériels ne permettent généralement pas de différencier une étiologie cardiaque d'une étiologie pulmonaire (5). Les biomarqueurs, très utilisés pour l'orientation diagnostique sont souvent aspécifiques (6-13)

Devant ces difficultés diagnostiques, des techniques échographiques se sont développées au cours des quinze dernières années. Ainsi l'échographie pleuropulmonaire associée à la procédure du « BLUE-Protocole » (14) a montré un intérêt dans le diagnostic précoce et la mise en place rapide des traitements adaptés dans l'insuffisance cardiaque aiguë (15), la pneumonie (16), le pneumothorax (17), l'embolie pulmonaire (18) et l'épanchement pleural (19) avec une précision de 90%. Cette technique décrite par Lichtenstein et al. est basée sur le screening échographique des régions thoraciques antérieures, latérales et postérieures bilatérales à la recherche de signes évocateurs d'œdème interstitiel, de pneumothorax, de pneumonie, d'exacerbation de BPCO, de crise d'asthme, d'embolie pulmonaire ou d'épanchement pleural. Elle semble unanimement admise. La méthode de Volpicelli (20) quant à elle approfondi la recherche d'œdème interstitiel.

Les techniques échographiques pleuropulmonaires réalisées le plus souvent au lit du malade font désormais partie intégrante de la formation des nouvelles générations d'urgentistes, DESC MU et DES MU, grâce aux deux niveaux de compétence clinique en échographie exigés par la Société Française de Médecine d'Urgence (21,22). Cet enseignement repose sur des e-learnings, des cours présentiels et 16 heures de formation pratique avec instructeur sur poumons sains.

Un enseignement de l'échographie pleuropulmonaire théorique, suivie d'une pratique courte sur 5 à 10 patients permet à des cliniciens urgentistes novices d'atteindre une technique satisfaisante pour faire le diagnostic d'une dyspnée (23). Une méta-analyse récente (24) suggère que le meilleur moyen d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire est une technique en trois temps : une première phase de théorie basée sur des cours présentiels et « online », une deuxième phase de séances pratiques sur sujets sains puis une dernière phase

avec mise en application sur des patients avec poumons pathologiques supervisée par des instructeurs. Elle suggère également que cet apprentissage pathologique puisse être réalisé sur simulateur échographique pulmonaire, néanmoins aucune étude n'a été réalisée à ce sujet.

Le but de notre étude intitulée « COMPUS » (Comparison Methods Pleuropulmonary UltraSound) est de déterminer quelle est la meilleure stratégie pédagogique pour l'apprentissage des images échographiques pleuropulmonaire pathologiques dans la dyspnée aiguë. Pour y répondre nous allons comparer deux modes d'apprentissage : un apprentissage standard associant à la méthode habituelle une formation pratique sur patient dyspnétique versus un apprentissage associant le simulateur électronique à la méthode usuelle. Le résultat de notre étude permettra de déterminer s'il existe une différence entre les deux modes d'apprentissage afin de former au mieux les futurs urgentistes d'Angers.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

1. Considérations éthiques et réglementaires

Pour réaliser cette étude portant sur les méthodes d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire, le comité d'éthique du CHU a été sollicité et a donné son accord le 15 avril 2019 (cf Annexe 1). Cette étude ne recueillant pas de données sur les patients, elle ne relève pas par conséquent des réglementations de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

De plus, conformément au règlement interne au Département de Médecine Générale (DMG), la fiche de thèse de ce travail a été soumise et acceptée le 29 avril 2019 par les Dr.Ramond-Roquin Aline et le Dr.Cavelan Claire puis validée par le Pr.Connan, coordinateur local du DES de Médecine Générale.

Enfin, conformément au règlement interne au Département de Médecine d'Urgence (DMU), mon projet de thèse a été accepté le 25 mars 2019 par le Comité Scientifique du DMU en présence des Pr.ROY et Dr.Douillet (CCU-AH)

2. Étude COMPUS

Il s'agit d'une étude quantitative, comparant une méthode pédagogique innovante reposant sur un simulateur échographique à une méthode pédagogique validée. Elle est monocentrique et est réalisée au sein du CHU d'Angers. La population étudiée est constituée de vingt internes urgentistes.

L'objectif principal de ce travail de thèse est de comparer les deux stratégies d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire dans la prise en charge diagnostique de la dyspnée aiguë : un apprentissage sur simulateur électronique versus un apprentissage sur patient.

Une échographie clinique en médecine d'urgence (ECMU) doit répondre à certaines conditions (20), notamment celles de visualiser des images diagnostiques cibles dans un contexte clinique, d'être réalisée dans un temps court et enfin d'être un élément décisionnel avec un certain degré de certitude. Nous avons donc choisi un critère de jugement composite, constitué de trois paramètres :

- 1 - La progression « $\Delta 1$ » des notes de compétence entre les évaluations 1 et 2
- 2 - Le temps de réalisation de l'échographie pleuropulmonaire
- 3 - Le pourcentage de confiance diagnostique post-échographie pleuropulmonaire

Les objectifs secondaires sont au nombre de **sept** :

- 1 - Evaluation de la progression « $\Delta 2$ » de notes de compétence entre les évaluations 1 et 3 et « $\Delta 3$ » entre les évaluations 2 et 3 (Phase d'ancrage).
- 2 - Evaluation du temps de réalisation de l'échographie et du pourcentage de confiance diagnostique post-échographie lors de l'évaluation 3 (Phase d'ancrage).
- 3 - La courbe d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire basée sur l'évolution des notes de compétence pour chaque stratégie pédagogique.
- 4 - La courbe d'apprentissage des pourcentages de confiance pour chacune des stratégies pédagogiques.
- 5 - la courbe d'apprentissage des temps de réalisation de l'échographie pleuropulmonaire pour chacune des stratégies pédagogiques.
- 6 - le délai de réalisation du cycle de formation par seniorisation en box.
- 7 - la pertinence diagnostique.

3. Critères de jugement

Le critère de jugement principal est l'évaluation composite de 3 paramètres à 2 mois de la formation initiale (seconde évaluation).

Les trois éléments analysés sont :

- La progression « $\Delta 1$ » de notes de compétence entre les évaluations 1 et 2
- Le temps de réalisation de l'échographie
- Le pourcentage de confiance diagnostique post-échographie

Les critères de jugement secondaires sont au nombre de sept :

- Evaluation de la progression « $\Delta 2$ » de notes de compétence entre les évaluations 1 et 3 et « $\Delta 3$ » entre les évaluations 2 et 3.
- Evaluation du temps de réalisation de l'échographie et du pourcentage de confiance diagnostique post-échographie lors de l'évaluation 3.
- La courbe d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire basée sur l'évolution des notes de compétence pour chaque stratégie pédagogique.
- La courbe d'apprentissage des pourcentages de confiance pour chacune des stratégies pédagogiques.
- la courbe d'apprentissage des temps de réalisation de l'échographie pleuropulmonaire pour chacune des stratégies pédagogiques.
- le délai de réalisation du cycle de formation par seniorisation en box.
- la pertinence diagnostique.

4. Population étudiée

Les critères d'inclusion sont ici les internes volontaires et consentants parmi vingt-cinq internes en première année de Diplôme d'Etudes Complémentaires Spécialisées en Médecine d'Urgence (DESC MU 1) ou en première ou deuxième année de Diplôme d'Etudes Spécialisées en Médecine d'Urgence (DES MU 1 ou 2). Chacun de ces internes est libre de participer sans aucun préjudice sur sa formation future. Ils auront bénéficié de la même formation théorico-

pratique initiale en échographie pleuropulmonaire. Les internes inclus seront au moment de leur inclusion en stages aux urgences adultes, au SAMU, en médecine adulte post-urgence ou en réanimation adultes. Ces terrains de stage leur permettront de réaliser un auto-entraînement quotidien.

Les critères d'exclusion sont les autres internes de niveau d'ancienneté équivalent exerçant dans des stages de pédiatrie de mai à novembre 2019, car ceux-ci ne bénéficient pas d'un appareil d'échographie dans leur pratique courante et ne peuvent par conséquent pas réaliser d'ECMU.

5. Nombre de sujets nécessaires

Les internes participant à cette étude sont au nombre de vingt : dix internes dans chacun des deux bras. En se basant sur les travaux de Balen (23), nous avons décidé de fixer à cinq le nombre d'échographies pleuropulmonaires à réaliser sur patient avec instructeur par l'interne urgentiste. Le module échographique pulmonaire étant composé de neuf cas originaux et trois cas servant pour l'évaluation, nous utiliserons six cas cliniques dans le bras deux, en complément des trois cas d'évaluation.

6. Hypothèses diagnostiques

L'hypothèse principale sera celle d'une différence significative d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire dans la dyspnée aiguë entre ces deux méthodes avec supposition « *a priori* » que le bras « *simulation* » permette un meilleur apprentissage.

H_0 = pas de différence significative entre les deux méthodes d'apprentissage échographique

H_1 = différence significative entre les deux méthodes d'apprentissage échographique

7. Matériel technique

7.1. Simulateur MENTOR U/S ® Simbionix

Le simulateur utilisé est le simulateur MENTOR U/S produit par la société SIMBIONIX. Il s'agit d'un simulateur en santé proposant des cas virtuels 3D, des interfaces pédagogiques et des scénarios cliniques avec reconstruction échographique. Il se compose d'un mannequin réaliste et palpable, d'un écran tactile, d'une unité centrale et de transducteurs moyenne et basse fréquence.

Pour ce travail, un module échographique pulmonaire a été installé sur ce simulateur. (cf Annexe 2).

L'apprentissage et les évaluations sur simulateur ont été réalisés dans le centre de simulation en santé angevin All Sims (Angers Loire Learning Simulation Santé).

Il est composé de deux cas pédagogiques permettant une prise en main de la machine. Le premier est le « step-by-step BLUE Protocol » (Cf Annexe 2) pendant lequel l'interne recherche et enregistre les différentes coupes échographiques de référence du BLUE Protocol tel qu'il est décrit par Daniel A.Lichtenstein (14). L'interne visualise en temps réel où positionner sa sonde pour obtenir la meilleure coupe possible et doit se rapprocher de cette localisation parfaite pour valider l'étape et passer à la suivante. Le second est le « step-by-step F-LUS Protocol », application du FALLS Protocol décrit par Daniel A.Lichtenstein (25)(Cf Annexe 2) qui utilise l'échographie pleuropulmonaire dans l'évaluation hémodynamique du choc. Nous n'avons pas utilisé ce protocole qui sort du cadre de cette thèse.

Il est également composé de 9 cas cliniques originaux correspondant aux diagnostics ci-dessous :

- **Cas 3** : crise d'asthme aiguë
- **Cas 4** : Insuffisance ventriculaire gauche
- **Cas 5** : Pneumothorax

- **Cas 6** : Pneumopathie infectieuse
- **Cas 7** : Masse pulmonaire suspecte avec œdème péri-lésionnel
- **Cas 8** : Exacerbation aiguë de BPCO
- **Cas 9** : Atélectasie d'origine infectieuse
- **Cas 10** : Embolie pulmonaire
- **Cas 11** : Empyème infectieux

Nous avons utilisé les cas 3, 4 et 5 pour les évaluations communes à tous les internes de l'étude. Les cas 6, 7, 8, 9, 10 et 11 ont quant à eux été utilisés pour l'apprentissage seniorisé sur simulateur pour les dix internes inclus dans le bras « apprentissage sur simulateur ».

7.2. Echographies

7.2.1. Service d'accueil des urgences adultes du CHU d'Angers

L'échographe utilisé dans ce service est l'échographe portatif SONOSITE EDGE I. Le transducteur associé pour les échographies pleuropulmonaires est le transducteur abdominal convexe de 5-2 MHz.

7.2.2. Service d'accueil des urgences adultes du CH du Mans

L'échographe utilisé dans ce service est l'échographe portatif MINDRAY TE7. Le transducteur associé pour les échographies pleuropulmonaires est le transducteur abdominal convexe C5-2s.

7.2.3. Service d'Aide Médicale Urgente (SMUR) du CHU d'Angers

L'échographe utilisé dans ce service est l'échographe portatif SONOSITE EDGE II. Le transducteur associé pour les échographies pleuropulmonaires est le transducteur abdominal convexe de 5-2 MHz.

7.2.4. Service de médecine intensive et réanimation, médecine hyperbare du CHU d'Angers

L'échographe utilisé dans ce service est l'échographe portatif Philips CX50. Le transducteur associé pour les échographies pleuropulmonaires est le transducteur abdominal Philips C6-2 convexe de 2-6 MHz.

8. Déroulé de l'étude

8.1. Résumé de l'étude

Notre étude s'intitule "COMPUS" pour : **C**omparison **M**ethods **P**leuropulmonary **U**ltra**S**ound (Cf figure 1, page 11). Cette étude tente déterminer quelle est la meilleure des stratégies d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire dans la prise en charge diagnostique de la dyspnée aiguë parmi 2 stratégies distinctes.

Pour répondre à cette question, l'étude se déroule en plusieurs temps distincts :

- une phase de formation initiale
- une attribution des bras d'apprentissage
- une première évaluation des internes
- une phase d'apprentissage
- une seconde évaluation des internes
- une troisième évaluation des internes

8.2. Phase de formation initiale

La phase de formation initiale des internes de médecine d'urgence de cette étude repose sur plusieurs trépieds. Une première formation commune à tous les internes de DES et de DESC de Médecine d'Urgence. Cette formation s'inscrit dans la formation obligatoire des internes, définie par les premiers et deuxièmes niveaux de compétence échographique clinique en médecine d'urgence (21,22). Cette formation est dispensée localement à Angers sous la forme d'un séminaire échographique de 16 heures avec apprentissage sur modèle vivant sain.

Cette formation s'est déroulée au cours de la dernière semaine de février et de la première semaine de mars 2019 pour les internes participant à cette étude.

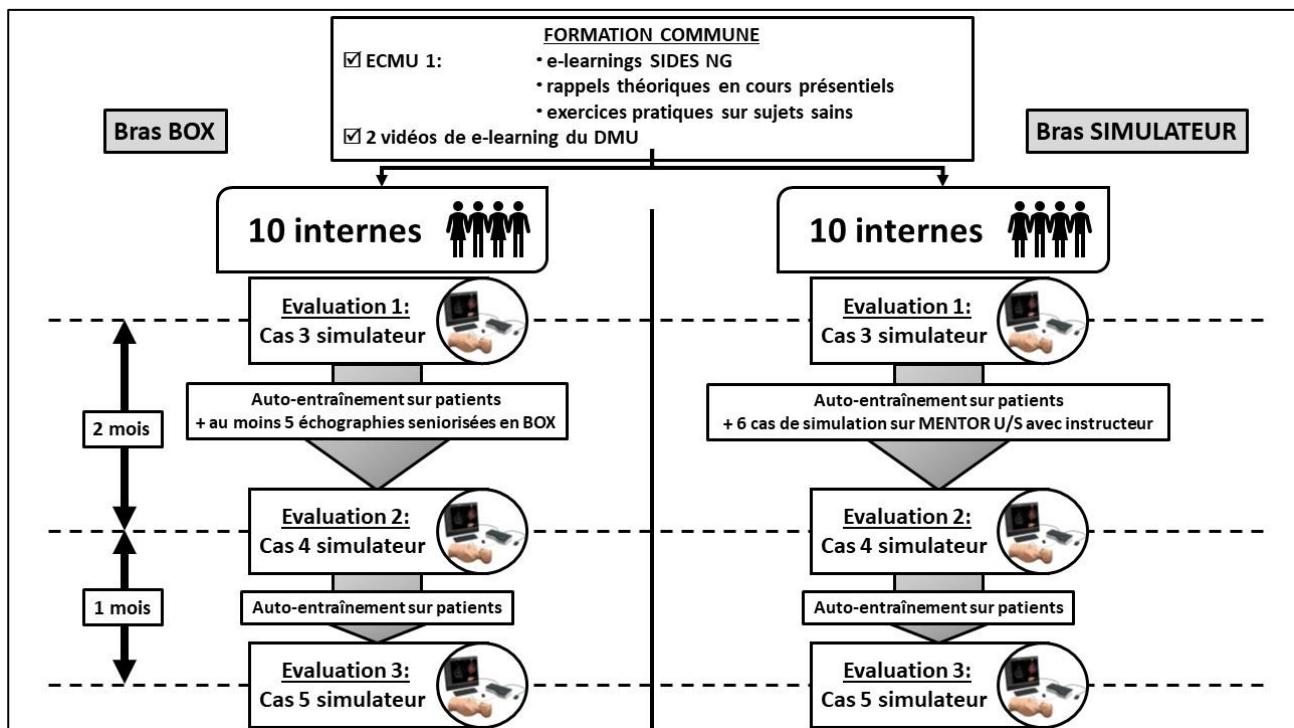


Figure 1 : Déroulement de l'étude COMPUS

Le second trépied de la formation des internes de cette étude est la formation théorique numérique sous la forme de e-learning. Une partie de ces e-learning sont mis en ligne sur la plateforme SIDES NG par le Collège National des Universitaires en Médecine d'Urgence (CNUMU). La base théorique est également complétée par la diffusion à ces urgentistes de deux vidéos pédagogiques réalisées par le Département de Médecine d'Urgence (DMU). La première traite des principes généraux et des images échographiques normales et pathologiques de base à savoir identifier. (<https://www.youtube.com/watch?v=MWAJQ-NOPZ0>). Une seconde vidéo traite quant à elle de l'application clinique de ces principes et de leur intégration dans les protocoles diagnostics du BLUE-Protocole(14) en matière de dyspnée aiguë ainsi que de la Méthode de Volpicelli (20) (Cf Annexe 5) propre à la démarche diagnostique de l'IVG. (<https://www.youtube.com/watch?v=i50g2rKthdY>).

8.3. Attribution des bras

Les internes ont été répartis dans les deux bras d'apprentissage afin de respecter au maximum une parité de leurs caractéristiques, notamment en matière d'ancienneté d'apprentissage (année d'étude spécialisée en Médecine d'Urgence) et de terrain de stage.

8.4. Première évaluation des internes

L'évaluation des 20 internes a été réalisée pendant 1 mois, du 14/05/2019 au 03/06/2019. Afin d'évaluer tous les internes de façon homogène et comparable, ceux-ci ont tous été évalués sur un cas identique sur simulateur. Le cas choisi pour cette évaluation est le cas clinique 3. Pour s'abstenir du biais technique de maniement du Simulateur MENTOR U/S®, tous les internes ont été au préalable formé à la prise en main de l'appareil de simulation en réalisant le cas 1 « Step-by-Step BLUE-Protocole » (Cf Annexe 2)

Une fois cette formation technique réalisée, chaque interne a bénéficié d'une première évaluation. Le cas clinique 3 était celui d'un sujet sain. Après un court briefing des paramètres anamnestiques, cliniques et hémodynamiques, l'interne devait mettre en pratique ses acquis et appliquer le BLUE-Protocole dans ce cas précis. Cette échographie était chronométrée. Un évaluateur remplissait en temps réel une fiche d'évaluation comme présenté en annexe 3 (cf Annexe 3).

Cette fiche s'inspire de la fiche d'évaluation réalisée dans le travail de Balen sur la formation des médecins urgentistes à l'échographie pleuropulmonaire (23). Elle a été nettement revisitée car s'appliquait à l'échographie sur patient sain et manquait de précisions. La validité interne de cette grille d'évaluation que nous avons utilisé dans ce travail repose sur la validation par les deux praticiens référents pédagogiques ECMU du CHU d'Angers (Emergency Medical Clinical Ultrasound Director)(26).

Au cours de son évaluation, l'interne pouvait utiliser tous les paramètres d'ajustement de l'image mis à sa disposition : mode 2D, mode TM, profondeur, gain automatique ou manuel,

focale et la largeur de section. Les coupes de référence acquises par l'interne étaient archivées à l'aide d'une pédale afin que l'examinateur puisse réévaluer les coupes « *a posteriori* » si nécessaire.



Figure 2: exemple d'une interne réalisant une évaluation échographique sur simulateur

Lorsque l'interne jugeait que son examen était entièrement terminé, il le signalait à son examinateur et le chronomètre était figé.

Il était ensuite demandé à l'interne de formuler une ou des hypothèse(s) diagnostique(s) principale(s) et d'y attribuer un pourcentage de certitude diagnostic, par tranche de 10%, allant de 0 à 100%.

Au terme de chaque examen, quatre données sont extraites :

- une note sur 20 des compétences échographiques
- un pourcentage de certitude diagnostique (%)
- une hypothèse diagnostique (parmi 8 hypothèses proposées)
- un temps de réalisation (en minutes)

8.5. Phase d'apprentissage

8.5.1. Bras d'apprentissage en « box »

Les internes inclus dans le bras d'apprentissage en box ont réalisé leur apprentissage en box de médecine d'urgence, sur le plateau technique de leurs réanimations d'exercice ou en médecine pré-hospitalière (SMUR) selon leurs terrains de stage.

Selon la littérature sur le sujet, un nombre minimum de 5 échographies séniorisées d'apprentissage est nécessaire pour en maîtriser les fondements (23). Nous avons donc demandé à ces internes de réaliser au moins 5 échographies en présence d'un médecin senior ayant une expérience importante en échographie pleuropulmonaire. Afin de s'assurer de leurs réalisations, les internes devaient colliger ces examens dans un questionnaire dématérialisé en ligne (Cf annexe 4)

Ces examens devaient être réalisés sur des patients consultant pour le motif « dyspnée aiguë »

8.5.2. Bras d'apprentissage sur simulateur

Les internes inclus dans le bras d'apprentissage sur simulateur ont réalisé leur apprentissage au centre de simulation All Sims sur le simulateur MENTOR U/S Lung Module.

Cette formation était dispensée à la fin de la première évaluation. Elle est composée de 6 cas cliniques d'apprentissage : les cas 6, cas 7, cas 8, cas 9, cas 10 et cas 11. Les internes de ce bras ont bénéficié d'une formation spécialisée seniorisée lors de la réalisation de tous ces cas, avec des conseils techniques, des rappels théoriques et pratiques pour chacun de ces examens. Cette formation était réalisée sans limite de temps et l'utilisation des assistants de localisation 3D et de mapping des coupes sur modèle anatomique était possible.

Après cette formation des 6 cas cliniques, l'interne bénéficiait d'un accès libre au simulateur au cours des 2 semaines suivantes pour recommencer ces cas cliniques. Afin que cette utilisation ne soit pas excessive et inéquitable par rapport au bras « box », les internes devaient réaliser ces échographies supplémentaires facultatives en présence d'un médecin senior.

8.6. Deuxième évaluation

La seconde évaluation des internes est réalisée à 2 mois de la précédente, du 05/07 au 27/07/2019. Elle repose sur la réalisation d'un second cas clinique inconnu de tous les internes. Le cas clinique utilisé était le cas clinique 4, représentant une anamnèse, une clinique et les images échographiques d'un patient en insuffisance ventriculaire gauche. Comme pour la première évaluation, cette échographie était chronométrée. Un évaluateur remplissait en temps réel la fiche d'évaluation identique à la première évaluation, comme présenté en annexe 3 (cf Annexe 3). Au cours de son évaluation, l'interne pouvait utiliser tous les paramètres d'ajustement de l'image mis à sa disposition : mode 2D, mode TM, profondeur, gain automatique ou manuel, focale et la largeur de section. Les coupes de référence acquises par l'interne étaient archivées à l'aide d'une pédale, afin que l'examineur puisse réévaluer les coupes « *a posteriori* » si nécessaire.

Lorsque l'interne jugeait que son examen était entièrement terminé, il le signalait à son examinateur et le chronomètre était figé. Il était ensuite demandé à l'interne de formuler une ou des hypothèse(s) diagnostique(s) principale(s) et d'y attribuer un pourcentage de certitude diagnostic, par tranche de 10%, allant de 0 à 100%.

Au terme de chaque examen, les mêmes quatre données sont extraites (cf chapitre 7.4).

8.7. Troisième évaluation

Pour terminer, la troisième évaluation des internes est réalisée à 3 mois de la première évaluation et à 1 mois de la seconde, du 09/08/2019 au 26/08/2019. Elle repose sur la réalisation d'un troisième cas clinique inconnu de tous les internes. Le cas clinique utilisé était le cas clinique 5, représentant une anamnèse, une clinique et les images échographiques d'un patient souffrant d'un pneumothorax droit. Comme pour les précédentes évaluations, cette échographie était chronométrée. Un évaluateur remplissait en temps réel la fiche d'évaluation

identique aux précédentes, comme présenté en annexe 3 (cf Annexe 3). Au cours de son évaluation, l'interne pouvait utiliser tous les paramètres d'ajustement de l'image mis à sa disposition : mode 2D, mode TM, profondeur, gain automatique ou manuel, focale et la largeur de section. Les coupes de référence acquises par l'interne étaient archivées à l'aide d'une pédale, afin que l'examinateur puisse réévaluer les coupes « *a posteriori* » si nécessaire.

Lorsque l'interne jugeait que son examen était entièrement terminé, il le signalait à son examinateur et le chronomètre était figé. Il était ensuite demandé à l'interne de formuler une ou des hypothèse(s) diagnostique(s) principale(s) et d'y attribuer un pourcentage de certitude diagnostic, par tranche de 10%, allant de 0 à 100%.

Au terme de chaque examen, les mêmes quatre données sont extraites (cf chapitre 7.4).

9. Analyse statistique

La base des données recueillies a été élaborée sur un fichier Excel (Microsoft Excel. Digital File. François, Morin, Thèse, 17 mai 2019). Les analyses statistiques utilisant les tests « *T de Student pour données appariées* » et « *Mann & Whitney* » ont été réalisées par l'outil de biostatistiques en ligne BiostaTGV, interface graphique de « *R* » (<https://biostatgv.sentiweb.fr/>). Les analyses statistiques utilisant les tests « *Kruskall Wallis* » et de « *Dunn (Bonferroni) test* » ont été réalisés grâce au logiciel *R* (R Development Core Team (2005). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0). Les différents tests utilisés vous sont présentés en annexe 6 (Cf Annexe 6)

RÉSULTATS

1. Description de la population étudiée

Parmi les promotions d'internes en Médecine d'Urgence, 25 internes étaient amenés à prendre en charge quotidiennement des patients admis dans le système de soin pour dyspnée aiguë dans les services d'urgence adulte (7 internes), de médecine adulte avec temps de garde (7 internes) de réanimation (4 internes) et de SAMU/SMUR (7 internes). Cinq internes n'ont pas pu participer à cette étude du fait d'une absence de réponse de leur part, d'un refus ou d'une impossibilité technique.

Vingt internes ont été inclus dans l'étude, 10 dans le bras box et 10 dans le bras simulateur.

L'ensemble de ces données est résumé dans le Flow Chart présenté en figure 2 (Cf tableau 2, page 17)

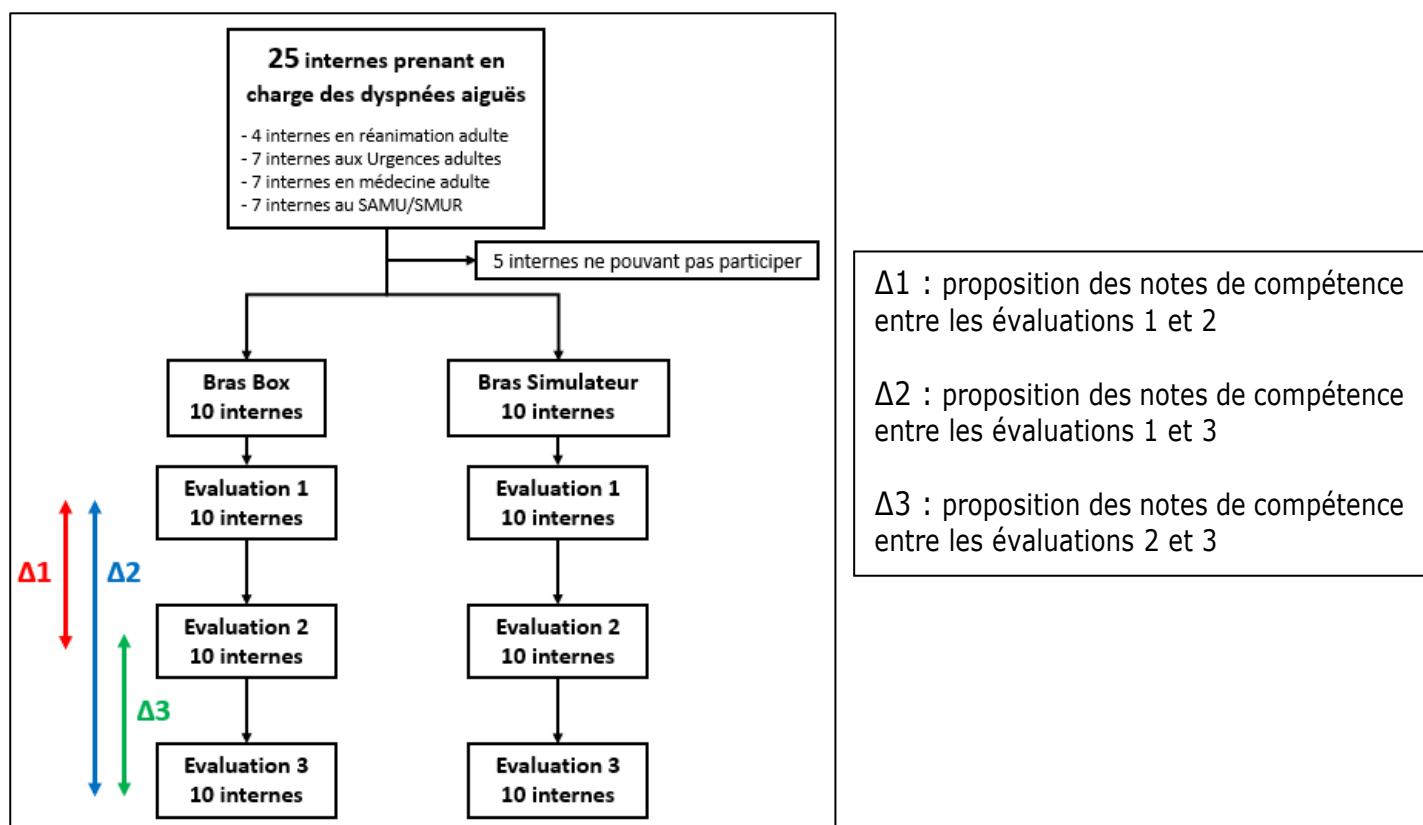


Figure 3: flowchart de l'étude COMPUS

Les deux bras de notre étude étaient composés pour 30% d'internes actuellement en stage aux urgences adultes et pour 30% au SAMU/SMUR. Une disparité est observée sur les stages de médecine adulte post-urgence entre les bras box et simulateur, avec respectivement 30% et 10% des internes. Il en est de même pour les internes dans des services de réanimation adulte, avec respectivement 10% des internes du bras box et 30% du bras simulateur (Cf tableau 1, page 18)

Les internes du bras box sont principalement de jeunes internes en 1^{ère} année de DESMU (40%) ou des internes en fin de cursus (1^{ère} année de DESCMU, 6^{ème} semestre d'internat) (40%). Les internes d'ancienneté intermédiaire (2^{ème} année de DESMU) sont moins représentés (10%). Les internes dans le bras simulateur sont quant à eux des internes de faible ancienneté, avec 50% de ceux-ci en 1^{ère} année de DESMU et 30% en 2^{ème} année de DESMU. Les internes de 6^{ème} semestre (1^{ère} année de DESCMU) sont peu représentés (10%)

Caractéristiques	Bras Box (n =10) (%bras)	Bras Simulateur (n =10) (%bras)
Terrains de stage		
Stages de Médecine Adulte	3 (30%)	1 (10%)
Stages d'Urgences adultes	3 (30%)	3 (30%)
Stages de Réanimation Adulte	1 (10%)	3 (30%)
SAMU/SMUR	3 (30%)	3 (30%)
Années d'étude		
1 ^{ère} année de DES MU	4 (40%)	5 (50%)
2 ^{ème} année de DES MU	1 (10%)	3 (30%)
1 ^{ère} année de DESC MU	4 (40%)	1 (10%)

Tableau 1: caractéristiques des internes inclus dans l'étude

2. Evaluation des notes de compétences, des pourcentages de certitude et des temps de réalisation à 2 mois

2.1. Evaluation de la progression « Δ1 » de notes de compétence entre les évaluations 1 et 2

Les vingt internes ont été noté par un évaluateur en fonction de la grille présentée en annexe 3 (cf annexe 3), qu'ils soient inclus dans le bras box ou simulateur.

Afin de différencier deux méthodes d'apprentissage différentes, il est nécessaire de caractériser les gains pédagogiques qu'elles apportent. L'analyse du critère de jugement principal « comparaison des delta $\Delta 1$ de progression des notes entre les évaluations 1 et 2 » entre les deux bras a donc été réalisée. La progression médiane dans le bras box est de (+3,5 points) tandis que la progression médiane dans le bras simulateur est de (+6) entre les deux premières évaluations. L'analyse univariée par le test de Mann & Whitney montre que ces « $\Delta 1$ » sont significativement différentes (p value 0,0480) au risque α de 5% (Cf tableau 2, page 19). L'apprentissage par simulateur permet donc de réaliser des échographies de meilleure qualité que par compagnonnage au contact de médecins séniors dans les box des urgences, et donc un respect des objectifs fixés « a priori ».

	BRAS BOX			BRAS SIMULATEUR			
	Evaluation 1	Evaluation 2	Delta box	Evaluation 1	Evaluation 2	Delta simu	p-value
Etudiant 1	15	17	2	8	15	7	
Etudiant 2	12	17	5	14	20	6	
Etudiant 3	14	14	0	15	20	5	
Etudiant 4	14	12	-2	12	15	3	
Etudiant 5	9	13	4	13	19	6	
Etudiant 6	10	17	7	12	17	5	
Etudiant 7	11	14	3	17	20	3	
Etudiant 8	10	14	4	6	19	13	
Etudiant 9	9	11	2	11	19	8	
Etudiant 10	10	18	8	9	16	7	
Moyennes	11,4	14,7	3,3	11,7	18	6,3	
Médianes	10,5	14	3,5	12	19	6	0,0480

Tableau 2 : évaluation de la différence des notes entre les deux premières évaluations

Concernant l'évaluation 1 du bras « box », la note moyenne est de 11,4/20, avec une répartition resserrée des notes, la meilleure étant de 14/20 et la plus basse étant de 9/20. La note la plus représentée est le 10/20 avec 3 internes l'ayant obtenu. Ces notes se sont nettement améliorées lors de l'évaluation 2 avec une note moyenne du bras « box » de 14,7/20, une répartition plus large et des notes extrêmes à 11/20 et 18/20. La note la plus représentée est ici 14/20. Concernant le bras « simulateur », la note moyenne est de 11,7/20 dans l'évaluation 1. Les notes sont dispersées et étendues. Le minimum est de 6/20 et le maximum de 17/20. En ce qui concerne l'évaluation 2, la note moyenne du bras « simulateur »

est élevée à 18/20. La répartition des notes est resserrée et haute, la plus faible étant de 15/20 et la plus haute de 20/20. Les deux notes les plus obtenues sont les 19 et 20/20, avec respectivement 3 internes pour chacune d'elles.

La comparaison des médianes des bras box et simulateurs met en évidence une comparabilité statistique significative des deux distributions (p-value 0,789) (test Mann & Whitney) avant les apprentissages pratiques (évaluation 1) mais la survenue lors de l'évaluation 2 d'une différence significative entre les deux bras (Mann & Whitney, p-value 0,0076) avec une moyenne plus élevée dans le bras simulateur (Cf tableau 3, page 20).

	Bras box (médianes)	Bras simulateur (médianes)	p-values
Notes de compétence (/20)			
Evaluation 1	10,5	12	0,7890
Evaluation 2	14	19	0,0076
Certitude diagnostique			
Evaluation 1	5,5	6,5	0,0559
Evaluation 2	8	7,5	0,8742
Temps de réalisation (sec)			
Evaluation 1	239,6	270,2	0,67
Evaluation 2	158,1	172,2	0,7048

Tableau 3 : évaluation des médianes des notes en fonction du bras

d'apprentissage et du temps d'évaluation

L'analyse détaillée des notes obtenues mets en évidence une comparabilité des niveaux de compétence échographique initiaux entre les deux groupes avant la phase d'apprentissage (évaluation 1), comme explicité ci-dessous (Tableau 4, pages 21-22). En effet, hormis pour la tâche 4 de « Repérage présence/absence du glissement pleural » où il existe une différence de notes spécifiques (p-value à 0,0109), l'ensemble des tâches sont comparables (p-value > 0,05). On remarque que cette comparabilité reste conservée à 2 mois lors de l'évaluation 2 (p-value > 0,05) pour les tâches « analyse de l'ensemble des trois zones d'intérêt », « Recherche présence/absence de lignes A », « Recherche présence/absence de lignes B », « Recherche présence/absence d'un épanchement pleural », « Recherche présence/absence

de point poumon », « Recherche présence/absence de pouls pulmonaire ». On observe au contraire une différence à 2 mois de la « Maîtrise du matériel (gain, clarté, profondeur) » (p-value 0,0358), « Maîtrise du mode 2D et TM (temps mouvement) » (p-value 0,0239) et « Recherche présence/absence d'un épanchement pleural » (p-value à 0,0001). Dans ces tâches, le nombre de notes élevées est supérieur, le simulateur permet donc d'améliorer principalement la maîtrise technique de l'appareil et la recherche des épanchements pleuraux.

	Evaluation 1		Evaluation 2	
	BRAS BOX (n = 10) (% du bras)	BRAS SIMULATEUR (n = 10) (% du bras)	BRAS BOX (n = 10) (% du bras)	BRAS SIMULATEUR (n = 10) (% du bras)
Maîtrise du matériel (gain, clarté, profondeur)				
<i>Médiocre</i> = 0	0 (0)	2 (0,20)	3 (0,30)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	10 (1)	8 (0,80)	5 (0,50)	4 (0,40)
<i>Parfaite</i> = 2	0 (0)	0 (0)	2 (0,20)	6 (0,60)
<i>P-value</i>	0,1675 (NS)		0,0358 (S)	
Maîtrise du mode 2D et TM (temps mouvement)				
<i>Médiocre</i> = 0	6 (0,60)	4 (0,40)	1 (0,10)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	3 (0,30)	5 (0,50)	5 (0,50)	1 (0,10)
<i>Parfaite</i> = 2	1 (0,10)	1 (0,10)	4 (0,40)	9 (0,90)
<i>P-value</i>	0,3480 (NS)		0,0239 (S)	
Analyse de l'ensemble des 3 zones d'intérêt par hémithorax				
<i>Médiocre</i> = 0	6 (0,60)	3 (0,30)	2 (0,20)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	3 (0,30)	7 (0,70)	5 (0,50)	4 (0,40)
<i>Parfaite</i> = 2	1 (0,10)	0 (0)	3 (0,30)	6 (0,60)
<i>P-value</i>	0,4758 (NS)		0,1222 (NS)	
Repérage présence/absence du glissement pleural				
<i>Médiocre</i> = 0	0 (0)	1 (0,10)	0 (0)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	6 (0,60)	4 (0,40)	1 (0)	1 (0,10)
<i>Parfaite</i> = 2	4 (0,40)	5 (0,50)	9 (0,90)	9 (0,90)
<i>P-value</i>	0,0109 (S)		1 (NS)	
Recherche présence/absence de lignes A				
<i>Médiocre</i> = 0	0 (0)	1 (0,10)	0 (0)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	7 (0,70)	5 (0,50)	1 (0,10)	2 (0,20)
<i>Parfaite</i> = 2	3 (0,30)	4 (0,40)	9 (0,90)	8 (0,80)
<i>P-value</i>	0,9301 (NS)		0,5828 (NS)	
Recherche présence/absence de lignes B				
<i>Médiocre</i> = 0	1 (0,10)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	7 (0,70)	6 (0,60)	1 (0,10)	2 (0,20)
<i>Parfaite</i> = 2	2 (0,20)	4 (0,40)	9 (0,90)	8 (0,80)
<i>P-value</i>	0,2587 (NS)		0,5828 (NS)	

Recherche présence/absence d'un épanchement pleural				
<i>Médiocre</i> = 0	3 (0,30)	3 (0,30)	3 (0,30)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	5 (0,50)	4 (0,40)	7 (0,70)	1 (0,10)
<i>Parfaite</i> = 2	2 (0,20)	3 (0,30)	0 (0)	9 (0,90)
<i>P</i> -value	0,8077 (NS)		0,0001 (S)	
Recherche présence/absence de condensation alvéolaire				
<i>Médiocre</i> = 0	4 (0,40)	4 (0,40)	2 (0,20)	1 (0,10)
<i>Moyenne</i> = 1	5 (0,50)	6 (0,60)	6 (0,60)	3 (0,30)
<i>Parfaite</i> = 2	1 (0,10)	0 (0)	2 (0,20)	6 (0,60)
<i>P</i> -value	0,8296 (NS)		0,1085 (NS)	
Recherche présence/absence de point poumon				
<i>Médiocre</i> = 0	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	1 (0,10)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Parfaite</i> = 2	9 (0,90)	10 (10)	10 (1)	10 (1)
<i>P</i> -value	0,3681 (NS)		1 (NS)	
Recherche présence/absence de pouls pulmonaire				
<i>Médiocre</i> = 0	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Moyenne</i> = 1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Parfaite</i> = 2	10 (10)	10 (10)	10 (1)	10 (1)
<i>P</i> -value	1 (NS)		1 (NS)	

Tableau 4 : analyse des notes par item lors des deux premières évaluations pour chaque bras

d'apprentissage (NS : non significatif ; S : significatif au risque $\alpha = 0,05$)

Nous nous sommes intéressés à la répartition des notes en fonction du niveau de cursus des internes et non plus en fonction de leurs bras d'apprentissage. Ainsi nous avons pu classer les internes en trois catégories : DESMU 1, DESMU 2 et DESCMU1. Lors de l'évaluation 1, il n'existe pas de différence significative entre les trois niveaux (Kruskall Wallis Test (KWT), *p*-value à 0,142). La note moyenne des DESMU 1 est de 10,3/20, la note moyenne des DESMU2 est de 12,2/20 et la note moyenne des DESCMU1 est de 12,7/20. Lors de l'évaluation 2, il n'existe pas non plus de différence significative entre les trois promotions d'internes (KWT, *p*-value à 0,671). La note moyenne des DESMU 1 est de 16,4/20, la note moyenne des DESMU2 est de 17,2/20 et la note moyenne des DESCMU1 est de 15,71/20.

Nous n'avons pas non plus montré d'association statistiquement significative entre le « $\Delta 1$ des notes » et le niveau de cursus (DES vs DESC) (MWT, *p*-value à 0,1108) ou en fonction des années spécifiques (DESMU 1 vs DESMU 2 vs DESMU 3) (ANOVA, *p*-value à 0,1661) en

analyse univariée. L'analyse pondérée sur la réalisation d'un stage d'urgence ou non chez ces apprenants de différents niveaux de cursus n'a pas montré que le stage d'urgence était significativement un facteur de confusion pour l'analyse DESMU vs DESC (p-value à 0,3211) ou l'analyse des trois années différentes (p-value à 0,43).

Nous avons également recherché une association entre le sexe de l'apprenant ou le lieu de stage avec le « $\Delta 1$ des notes ». Nous n'avons pas mis en évidence, dans les limites de notre étude, de relation significative entre le sexe et le « $\Delta 1$ des notes » (MWT, p-value à 0,9394). Elle n'a pas non plus montré, toujours en analyse univariée, de relation entre le fait de réaliser ou non son stage aux urgences adultes et le « $\Delta 1$ des notes » (MWT, p-value à 0,1149). Le fait d'être aux urgences n'influence donc pas l'évolution des notes entre les deux premières évaluations. Aucun de ces stages (SAMU/SMUR, Urgences, Médecine Adulte ou Réanimation) ne semble de plus associé au « $\Delta 1$ des notes » (ANOVA, p-value à 6106). En analyse multivariée, nous avons recherché à savoir si le niveau de cursus pouvait fausser ces résultats. Il semble exister une tendance à avoir une évolution « $\Delta 1$ des notes » plus importante chez les DES vs les DESC en stage aux urgences, ainsi que chez les DESMU 1 vs les DESC et chez les DESMU 2 vs les DESC, mais ces données ne sont pas statistiquement significatives (p-values respectivement de : 0,1224 ; 0,1674 et 0,2808).

2.2. **Evaluation des pourcentages de certitude à 2 mois**

La deuxième composante analysée du critère de jugement principal composite est l'évaluation du pourcentage de certitude diagnostique post-réalisation d'une échographie pleuropulmonaire. Après chacune des évaluations, il était demandé à l'apprenant d'évaluer son pourcentage de certitude diagnostique, donnée subjective. Cette donnée a peu de valeur extrinsèque car très subjective, mais possède une bonne valeur de reproductibilité intrinsèque, au même titre qu'une échelle numérique (EN) d'auto-évaluation de la douleur. L'interne se

prononçait sur une tranche de 10% de certitude ([0-10%[; [10-20%[; [20-30%[; ... ; [90-100%]). Ainsi, les pourcentages de certitude des deux premières évaluations ont été recueillis. Afin de favoriser l'analyse statistique, l'échelle [0-10%[; [10-20%[; [20-30%[; ... ; [90-100%] a été ramenée à une échelle 0 ; 1 ; 2 ; 3 ; ... ; 9.

L'analyse des médianes de pourcentage de certitude montre une absence de différence significative des médianes de pourcentage lors de l'évaluation 1 (Mann & Whitney test, p-value à 0,0559 au risque à 5%), avec pour moyennes respectives 5,5 (55%) dans le bras box et 6,5 (65%) dans le bras simulateur. (Cf tableau 3, page 20). Il existe également une absence de différence significative des médianes de l'évaluation 2 (MWT, p-value à 0,8742) avec des moyennes à 8 (80%) pour le bras box et 75 (75%) pour le bras simulateur. Nous n'avons donc pas pu montrer de différence significative de certitude diagnostique en fonction des méthodes d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire.

L'évaluation 2 sur le cas clinique d'un patient présentant une insuffisance ventriculaire gauche aiguë, montre une répartition haute des valeurs, avec quel que soit le bras une grande certitude diagnostique. Les internes du bras box sont en majorité confiants à 80-90% dans leurs diagnostics, tandis que les internes du bras simulateur ont moins d'assurance dans leur diagnostic. Evaluation des temps de réalisation à 2 mois

En analysant ces données indépendamment du bras d'apprentissage mais plus particulièrement en fonction de l'année d'ancienneté, cad DESMU 1, DESMU 2 et DESMU 1, on remarque des disparités. Concernant l'évaluation 1, une majorité de DESCMU 1 dans les intervalles hauts, avec un pourcentage moyen de certitude de 61,4%. Les DESMU 1 ont une répartition centrale et resserrée entre 40 et 80%, avec une note moyenne à 54,4%. Les DESMU 2 ont quant à eux des pourcentages élevés entre 60 et 90%, avec une moyenne à 67,5%. Il apparaît donc que la certitude est plus élevée chez les DESMU 2, suivent les DESCMU 1 et est inférieure chez les DESMU 1. Mais ces disparités sont non significatives (Kruskall Wallis Test,

p-value à 0,148). Au cours de l'évaluation 2, l'ensemble des promotions ont exprimés des pourcentages élevés de certitude, avec des distributions resserrées. Les DESMU 2 n'ont exprimé aucun pourcentage inférieur à 80%. Les moyennes étaient de 72,2% chez les DESMU 1, 82,5% chez les DESMU2 et 75,7% chez les DESC MU 1. On remarque un pourcentage supérieur chez les DESMU2, suivi par les internes de DESC MU et enfin les internes de DESMU1. Cependant ces disparités sont non significatives (Kruskall Wallis Test, p-value à 0,248).

Il n'a pas été montré en analyse univariée d'association significative entre le « $\Delta 1$ des notes » et le « $\Delta 1$ du pourcentage de certitude » (différence de pourcentage de certitude diagnostique entre les évaluations 1 et 2). La pente de la courbe de régression linéaire est de -0,02. Il existe une légère tendance à l'augmentation des notes quand la certitude diminue, sans que le coefficient de régression « R » ne soit pas significatif (p-value à 0,622).

2.3. Evaluation du temps de réalisation échographique à 2 mois

Le troisième et dernier élément de notre critère de jugement principal composite est le temps de réalisation échographique. Le temps moyen de réalisation lors de l'évaluation 1 est de 239,6 secondes (3min59s) dans le bras box et 270,2 secondes (4min30s) dans le bras simulateur. Ces données ne montrent pas de différence significative des médianes (Mann & Whitney, p-value = 0,67) (Cf tableau 3, page 20). Il n'existe pas non plus de différence significative à 2 mois (p-value = 0,70). Les moyennes respectives sont alors lors de cette seconde évaluation de 158,1 secondes (2min38s) pour le bras box et 172,2 (2min32s) pour le bras simulateur.

Les internes de DESC MU 1 mettent plus de temps à obtenir les images cibles dans les deux bras, avec en moyenne 274 secondes (évaluation 1) et 177 secondes (évaluation 2). Les DESMU 2 sont les plus rapides, avec un temps moyen de 200 secondes (évaluation 1) et de 134 secondes (évaluation 2). Les DESMU 1 mettent quant à eux des temps moyens

intermédiaires de 264 secondes (évaluation 1) et de 169 secondes (évaluation 2). Seulement ces disparités sont non significatives dans l'évaluation 1 (Kruskall Wallis Test, p-value à 0,293) tout comme dans l'évaluation 2 (KWT, p-value à 0,763).

Il n'a pas été montré en analyse univariée d'association significative entre le « $\Delta 1$ des notes » et le « $\Delta 1$ du temps » (différence de temps de réalisation entre les évaluations 1 et 2). La pente de la courbe de régression linéaire est de 0,06, le coefficient de régression « R » n'étant pas significatif (p-value à 0,916).

3. Evaluation de l'ancrage à 3 mois de la formation

L'évaluation de l'ancrage mémoriel et pratique des connaissances a été réalisée à 3 mois de la formation initiale grâce à une troisième évaluation sur un cas clinique original. Le cas clinique est celui d'un jeune patient de 25 ans dyspnéique en lien avec un pneumothorax gauche d'origine traumatique. Comme pour les deux premières évaluations, chaque interne a été évalué sur ce même cas clinique par un évaluateur grâce à la feuille d'évaluation présentée en annexe 3 (Cf annexe 3).

3.1. Evaluation de la progression « Δ » de notes de compétence entre les évaluations 1 et 3 et entre les évaluations 2 et 3.

L'analyse de la progression des notes de compétence a permis d'isoler un « $\Delta 2$ » (progression des notes entre les évaluations 1 et 3) et un « $\Delta 3$ » (progression des notes entre les évaluations 2 et 3). Le « $\Delta 2$ box » médian est de (+5) points tandis que le « $\Delta 2$ simulateur » (+6,5) points, sans différence significative (MWT, p-value 0,1104). Le « $\Delta 3$ box » (progression des notes entre les évaluations 2 et 3) médian est de (+1,5) points et significativement comparable au « $\Delta 3$ simulateur » de (+1 point) (MWT, p-value 0,616) (Cf tableau 5, page 27)

	BRAS BOX					BRAS SIMULATEUR					p-value
	Eval. N°1	Eval. N°2	Eval. N°3	Delta 2	Delta 3	Eval. N°1	Eval. N°2	Eval. N°3	Delta 2	Delta 3	
Etudiant 1	15	17	20	5	3	8	15	16	8	1	
Etudiant 2	12	17	17	5	0	14	20	20	6	0	
Etudiant 3	14	14	16	2	2	15	20	17	2	-3	
Etudiant 4	14	12	15	1	3	12	15	18	6	3	
Etudiant 5	9	13	12	3	-1	13	19	20	7	1	
Etudiant 6	10	17	19	9	2	12	17	18	6	1	
Etudiant 7	11	14	19	8	5	17	20	20	3	0	
Etudiant 8	10	14	15	5	1	6	19	19	13	0	
Etudiant 9	9	11	9	0	-2	11	19	20	9	1	
Etudiant 10	10	18	18	8	0	9	16	19	10	3	
Moyennes	11,4	14,7	16	4,6	1,3	11,7	18	18,7	7	0,7	
Médianes	11	14	16	5		12	19	19	6,5		0,1104
Médianes	11	14	16		1,5	12	19	19		1	0,6163

Tableau 5 : analyse des notes de compétence et des « Δ » d'évolution au cours des trois évaluations

pour chaque bras d'apprentissage ($\Delta 2$ = progression éval.1/ éval.2 ; $\Delta 3$ = progression éval.2/éval.3)

Les deux distributions de notes au temps 3 sont comme dans l'analyse principale au temps 2, significativement différentes (MWT, p-value à 0,0422). La note moyenne du bras simulateur est plus haute (18,7/20) que celle du bras box (16,1). Le bras simulateur permet donc un meilleur apprentissage technique de l'acquisition d'images de qualités, à deux mois puis à distance (3 mois) (Cf tableau 6, page 27). Les notes élevées obtenues dans les deux bras sont comparables, la différence étant principalement lié à la présence de plusieurs notes plus basses (9/20, 12/20) dans le bras box et le nombre plus élevé de notes maximales dans le bras simulateur (3 notes à 20).

	Bras box (médianes)	Bras simulateur (médianes)	p-values
Notes de compétence (/20)			
Evaluation 3	16,1	18,7	0,042
Pourcentage de certitude (%)			
Evaluation 3	80	85	0,242
Temps de réalisation (secondes)			
Evaluation 3	145,1	182,3	0,545

Tableau 6 : médianes des notes de compétences, de pourcentage de certitude et de temps de réalisation dans chacun des deux bras lors de la phase d'ancrage

3.2. **Evaluation du temps de réalisation de l'échographie et du pourcentage de confiance diagnostique post-échographie lors de l'évaluation 3**

Les pourcentages de certitude sont quant à eux très élevés dans les deux bras, avec une moyenne de 80% dans le bras box et 85% dans le bras simulateur. Il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les deux distributions de pourcentages (MWT, p-value 0,242). Les internes du bras simulateur sont néanmoins plus nombreux à affirmer le diagnostic avec une certitude de 90 à 100%. (7 internes versus 4 internes) (Cf tableau 6, page 27).

Pour finir, les temps moyens de réalisation sont de 145,1 secondes dans le bras box et de 182,3 secondes dans le bras simulateur, sans qu'aucune différence significative ne soit mise en évidence entre les distributions (MWT, p-value 0,544). On remarque que les temps de réalisation sont dans ce cas clinique bas pour chacun des deux bras, avec un temps de réalisation de moins de 4 min pour 90% des patients. Seul un interne du bras simulateur a réalisé une échographie de plus de 7 minutes (Cf tableau 6, page 27).

4. Courbes d'apprentissage

4.1. **Courbe d'apprentissage des notes de compétence**

La force d'une méthode d'apprentissage s'évalue également par les courbes d'apprentissage de ses apprenants. L'analyse de celles-ci montrent que la progression des moyennes de notes de compétences est similaire dans les deux bras, avec une progression importante entre les deux premières évaluations puis moindre entre les évaluations 2 et 3 (Cf figure 4, page 30) (Cf figure 5, page 34)

L'analyse individuelle des étudiants montre une tendance globale à l'augmentation des notes entre les deux premières évaluations. Néanmoins on remarque une tendance à l'augmentation à fort coefficient (pente moyenne de +6,3) pour tous les candidats du bras

simulateur et une évolution plus hétérogène dans le bras box, avec une décroissance initiale (-2 points) pour un étudiant, une stagnation pour un second étudiant et une croissance pour les huit autres internes avec des pentes de croissance inférieure (pente moyenne de +4,4) à celles du bras opposé. La période inter-évaluations 2 et 3 est plus hétérogène, avec dans le bras simulateur une tendance à la croissance plus modérée des notes (+0,7 points), en lien avec une croissance moyenne de (+1,6 points) chez 6 internes, une stabilité chez trois internes et une décroissance de (-3 points) chez un dernier étudiant. Le bras box enregistre une tendance évolutive de (+1 point) du fait d'une croissance moyenne de (+2,6 points) chez 6 internes, une stabilité des notes chez deux internes et une décroissance moyenne de (-1,5 points) chez deux internes.

Les distributions des notes de compétences des différents temps d'évaluation sont significativement différentes dans le bras box (Kruskall Wallis test (KWT), p-value à 0,0057) en lien avec une différence des distributions 1 et 3 (Dunn test avec approximation de Bonferroni (DTB); p-value à 0,005). Il existe également une différence de distributions dans le bras simulateur (KWT, p-value à 0,0001) du fait d'une différence significative entre les distributions 1 et 2 (DTB, p-value à 0,002) et entre les distributions 1 et 3 (DTB, p-value à 0,0003). La progression est donc significativement plus précoce dans le bras simulateur.

L'apprentissage du bras simulateur permet de diminuer l'étendue des notes et donc d'homogénéiser le niveau des internes (étendue 11 points → 5 → 4), tout en augmentant leur centrage (centrage croissant 12 points → 19 → 19). Au contraire, bien que le centrage progresse dans le bras box (10,5 points → 14 → 16,5), la dispersion augmente significativement au cours des évaluations (6 points → 7 → 11).

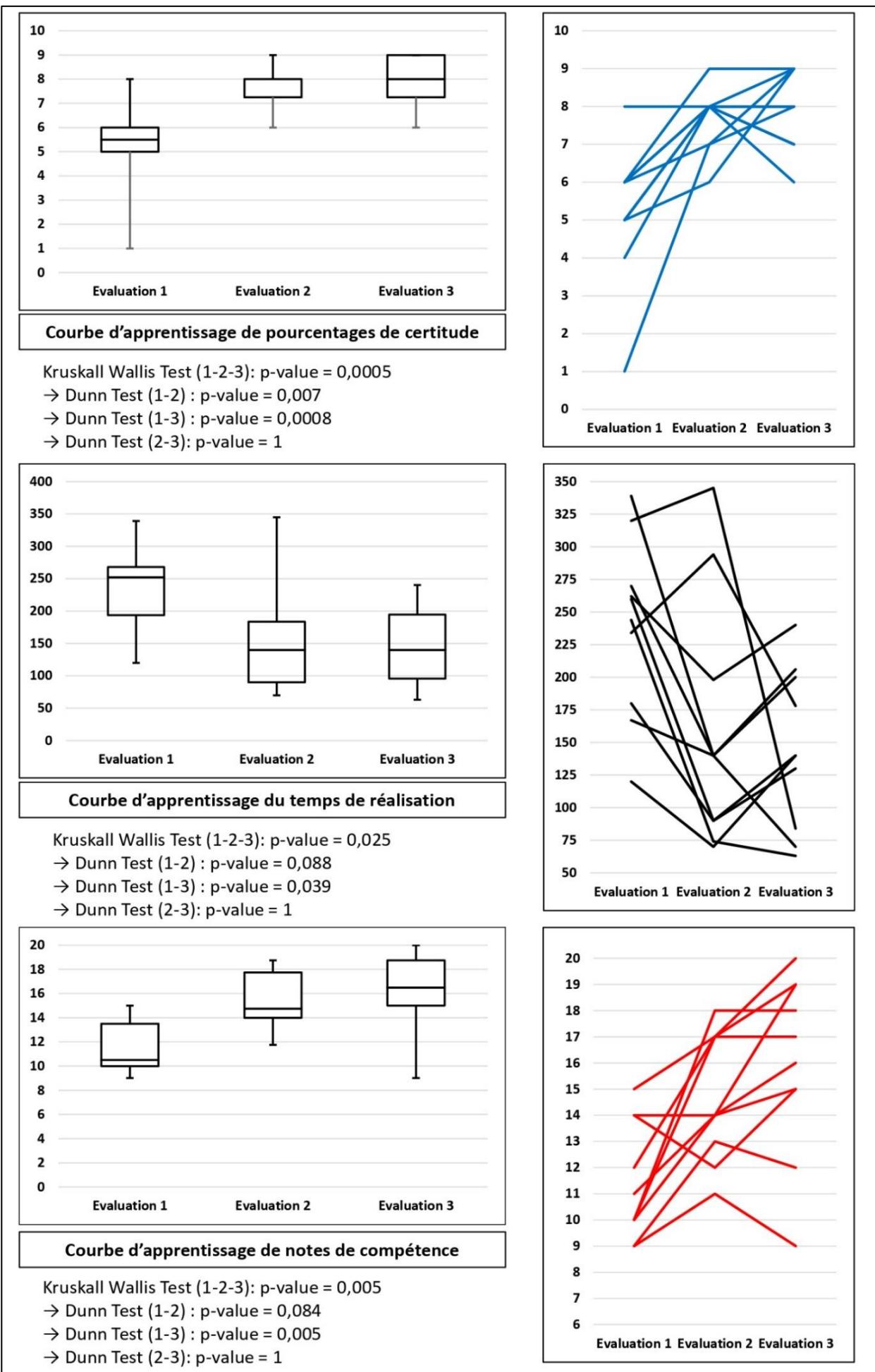


Figure 4 : courbes d'apprentissage du bras box

4.2. Courbe d'apprentissage des pourcentages de certitude diagnostique

Le pourcentage de certitude diagnostique est une donnée subjective dépendante de multiples paramètres mais avec une bonne reproductibilité intra-individuelle. Sa reproductibilité nous permet de l'évaluer dans le temps, et donc d'analyser ses courbes d'apprentissage. Tout comme les notes, on remarque une évolution positive des distributions des deux bras avec des centrages croissants. L'évolution la plus forte est constatée dans le bras box avec une médiane passant de 5,5 (55%) à 8 (80%) entre les deux premières évaluations puis se stabilisant, alors que les médianes sont croissantes dans le bras simulateur entre les évaluations 1 et 2 (+1) et entre les évaluations 2 et 3 (+1,5). Cette évolution plus faible dans ce bras d'apprentissage numérique réside principalement sur le fait que les étudiants étaient dès l'évaluation 1 très sûrs de leurs diagnostics, avec une médiane de 6,5 (65%) contre 5,5 (55%) dans le bras box, la progression positive possible est donc de fait moins grande.

L'analyse individuelle des progressions de certitude diagnostique montre une progression évidente entre les deux premières évaluations, avec une progression chez 8 étudiants dans le bras simulateur (progression moyenne de +1,6) et une diminution chez 2 internes (progression moyenne de - 2) tandis que les dix internes du bras box ont vu croître leur assurance diagnostique. Lors de l'évaluation 3, la progression des internes du bras box était beaucoup moins importante, avec trois internes moins sûrs de leurs diagnostics (progression moyenne de -0,4), trois internes aussi sûrs d'eux et une progression moyenne chez les quatre autres de +1,75). En ce qui concerne le bras simulateur, seul un interne a diminué son niveau de certitude à l'occasion de l'évaluation 3 (-2), mais à l'inverse trois internes sont restés aussi sur d'eux et 6 internes ont augmenté leur niveau de certitude (+1,88).

Les distributions des pourcentages de certitude des différents temps d'évaluation sont significativement différentes dans le bras box (Kruskall Wallis test (KWT), p-value à 0,00048) en lien avec une différence des distributions 1 et 2 (Dunn test avec approximation de Bonferroni (DTB) ; p-value à 0,007) et les distributions 1 et 3 (DTB, p-value à 0,00082). Les distributions 2 et 3 ne sont en revanche pas significativement différentes. Il existe également une différence de distributions dans le bras simulateur (KWT, p-value à 0,01) du fait d'une différence significative entre les distributions 1 et 3 (DTB, p-value à 0,007), sans qu'il y ait de différence entre les distributions 1 et 2 (DTB, p-value à 0,487) et 2 et 3 (DTB, p-value à 0,307).

L'apprentissage du bras simulateur permet de diminuer l'étendue des pourcentages et donc d'homogénéiser le niveau des internes (étendue 4 → 3 → 2), tout en augmentant leur centrage. Les internes du bras simulateur ont donc tous un pourcentage de certitude entre 70% et 100% lors de l'évaluation 3. Le bras box suit une évolution comparable, avec lors de l'évaluation 3 des internes répartis entre 60 et 100% de certitude.

4.3. Courbe d'apprentissage de la durée de réalisation des échographies

Nous avons enfin analysé les courbes temporelles de progressions du temps de réalisation des échographies évaluées à chacun des 3 temps. Plus une échographie de qualité est réalisée rapidement, meilleure elle est adaptée dans le contexte de l'urgence. C'est ce que l'on constate ici, avec dans chacun des deux bras un centrage des distributions des 3 évaluations qui diminue de l'évaluation 1 à l'évaluation 2 avant de se stabiliser entre les évaluations 2 et 3. Ainsi on remarque dans une diminution médiane de 81 secondes (1min21) entre les deux premières évaluations dans le bras simulateur et de 98 secondes (1min38) dans le bras box. Comme vu précédemment, les temps lors de l'évaluation 2 ne sont pas

significativement différents, cependant on constate un temps moyen inférieur dans le bras box (158s = 2min38) par rapport au bras opposé (172s = 2min52).

L'analyse individuelle des temps de réalisation est difficilement interprétable du fait d'une grande hétérogénéité des données. Néanmoins on remarque une diminution évidente du temps de réalisation entre les deux premières évaluations du bras box chez 8 internes (diminution moyenne de 1min52) et une augmentation chez deux internes (+40s). Les dix internes du bras box diminuent quant à eux leurs notes (diminution moyenne de - 1min30). La progression est moins importante entre les deux dernières évaluations, avec une augmentation moyenne du temps de réalisation chez 6 internes du bras box (+54 secondes) et 4 internes du bras simulateur (+1min28) dont un interne augmentant de 4min5s. Les autres internes ont quant à eux continué à diminuer leur temps de réalisation, avec une diminution moyenne de 1min24s chez les internes du bras box et de 37 secondes chez les internes du bras simulateur.

Les distributions des temps de réalisation échographiques lors des trois évaluations sont significativement différentes dans le bras box (Kruskall Wallis test (KWT), p-value à 0,025) en lien avec une différence des distributions 1 et 3 (Dunn test avec approximation de Bonferroni (DTB) ; p-value à 0,039). Il n'existe pas de différence significative entre les distributions 1 et 2 et entre les distributions 2 et 3 (DTB, p-value > 0,05). Il existe également une différence de distributions dans le bras simulateur (KWT, p-value à 0,022) du fait d'une différence significative entre les distributions 1 et 3 (DTB, p-value à 0,038), sans qu'il y ait de différence entre les distributions 1 et 2 (DTB, p-value à 0,07) et 2 et 3 (DTB, p-value à 1).

Les étendues sont quant à elles très différentes et variables entre les deux bras, avec une augmentation lors de l'évaluation 2 avant de diminuer lors de l'évaluation 3 dans le bras box, tandis que dans le bras simulateur l'étendue s'est nettement resserrée lors de l'évaluation 2 avant de réaugmenter à la phase 3.

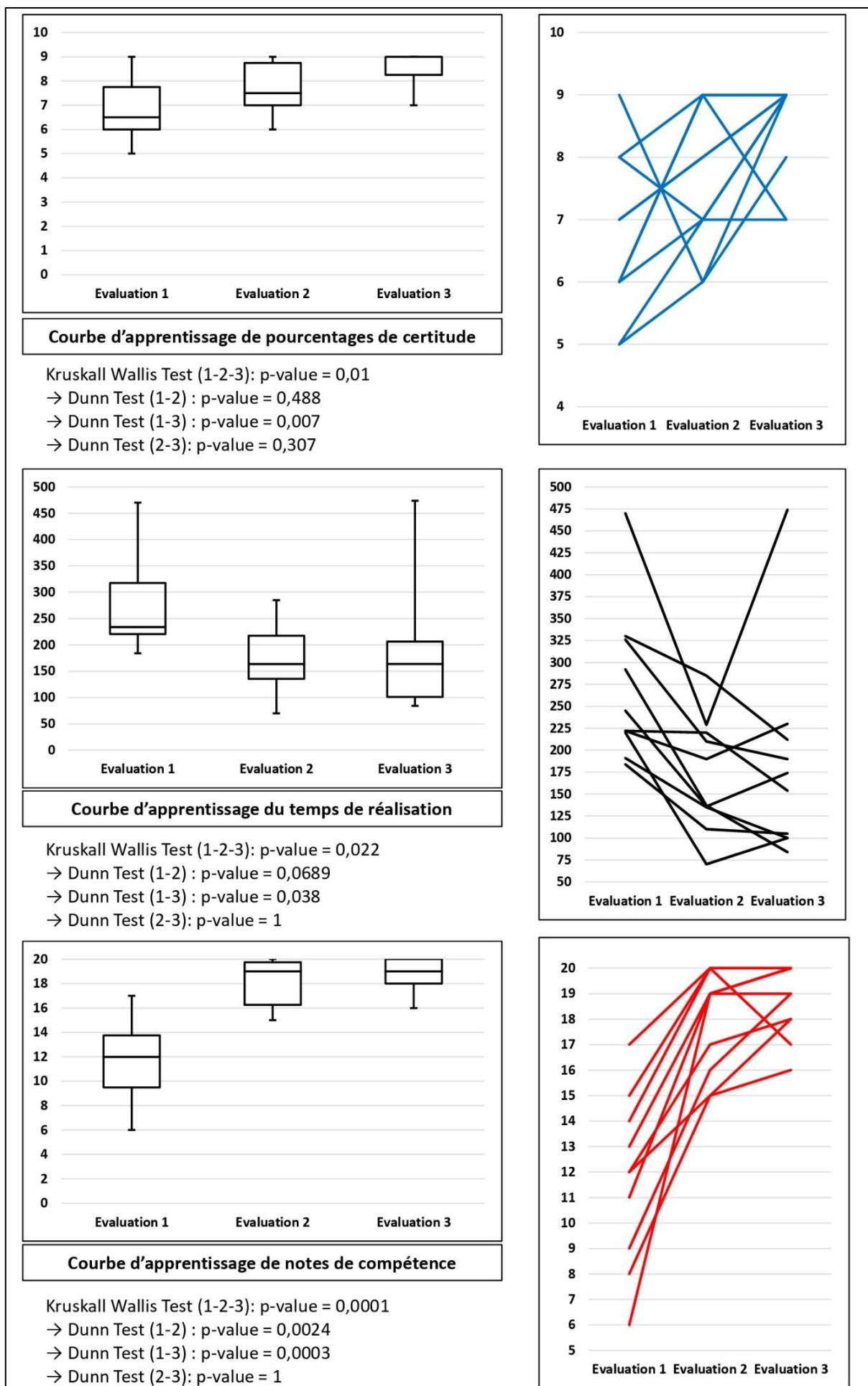


Figure 5 : courbes d'apprentissage du bras simulateur

5. Pourcentage de pertinence diagnostique

Au terme de chaque évaluation, les internes formulent une hypothèse diagnostique principale avec son pourcentage de certitude. Pour chacun des trois cas cliniques évaluatifs, un diagnostic a été fixé « *a priori* » par le constructeur du simulateur numérique. Nous avons donc pu évaluer la concordance entre le diagnostic attendu et le diagnostic suspecté par l'interne. Lorsque l'interne formule son hypothèse diagnostique finale, celle-ci est considérée juste ou erronée. Les données de chacune des trois évaluations sont présentées dans le tableau 7 (Cf tableau 7, page 35) (Cf figure 6, page 36). Nous avons cherché à savoir si les variables « bras d'apprentissage » et « exactitude du diagnostic » étaient significativement dépendantes au risque α de 5%. La réalisation d'un test exact de Fisher nous permet d'affirmer ces deux données ne sont pas significativement associées ($p\text{-value} = 0,473$).

	Evaluation 1		Evaluation 2		Evaluation 3	
	Box	Simulateur	Box	Simulateur	Box	Simulateur
Diagnostic exact (%)	70	50	90	70	100	80
Diagnostic erroné (%)	30	50	10	30	0	20
p-value (Fisher test)	0.473		0.473		0.473	

Tableau 7 : exactitude du diagnostic en fonction du bras d'apprentissage et de l'évaluation

On remarque cependant que dans chacune des évaluations, le pourcentage de pertinence diagnostique est supérieur dans le bras box par rapport au bras opposé (Cf tableau 7, page 35)(Cf figure 6, page 36). Les « *diagnostic accuracy* » moyens des bras box et simulateurs sont respectivement de 76% et 66%.

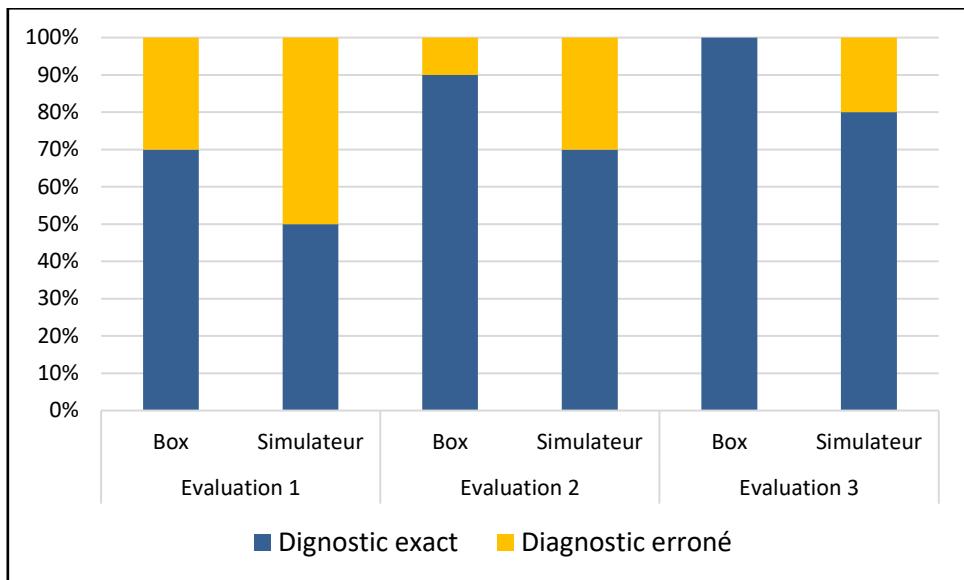


Figure 6 : représentation graphique des pourcentages de pertinence diagnostique en fonction des bras d'apprentissage et des évaluations.

6. Temps de réalisation des échographies seniorisées

Afin de comparer l'apprentissage numérique sur simulateur à un apprentissage au lit du malade et seniorisé, qui est la pratique habituelle, nous avons demandé aux internes du bras box de colliger leurs examens dans une base de recueil en ligne, avec les noms des séniors afin d'attester de la seniorisation. Nous avons fixé de réaliser au moins 5 échographies seniorisées par interne en se basant sur les travaux préalables ayant montré qu'il s'agissait du seuil d'apprentissage pour l'obtention d'images de qualités reproductibles (23). La durée laissée aux internes pour réaliser ces 5 échographies était du 14/05 au 26/08, soit 105 jours. L'ensemble des personnels médicaux, internes comme séniors, des différents centres hospitaliers concernés, universitaires ou non, avaient été sensibilisés à la réalisation de ces échographies. Malheureusement, seulement 5 internes (50%) du bras box ont respecté cet impératif de 5 échographies seniorisées, les résultats vous sont présentés dans la figure 7 (Cf figure 7, page 37). Parmi les internes n'ayant pas respecté cet objectif, 2 internes n'ont réalisés aucunes échographies seniorisées.

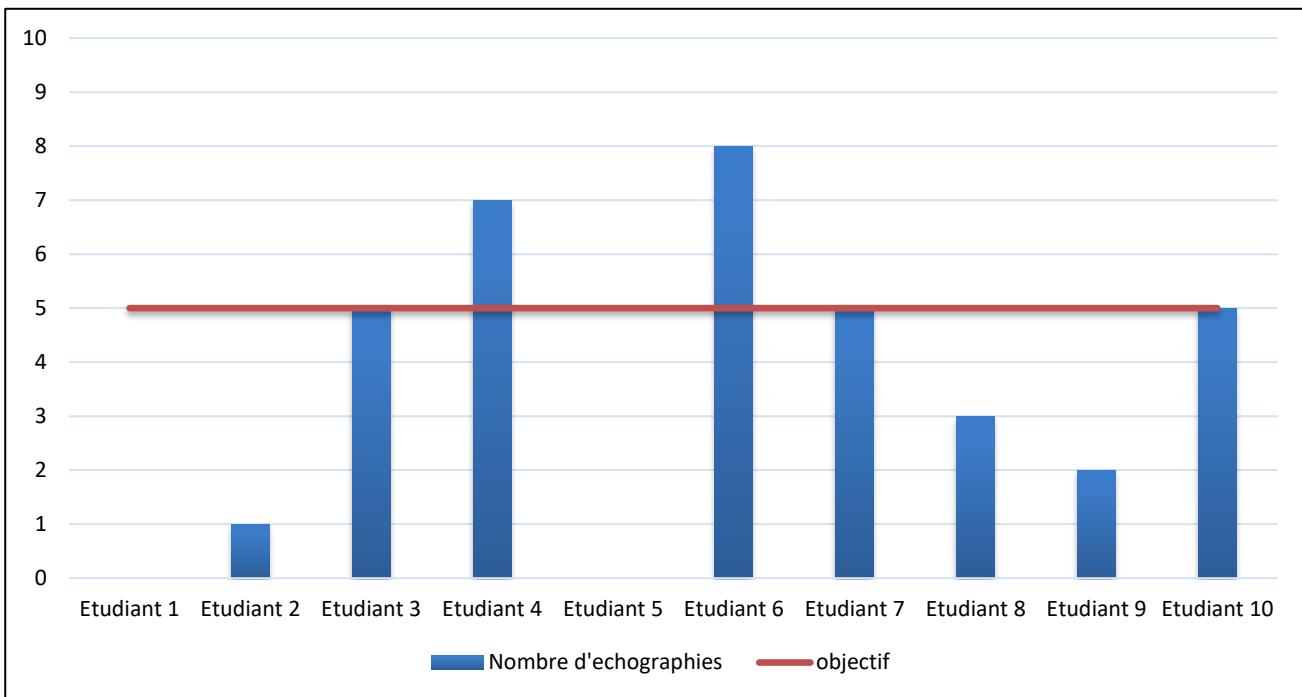


Figure 7 : nombre d'échographies seniorisées réalisées par internes du bras box

DISCUSSION

1. Résultats principaux

Au terme de cette étude, il apparaît donc que l'apprentissage sur simulateur permet d'obtenir une progression des notes « $\Delta 1$ » significativement supérieure par rapport au bras box (p-value à 0,048), à 2 mois de la formation initiale en adéquation avec notre hypothèse formulée a priori. Les moyennes des notes sont également significativement plus hautes que dans le bras opposé lors de cette seconde évaluation (p-value à 0,076). L'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire sur simulateur permet donc de former plus efficacement les internes de médecine d'urgence, quel que soit leurs niveaux, à l'obtention d'images de qualité.

Nous n'avons cependant pas pu montrer d'association significative entre cette évolution des notes et le terrain de stage de l'interne ni son sexe en analyse uni et multivariées. L'interne réalisant son stage aux urgences, ne réalise donc pas une progression différente de celle des autres terrains de stages, et ce quel que soit son niveau de cursus en médecine d'urgence.

Ceci peut s'expliquer par le fait que l'apprentissage clinique de l'échographie s'exerce désormais aussi bien aux urgences, en pré-hospitalier avec le SMUR ou en réanimation, faisant que la progression est homogène quel que soit le service d'apprentissage en cours. Ces résultats sont néanmoins à analyser avec prudence du fait d'un faible nombre d'interne dans chaque type de service.

L'analyse des notes en fonction du niveau d'apprentissage des internes, cad DESMU 1, DESMU 2 et DESCMU 1 n'a pas permis de mettre en évidence de différence entre les promotions ni lors de l'évaluation 1 (KWT, p-value à 0,142) ni lors de l'évaluation 2 (KWT, p-value à 0,671). Alors que nous nous attendions « *a priori* » à ce que l'évolution des notes « $\Delta 1$ » soit supérieure chez les jeunes apprenant, du fait d'une moins grande expérience au lit du malade, ce « $\Delta 1$ » n'est pas associée statistiquement au niveau de cursus ou au type de diplôme en cours de validation (DES vs DESC), en analyse univariée comme multivariée. Dans l'étude de Pietersen. et al (27) validant le module pulmonaire échographique de simulation, il avait été montré une différence significative de notes entre les trois niveaux d'expérience : novice, intermédiaire et expérimenté. Nos résultats ne peuvent être comparés à ces données, car bien que les DESCMU1 soient en 3^{ème} année d'internat, ils doivent être considérés comme novice tout comme les internes de DESMU1 et DESMU2, faute de nombre suffisant d'échographies pleuropulmonaires de qualité (< 20 échographies pleuropulmonaires de qualité selon la définition de Pietersen et al.).

Nous n'avons pas montré ici de différence significative en termes de temps de réalisation des échographies entre les deux bras (p-value à 0,705), ce qui est discordant avec les résultats de la littérature sur le sujet. En effet, la méta-analyse menée par Cook D, et al (28) met en évidence que le temps de réalisation d'une tâche précise est un critère de

jugement très souvent utilisé (210 études sur 609 analysées) et est significativement associée à l'apprentissage par simulation, qu'elle soit échographique ou non. Une étude récente menée par Bernard A, et al (29) au CHU de Tours montre que l'apprentissage sur simulateur électronique échographique similaire à celui utilisé dans notre étude améliore significativement le temps d'acquisition des coupes écho-cardiographiques de référence pour évaluer la fonction cardiaque en situation d'urgence. L'explication d'une absence de différence significative de notre étude est sans doute le nombre insuffisant d'internes, uniquement de 10 pour le bras simulateur, qui est faible par rapport aux autres études réalisées (35 dans l'étude de Bernard et al). De plus, notre travail repose uniquement sur l'évaluation d'internes, au contraire des autres études évaluant également des praticiens thèses (assistants et praticiens hospitaliers), qui bien qu'ils soient décrits comme novices dans l'exercice médical évalué, possèdent une expérience clinique et notamment échographique plus large que le champ évalué, introduisant un biais d'empirisme et interagissant avec leurs évaluations. Une échographie de qualité en médecine d'urgence doit être la plus rapide possible (21) pour obtenir les images de référence, néanmoins elle ne représente qu'une dimension du geste et doit être associée à d'autres moyens de mesure de la performance pour évaluer une procédure (30). De plus la différence de temps de réalisation de 1 minute n'a pas une grande signification clinique car sans impact thérapeutique direct.

Les variations de temps « $\Delta 1$ temps » ne sont pas associées à la variation « $\Delta 1$ des notes », alors que le postulat « *a priori* » était celui d'une évolution inversement proportionnelle du temps quand l'évolution des notes progressait. Les limites de ces analyses résident dans le faible échantillonnage de notre étude.

En ce qui concerne le pourcentage de certitude diagnostique, cette étude n'a pas permis de mettre en évidence de différence significative entre les deux bras au temps 2 (Mann &

Whitney test, p-value à 0,874) ni au temps 3 (MWT, p-value à 0,242). Quelques études vont à l'encontre de ce résultat, avec un impact statistiquement démontré de la simulation sur la confiance propre des personnels soignants dans leurs diagnostiques ou habileté, qu'il s'agisse d'internes (31-33), de médecins thèsés (34), d'externes en médecine (35) tout comme d'étudiantes infirmières (36). Cette simulation permet cependant d'avoir une meilleure certitude diagnostique à court terme, c'est ce qu'ont montré Tan et al. (37) avec un effet de la simulation sur sa confiance à l'intubation ne durant que 7 mois en l'absence d'entretien des acquis. Il est donc nécessaire de fréquemment entretenir ses aptitudes au maniement des échographes, à la lecture d'images et à leurs intégrations dans le soin pour conserver une bonne confiance dans ses pratiques (38).

On remarque une faible association inversement proportionnelle de l'évolution « $\Delta 1$ du pourcentage de certitude » avec le « $\Delta 1$ des notes », les notes progressant quand la certitude diminue, mais ces données ne sont pas significatives. Ces données sont là-aussi à interpréter avec prudence du fait du faible nombre d'internes à avoir participé à l'étude COMPUS.

2. Matériel et méthode

Comme l'indiquent les recommandations de pratiques professionnelles (39) éditées conjointement en 2019 par les Sociétés de Réanimation de Langue Française (SRLF), Société française de Médecine d'Urgence (SFMU), Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (SFAR) et la Société Francophone de Simulation en Santé (SOFRASIMS), il est nécessaire d'intégrer la simulation comme méthode pédagogique intégrée à un curriculum de formation et non de l'utiliser seule. Ainsi la méta-analyse de Zendejas et al (40) démontre que l'apprentissage reposant sur des « stratégies multiples d'apprentissage » est supérieur à un apprentissage unique. Les résultats significatifs sur l'amélioration des notes obtenues dans le

bras simulateur l'attestent avec une formation multimodale de ses internes, reposant sur un apprentissage théorique par e-learning et cours présentiels, un apprentissage pratique sur patients sains et sur simulateur. Nayahangan et al (41) identifient même la simulation au « focused ultrasound scanning of the lungs » comme procédure indispensable dans la formation en pneumologie au Danemark.

Issenberg et al (42) ont montré que la variété des cas simulé permet une amélioration significative des compétences. Notre apprentissage par simulateur intégrant 9 cas cliniques originaux avec des étiologies de dyspnée aiguë différentes possède donc un avantage pédagogique.

Conformément aux recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) (43) éditées en 2012, notre apprentissage par simulateur électronique échographique de type « réalité virtuelle » tel que décrit par Muller et al. (44) répond aux exigences d'une séance de simulation en santé. En effet, nous avons répondu à l'impératif des trois phases de déroulement des scénarios : une phase de briefing, une phase de déroulement du scénario et enfin une phase de débriefing. Chaque cas clinique a ainsi commencé par un briefing prévu par le constructeur de l'appareil, avec des éléments anamnestiques, des antécédents et un examen physique virtuel. Il était rappelé à l'étudiant le déroulé du cas clinique. Une phase de déroulement du scénario avec adaptation du formateur en fonction des réactions et actions des apprenants. Enfin une phase de debriefing. Ce feedback permet de revenir sur le déroulement de la situation simulée et de faciliter au mieux la prise de conscience des actions jugées « négatives » comme celles « positives ». Ce debriefing fut réalisé en trois temps comme recommandé par Dreifuerst (45). Une phase descriptive avec rappel par le formateur du contexte anamnestique et physique du cas clinique, du déroulé global de la simulation et la pose de questions ouvertes et réactionnelles à la simulation par le formateur à l'apprenant. Une seconde phase d'analyse

auto-évaluative de l'interne de ses actions avec réflexion sur les raisons de leurs mises en place. Enfin une phase de synthèse et de correction par le formateur dans le but d'apporter les éléments d'amélioration et de progression pour les prochaines mises en pratiques de simulation ou sur patients réels. L'attitude du formateur se voulant bienveillante sans stigmatisation de l'erreur comme le recommandent Salas et al (46). Le debriefing est primordial afin de tirer le meilleur bénéfice de ces simulations, c'est ce qu'ont montré Cheng et al (47) dans leur méta-analyse, avec une supériorité des techniques de simulation intégrant un débriefing par rapport aux méthodes d'apprentissage simulé en faisant l'économie.

Toujours selon les recommandations de pratiques professionnelles (39) il est recommandé, avec un accord fort, de systématiquement évaluer l'impact d'une simulation sur l'apprentissage des apprenants par des indicateurs spécifiques. Le modèle de référence utilisé est celui de Donald Kirkpatrick, développé dans les années 1960's et rapidement appliqué au domaine de la santé. Il s'organise selon une échelle de 4 niveaux d'impact complémentaires (Cf figure 8, page 44). Le premier niveau appelée « Réactions » évalue, généralement à l'aide de questionnaires, la perception des apprenants par rapport à la formation elle-même et à la méthode utilisée. Plusieurs types de questionnaires peuvent alors être réalisés. Certains de ces questionnaires ont pour but d'évaluer la formation a posteriori de celle-ci selon un schéma avant/après. Nous avons opté pour ce schéma, avec l'incorporation dans notre questionnaire de la question : « quel est votre pourcentage de certitude ? », qui a été réalisé avant et après la mise en place de la simulation. Le second niveau selon Kirkpatrick est « l'apprentissage », il évalue l'acquisition de la compétence et de la connaissance. Elle se fait généralement au moyen de questionnaires, au mieux d'hétéroévaluation. Deux types dominent dans la littérature : le « Global Rating Scale (GRS) » ou le « Checklist score (CS) » sur le modèle des évaluations aéronautiques. Le GRS évalue plusieurs aspects de la compétence : l'habileté de

communication et de prise de position, les compétences cliniques et les compétences cognitives, avec pour chaque un système de notation à plus de réponses. Le Checklist score, modèle que nous avons utilisé dans notre étude, correspond à une liste d'items pour lesquels une réponse dichotomique ou trichotomique est attendue (48,49). Bien qu'elles aient une fiabilité inter-évaluateur (reproductibilité) élevée et meilleure que les GRS, les CS sont généralement moins bien valorisés (50). Elles évaluent une tâche en particulier, ici l'échographie pleuropulmonaire » mais ne sont pas reproductibles pour une autre tâche au contraire des GRS ayant une bonne fiabilité inter-tâche et inter-articles. Le CS a cependant l'avantage de nécessiter un niveau de formation moindre de l'évaluateur que dans les GRS, avantage qui nous a orienté dans notre choix d'instrument d'évaluation au même titre que l'absence de nécessité d'extrapolation de la grille d'évaluation à d'autres tâches.

Le troisième niveau est « le changement comportemental » lié à la session de simulation et le transfert d'apprentissage. Il s'agit d'évaluer si les connaissances, les compétences et les attitudes nouvellement acquises par la simulation sont utilisées dans la pratique professionnelle quotidienne. Cette mesure est la plupart du temps réalisée par questionnaires ou entretiens et peut être opérée à plusieurs reprises. Nous avons pour notre part répété les évaluations identiques avant, après et à distance des phases d'apprentissage.

Le dernier niveau appelé « Résultats » n'a pas été réalisé dans notre étude. Cette étude ne permet donc pas de réaliser l'impact des bras d'apprentissage sur les prises en charges des patients dyspnéiques aux urgences.

L'utilisation du modèle de Kirkpatrick est importante, notamment dans les soins aigus nécessitant un apprentissage par simulation régulier et fréquent (51).

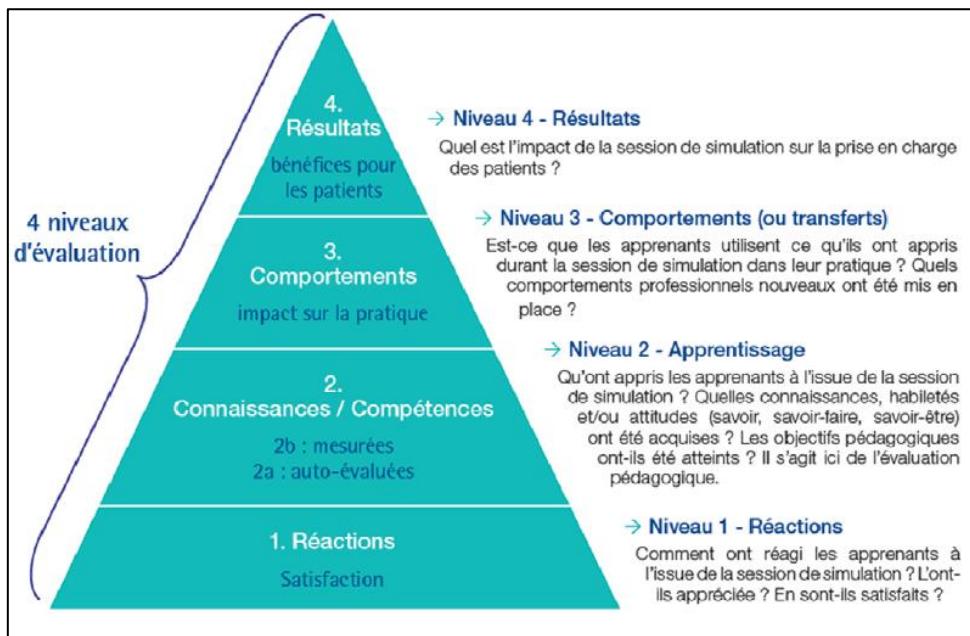


Figure 8 : schématisation du modèle d'évaluation de Kirkpatrick à 4 niveaux

Lors de la phase d'ancrage, nous n'avons pas mis en évidence de différence significative de différence « $\Delta 2$ » des notes entre les évaluations 1 et 3 et « $\Delta 3$ » entre les évaluations 2 et 3. Un des facteurs explicatifs potentiels est la différence de difficulté entre les cas cliniques. D'après l'étude de validation du simulateur, le cas clinique « 4 » est considéré plus difficile que le cas « 5 » lui-même plus dur que le cas « 3 » (27). Ceci pourrait expliquer qu'aucune différence n'ait été observée entre le cas le plus simple (évaluation 1) et le cas de difficulté intermédiaire (évaluation 2), les différentes méthodes ne permettent pas une amélioration par une faible augmentation de difficulté. Elles permettent donc cependant de mieux se former pour les cas « difficiles » par simulation.

L'analyse des courbes d'apprentissage atteste qu'il existe une progression significative des notes de compétence, se faisant plus rapidement dans le bras simulateur que dans le bras opposé mais conséquente également dans les deux bras. En ce qui concerne les certitude diagnostique et temps de réalisation, la croissance est significative à 3 mois dans les deux bras. Ceci est en accord avec Blehar et al (52) qui a montré que parmi toutes les applications

cliniques de l'ECMU, l'échographie pleuropulmonaire est l'utilisation pour laquelle les images de qualité étaient obtenues le plus rapidement chez les médecins novices de pratique échographique. Cette croissance rapide visible dès 2 mois post-formation pour les notes et 3 mois pour le reste nous suggère qu'il est intéressant de mettre en place cette formation par simulateur à la phase très précoce de l'apprentissage des internes novices en échographie. Je rappelle que ces internes avaient au préalable suivi des sessions présentielle de cours et pratique sur sujet sain ainsi que des e-learning. Afin que ces internes soient rapidement sûrs de leurs examens, il serait nécessaire de mettre en place cette formation multimodale de manière très précoce, avec la réalisation du séminaire échographique sur sujet sain et de l'apprentissage simulé électroniquement dès les premiers mois de l'internat en parallèle des e-learnings nationaux. A noter également que la courbe d'apprentissage est rapide y compris en médecine pré-hospitalière, nous incitant à l'utiliser très largement (53) au Service Médical d'Urgence et de Réanimation (SMUR) comme dans les services d'accueil des urgences adultes (SAU)

On remarque enfin que les deux bras d'apprentissage possèdent de bons « diagnostic accuracy » moyens, de 76% dans le bras box et de 66% dans le bras simulateur. Ces résultats concordent avec ceux montrés par Baker et al (54), seulement leur méthode d'apprentissage longue et sans simulation électronique développée sur une durée de 12 mois. Les résultats du bras box semblent supérieurs à ceux montrés par Mahandran et al (55) bien que la méthodologie d'apprentissage fut similaire, composée de cours présentiels, de mise en pratique sur sujets sains et d'une évaluation clinique seniorisée par des médecins somaticiens et/ou des radiologues. Leurs « diagnostic accuracy » était de 66,6%.

Notre méthode par simulation réalisable sur un délai court montre donc un avantage, surtout qu'elle peut être complétée par un entretien des informations sur une durée plus longue

avec des auto-simulations répétées par l'interne seul sur la machine. Le MENTOR U/S Lung Module développée par SIMBIONIX possède en effet une caractéristique que nous n'avons pas utilisé dans cette étude du fait d'une hétéro-évaluation par évaluateur : la possibilité par l'interne de réaliser des auto-apprentissages avec auto-évaluation par le simulateur des compétences. La principale limite à cela est le nombre de cas cliniques trop faible, qui lorsque l'interne réalise de manière trop fréquente ou rapprochée cet apprentissage simulé, introduit un biais de mémoire. Le nombre de simulateurs insuffisant est également un défaut devant amener les services à se munir d'un nombre supérieur d'appareils. Cette acquisition représente un coup important, cependant aucune étude médico-économique n'a jusqu'alors été réalisée afin de connaitre si cet investissement représente un gain clinique sur le long terme.

Il est licite de penser qu'un des biais majeurs de cette étude est l'absence d'homogénéité de niveaux de difficulté des différents cas cliniques. Comme le montre l'étude de validation du simulateur de Pietersen et al (27), les cas cliniques sont effectivement de difficulté variable, et notamment les cas d'évaluation « cas 3 », « cas 4 » et « cas 5 ». Cependant, par ordre croissant de difficulté on constate une difficulté inférieure du « cas 3 », une difficulté intermédiaire du « cas 5 » et une difficulté supérieure du « cas 4 ». Par conséquent l'absence de différence significative des notes sur le cas jugé le plus simple et l'apparition d'une différence sur le cas le plus dur ainsi que sur le cas de difficulté intermédiaire est en faveur d'un apprentissage par simulateur électronique.

3. Limites et apport de l'étude

La première limite de cette étude est la rigueur de randomisation des internes. En effet, afin de rendre comparable les deux bras, une randomisation stratifiée a été réalisées. Les

apprenants ont été classés en trois niveaux en fonction de leurs niveaux d'apprentissage (DESMU 1, DESMU 2 et DESC MU 1). Au sein de chaque niveaux, ils ont ensuite été tirés au sort et répartis selon un format 1:1 dans chaque bras. Cependant, du fait initialement d'un nombre impair d'internes et du désistement de 5 internes post-randomisation, les deux bras se sont retrouvés déséquilibrés en termes de niveau d'apprentissage.

La deuxième limite est l'absence de validité externe de la grille d'évaluation utilisée. En effet, elle s'est inspirée du travail de Balen (23) sans que cette grille n'ait été validée par les pairs en dehors du cadre de cette étude. Notre fiche d'évaluation des notes, inspiré et revisitée par rapport à la précédente, n'a été validée que localement par les deux médecins référents en échographie dans notre département de médecine d'urgence (DMU). Il aurait alors fallu la faire valider par un groupe de médecins indépendants, pluridisciplinaire composé de médecins urgentistes, radiologues et pneumologues et de la tester sur une autre cohorte. Pour rappel il s'agit d'une « checklist », non reproductible pour une autre tâche. Nous n'avons donc pas pu utiliser une fiche validée dans une autre évaluation et pouvant être secondairement extrapolée au domaine de l'échographie pleuropulmonaire.

Une des limites est également l'évaluation du « pouls pulmonaire ». Le pouls pulmonaire correspond à une transmission des vibrations cardiaques à la paroi pleurale (56). Son évaluation est parfois difficile à distinguer en l'absence d'une apnée (afin d'outrepasser le glissement pleural). L'absence de pouls pulmonaire est en faveur d'un pneumothorax tandis que sa présence/augmentation nous oriente vers une atélectasie. Le simulateur ne permet pas de réaliser de modulations de la respiration, ce qui constitue une limite par rapport au patient vivant. Néanmoins notre étude tentait d'évaluer la capacité de l'interne à rechercher de façon

adaptée et au moment approprié le pouls pulmonaire et non d'évaluer précisément une image. Par conséquent l'évaluation restait possible et comparable entre les deux bras.

Une autre limite est la durée de réalisation de l'étude, qui peut être considérée comme trop courte avec une évaluation à 2 mois et un ancrage à 3 mois, et un biais de mémoire entre les évaluations rapprochées pouvant nuire à l'interprétation des résultats. Il serait par conséquent intéressant de réévaluer plus à distance les internes afin de surpasser ce biais.

Le principal biais de ce travail est l'impossibilité, pour la moitié des internes du bras box de réaliser « au moins 5 échographies pleuropulmonaires séniorisées » fixées a priori (23). Comme le stipulent Laursen et al, les départements de médecine d'urgence sont généralement dotés d'un « emergency medical clinical ultrasound director » qui possède une formation approfondie en médecine d'urgence et exerce localement des actions pédagogiques, de coordination de la recherche clinique en matière d'échographie, d'entretien et de changement du matériel et d'élaboration des protocoles de service (26). Le DMU d'Angers en possède deux. Mais comme le précise également cet article, le frein à la séniorisation échographique en box repose principalement sur le nombre de séniors ayant une expérience et une confiance nécessaire dans leurs examens pour assumer de sénioriser des internes d'urgence (26). L'échographie d'urgence bien qu'encouragée est encore sous-utilisée en pratique quotidienne comme l'a montré Bobbia et al (57), rendant par conséquent difficile la prise de confiance des médecins séniors dans leurs examens et limitant la réalisation du nombre suffisant d'échographies séniorisées par les internes du bras « Box ». A l'interrogatoire des internes sur les raisons de ces non-réalisations, cet argument de l'absence de séniors suffisamment confiants dans leurs examens pour sénioriser efficacement a été largement retrouvé. Une piste de réponse à cela est d'approfondir la formation de tous le médecins urgentistes, assistants

ou praticiens hospitaliers, afin qu'ils soient assez à l'aise avec cet outil. La formation par simulateur, rapide et disponible en est sans doute la solution.

4. Perspectives et utilisation future

L'utilisation de la simulation en santé est désormais « encouragée », depuis l'arrêté du 21 avril 2017 paru au Journal Officiel de la République Française, relatif aux connaissances, aux compétences et aux maquettes de formation des diplômes d'études spécialisées (58). Ainsi, l'utilisation de méthodes pédagogiques innovantes dans le cadre d'une approche par compétences et adaptées aux caractéristiques des étudiants concernés est valorisée, comme par exemple l'utilisation de méthodes de simulation en santé comprenant des techniques de simulation organiques, synthétiques, électroniques ou relationnelles. Notre apprentissage s'inscrit donc pleinement dans cela.

Comme introduit plus haut, une analyse des coups de machine et du nombre de machines à acquérir est nécessaire. Une augmentation de l'arsenal est-il vraiment faisable ? Peut-on vraiment s'en passer ? Désormais une dizaine d'internes intègre le DESMU par an et sont soumis à un impératif de formation fixé par les ECMU 1 et 2, à cela viennent se rajouter les praticiens en exercice devant compléter ou entretenir leur formation initiale, ce qui représente un nombre important de médecins à former. Une formation classique au lit du malade est par conséquent de plus en plus difficile à organiser au niveau logistique mais la formation de tous ces acteurs est impérative vu l'utilisation quotidienne de l'échographie. L'acquisition de nouveaux simulateurs est donc nécessaire.

Fort de ces résultats, l'intégration de la simulation échographique doit être repensée et systématisée et faire partie de l'arsenal pédagogique des départements de médecine d'urgence

français. Elle doit être intégrée en parallèle de l'apprentissage classique par e-learning et de l'entraînement sur sujet sain mais ne doit pas les remplacer. L'ensemble de ces moyens d'apprentissage devront être dispensés rapidement après le début de l'internat, afin que les internes puissent utiliser l'échographie pleuropulmonaire dès le début de leur cursus. L'accessibilité et la rapidité de formation permet d'envisager de maintenir une formation médicale continue (FMC) des médecins formés à l'échographie à la phase initiale de leur formation. Elle permet également de former rapidement les praticiens d'ancienneté supérieure n'ayant jamais véritablement intégré l'échographie dans leur usage quotidien faute de formation accessible. Afin de répondre à tous ces objectifs, une augmentation des moyens alloués à ces outils est nécessaire.

L'évolution du métier de médecin urgentiste, obligeant le praticien à être de plus en plus polyvalent médicalement et techniquement, à devoir poser des diagnostics précis et rapides, rendra indispensable l'utilisation de l'échographie au lit du malade dans les prochaines années. Sa parfaite utilisation sera donc essentielle pour tous et devra être enseignée universellement aux moyens de simulateurs électroniques, notamment dans le cas de la dyspnée aiguë.

CONCLUSION

L'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire par simulateur permet le développement rapide de meilleures compétences échographiques chez les internes de médecine d'urgence par rapport à un apprentissage par compagnonnage aux urgences, sans que nous n'ayons pu montrer de différences statistiquement significatives sur le temps de réalisation échographique ou le pourcentage de certitude diagnostique. De plus le simulateur

épargne du temps formateur et permet une formation plus rapide. La démocratisation de cet outil novateur semble nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Laribi S, Keijzers G, van Meer O, Klim S, Motiejunaite J, Kuan WS, et al. Epidemiology of patients presenting with dyspnea to emergency departments in Europe and the Asia-Pacific region. *Eur J Emerg Med.* 30 août 2018;
2. Kelly AM, Keijzers G, Klim S, Graham CA, Craig S, Kuan WS, et al. An Observational Study of Dyspnea in Emergency Departments: The Asia, Australia, and New Zealand Dyspnea in Emergency Departments Study (AANZDEM). *Acad Emerg Med.* 2017;24(3):328-36.
3. Kurmani S, Squire I. Acute Heart Failure: Definition, Classification and Epidemiology. *Current Heart Failure Reports.* oct 2017;14(5):385-92.
4. Cardinale L, Volpicelli G, Lamorte A, Martino J, Veltri A. Revisiting signs, strengths and weaknesses of Standard Chest Radiography in patients of Acute Dyspnea in the Emergency Department. *Journal of Thoracic Disease.* 12 juill 2012;4(4):398-407-407.
5. Burri E, Potocki M, Drexler B, Schuetz P, Mebazaa A, Ahlfeld U, et al. Value of arterial blood gas analysis in patients with acute dyspnea: an observational study. *Crit Care.* 2011;15(3):R145.
6. Chouihed T, Manzo-Silberman S, Peschanski N, Charpentier S, Elbaz M, Savary D, et al. Management of suspected acute heart failure dyspnea in the emergency department: results from the French prospective multicenter DeFSSICA survey. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 17 sept 2016;24(1):112.
7. Laskey WK, Alomari I, Cox M, Schulte PJ, Zhao X, Hernandez AF, et al. Heart rate at hospital discharge in patients with heart failure is associated with mortality and rehospitalization. *J Am Heart Assoc.* 22 avr 2015;4(4).
8. Fabbian F, Giorgi AD, Pala M, Tiseo R, Portaluppi F. Elevated NT-proBNP levels should be interpreted in elderly patients presenting with dyspnea. *European Journal of Internal Medicine.* 1 févr 2011;22(1):108-11.
9. Müller B, Harbarth S, Stolz D, Bingisser R, Mueller C, Leuppi J, et al. Diagnostic and prognostic accuracy of clinical and laboratory parameters in community-acquired pneumonia. *BMC Infect Dis.* 2 mars 2007;7:10.
10. Hausfater P, Juillien G, Madonna-Py B, Haroche J, Bernard M, Riou B. Serum procalcitonin measurement as diagnostic and prognostic marker in febrile adult patients presenting to the emergency department. *Critical Care.* 2007;11(3):R60.
11. Taboulet P, Feugeas JP. Dyspnée aiguë aux urgences : utilité des troponines, des peptides natriurétiques, de la procalcitonine et des D-dimères. *Annales de Biologie Clinique.* 1 juill 2005;63(4):377-84.
12. Konstantinides S, Geibel A, Olschewski M, Kasper W, Hruska N, Jäckle S, et al. Importance of cardiac troponins I and T in risk stratification of patients with acute pulmonary embolism. *Circulation.* 3 sept 2002;106(10):1263-8.
13. Pernet J, Ray P. Les indications indiscutables et celles qui restent discutées. :15.

14. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. juill 2008;134(1):117-25.
15. Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R, Dankoff J, Barbic D. Point-of-care ultrasonography for the diagnosis of acute cardiogenic pulmonary edema in patients presenting with acute dyspnea: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med*. août 2014;21(8):843-52.
16. Chavez MA, Shams N, Ellington LE, Naithani N, Gilman RH, Steinhoff MC, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis. *Respir Res*. 23 avr 2014;15:50.
17. Alrajab S, Youssef AM, Akkus NI, Caldito G. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Crit Care*. 23 sept 2013;17(5):R208.
18. Squizzato A, Rancan E, Dentali F, Bonzini M, Guasti L, Steidl L, et al. Diagnostic accuracy of lung ultrasound for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost*. juill 2013;11(7):1269-78.
19. Vignon P, Chastagner C, Berkane V, Chardac E, François B, Normand S, et al. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Crit Care Med*. août 2005;33(8):1757-63.
20. Volpicelli G, Mussa A, Garofalo G, Cardinale L, Casoli G, Perotto F, et al. Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar-interstitial syndrome. *The American Journal of Emergency Medicine*. oct 2006;24(6):689-96.
21. membres de la commission des référentiels de la SFMU, Duchenne J, Martinez M, Rothmann C, Claret P-G, Desclefs J-P, et al. Premier niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé. *Annales françaises de médecine d'urgence*. juill 2016;6(4):284-95.
22. Martinez M, Duchenne J, Bobbia X, Brunet S, Fournier P, Miroux P, et al. Deuxième niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé. *Annales françaises de médecine d'urgence* [Internet]. 2018 [cité 9 août 2018]; Disponible sur: <https://afmu.revuesonline.com/10.3166/afmu-2018-0047>
23. Balen F. Formation des urgentiste à l'échographie pulmonaire [Thèse d'exercice de Médecine Générale]. [Toulouse]: Université de Toulouse III; 2015.
24. See KC, Ong V, Wong SH, Leanda R, Santos J, Taculod J, et al. Lung ultrasound training: curriculum implementation and learning trajectory among respiratory therapists. *Intensive Care Med*. 1 janv 2016;42(1):63-71.
25. Lichtenstein D. FALLS-protocol: lung ultrasound in hemodynamic assessment of shock. *Heart Lung Vessel*. 2013;5(3):142-7.

26. Laursen CB, Nielsen K, Riishede M, Tiwald G, Møllekær A, Aagaard R, et al. A framework for implementation, education, research and clinical use of ultrasound in emergency departments by the Danish Society for Emergency Medicine. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 15 avr 2014;22:25.
27. Pietersen PI, Konge L, Graumann O, Nielsen BU, Laursen CB. Developing and Gathering Validity Evidence for a Simulation-Based Test of Competencies in Lung Ultrasound. *Respiration.* 2019;97(4):329-36.
28. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Technology-Enhanced Simulation for Health Professions Education: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA.* 7 sept 2011;306(9):978-88.
29. Bernard A, Chemaly P, Dion F, Laribi S, Remerand F, Angoulvant D, et al. Evaluation of the efficacy of a self-training programme in focus cardiac ultrasound with simulator. *Arch Cardiovasc Dis.* 23 juill 2019;
30. Crabtree NA, Chandra DB, Weiss ID, Joo HS, Naik VN. Fibreoptic airway training: correlation of simulator performance and clinical skill. *Can J Anaesth.* févr 2008;55(2):100-4.
31. Muniandy RK, Nyein KK, Felly M. Improving the self-confidence level of medical undergraduates during emergencies using high fidelity simulation. *Med J Malaysia.* oct 2015;70(5):300-2.
32. Volk AS, Eisemann BS, Dibbs RP, Perdanasisi AT, Braun TL, Marsack KP. The Utility of an Open-Access Surgical Simulator to Enhance Surgeon Training. *J Craniofac Surg.* 28 août 2019;
33. Stoltz LA, Amini R, Situ-LaCasse E, Acuña J, Irving SC, Friedman L, et al. Multimodular Ultrasound Orientation: Residents' Confidence and Skill in Performing Point-of-care Ultrasound. *Cureus.* 15 nov 2018;10(11):e3597.
34. Soffler MI, Hayes MM, Smith CC. Central venous catheterization training: current perspectives on the role of simulation. *Adv Med Educ Pract.* 2018;9:395-403.
35. Simulation to improve medical student confidence and preparedness to care for the dying: a feasibility study | *BMJ Supportive & Palliative Care* [Internet]. [cité 1 sept 2019]. Disponible sur: <https://spcare.bmjjournals.org/content/early/2019/08/28/bmjspcare-2019-001853>
36. Alamrani MH, Alammar KA, Alqahtani SS, Salem OA. Comparing the Effects of Simulation-Based and Traditional Teaching Methods on the Critical Thinking Abilities and Self-Confidence of Nursing Students. *J Nurs Res.* juin 2018;26(3):152-7.
37. Tan TX, Buchanan P, Quattromani E. Teaching Residents Chest Tubes: Simulation Task Trainer or Cadaver Model? *Emerg Med Int.* 2018;2018:9179042.
38. Which factors are associated with trainees' confidence in performing obstetric and gynecological ultrasound examinations? - Tolsgaard - 2014 - Ultrasound in Obstetrics & Gynecology - Wiley Online Library [Internet]. [cité 1 sept 2019]. Disponible sur: <https://obgyn.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/uog.13211>

39. L'Her E, Geeraerts T, Desclefs JP, Benhamou D, Blanie A, Cerf C, et al. Recommandations de Pratiques Professionnelles - Intérêts de l'apprentissage par simulation en soins critiques. In 2019.
40. Zendejas B, Brydges R, Wang AT, Cook DA. Patient outcomes in simulation-based medical education: a systematic review. *J Gen Intern Med.* août 2013;28(8):1078-89.
41. Nayahangan LJ, Clementsen PF, Paltved C, Lindorff-Larsen KG, Nielsen BU, Konge L. Identifying Technical Procedures in Pulmonary Medicine That Should Be Integrated in a Simulation-Based Curriculum: A National General Needs Assessment. *Respiration.* 2016;91(6):517-22.
42. Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, Lee Gordon D, Scalese RJ. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach.* janv 2005;27(1):10-28.
43. Haute Autorité de la Santé. Guide de bonnes pratiques en matière de simulation en santé. In 2012.
44. Meller G. A typology of simulators for medical education. *J Digit Imaging.* août 1997;10(3 Suppl 1):194-6.
45. Dreifuerst KT. The essentials of debriefing in simulation learning: a concept analysis. *Nurs Educ Perspect.* avr 2009;30(2):109-14.
46. Salas E, Klein C, King H, Salisbury M, Augenstein JS, Birnbach DJ, et al. Debriefing medical teams: 12 evidence-based best practices and tips. *Jt Comm J Qual Patient Saf.* sept 2008;34(9):518-27.
47. Cheng A, Eppich W, Grant V, Sherbino J, Zendejas B, Cook DA. Debriefing for technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. *Med Educ.* juill 2014;48(7):657-66.
48. Ringsted C, Østergaard D, Ravn L, Pedersen JA, Berlac PA, van der Vleuten CPM. A feasibility study comparing checklists and global rating forms to assess resident performance in clinical skills. *Med Teach.* nov 2003;25(6):654-8.
49. Ilgen JS, Ma IWY, Hatala R, Cook DA. A systematic review of validity evidence for checklists versus global rating scales in simulation-based assessment. *Med Educ.* févr 2015;49(2):161-73.
50. Kim J, Neilipovitz D, Cardinal P, Chiu M. A comparison of global rating scale and checklist scores in the validation of an evaluation tool to assess performance in the resuscitation of critically ill patients during simulated emergencies (abbreviated as « CRM simulator study IB »). *Simul Healthc.* 2009;4(1):6-16.
51. Dorri S, Akbari M, Dorri Sedeh M. Kirkpatrick evaluation model for in-service training on cardiopulmonary resuscitation. *Iran J Nurs Midwifery Res.* 2016;21(5):493-7.
52. Blehar DJ, Barton B, Gaspari RJ. Learning Curves in Emergency Ultrasound Education. Burton JH, éditeur. Academic Emergency Medicine. mai 2015;22(5):574-82.

53. Zanatta M, Benato P, De Battisti S, Pirozzi C, Ippolito R, Cianci V. Pre-hospital lung ultrasound for cardiac heart failure and COPD: is it worthwhile? *Crit Ultrasound J* [Internet]. 10 sept 2018 [cité 2 sept 2019];10. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6129457/>
54. Baker K, Soong L, Harding T, Wain A, Cheah J, Mitchell G, et al. Sensitivity, specificity and diagnostic accuracy of novices integrating lung ultrasound into the care of breathless older patients. *Australas J Ultrasound Med*. nov 2015;18(4):143-5.
55. Mahendran M, Gupta K, Kumar A, Bhatt M, Khan MA, Vyas S, et al. Bedside sonography by medicine residents in critically III patients: A retrospective study from a teaching hospital in India. *J Family Med Prim Care*. juill 2019;8(7):2517-21.
56. Volpicelli G. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive Care Medicine*. févr 2011;37(2):224-32.
57. Pradeilles C, Bobbia X, Hudson C. Poster SFMU: Quels impacts à l'échographie clinique d'urgence ? Etude prospective observationnelle multicentrique de type « un jour donné » [Internet]. Quels impacts à l'échographie clinique d'urgence ? Etude prospective observationnelle multicentrique de type « un jour donné ». [cité 11 sept 2019]. Disponible sur: https://www.sfmu.org/fr/bus/media/med_id/822/fic_id/1428
58. Arrêté du 21 avril 2017 relatif aux connaissances, aux compétences et aux maquettes de formation des diplômes d'études spécialisées et fixant la liste de ces diplômes et des options et formations spécialisées transversales du troisième cycle des études de médecine | Legifrance [Internet]. avr 21, 2017. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/4/21/MENS1712264A/jo/texte/fr>

LISTE DES FIGURES

<u>Figure 1</u> : Déroulement de l'étude COMPUS	10
<u>Figure 2</u> : Exemple d'une interne réalisant une évaluation échographique sur simulateur	13
<u>Figure 3</u> : Flowchart de l'étude COMPUS	17
<u>Figure 4</u> : courbes d'apprentissage du bras box	30
<u>Figure 5</u> : courbes d'apprentissage du bras simulateur.....	34
<u>Figure 6</u> : représentation graphique des pourcentages de pertinence diagnostique en fonction des bras d'apprentissage et des évaluations	36
<u>Figure 7</u> : nombre d'échographies seniorisées réalisées par internes du bras box	37
<u>Figure 8</u> : schématisation du modèle d'évaluation de Kirkpatrick à 4 niveaux	44

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1</u> : caractéristiques des internes inclus dans l'étude	18
<u>Tableau 2</u> : évaluation de la différence des notes entre les deux premières évaluations	19
<u>Tableau 3</u> : évaluation des médianes des notes en fonction du bras d'apprentissage et du temps d'évaluation.....	20
<u>Tableau 4</u> : analyse des notes par item lors des deux premières évaluationspour chaque bras d'apprentissage	22
<u>Tableau 5</u> : analyse des notes et des " Δ "d'évolution au cours des trois évaluations pour chaque bras d'apprentissage	27
<u>Tableau 6</u> : médianes des notes de compétence, de pourcentage de certitude et de temps de réalisation échographique pour chacun des deux bras lors de la phase d'ancrage	27
<u>Tableau 7</u> : exactitude du diagnostic en fonction du bras d'apprentissage et de l'évaluation	35

ANNEXES

Annexe 1 : Accord du Comité d’Ethique du CHU d’Angers du 15 avril 2019



COMITE D’ETHIQUE

Pr Christophe Baufreton

Angers, le 15 avril 2019

Dr Aurore Armand

A Mr MORIN François

Département de Médecine d’Urgence
aarmand@chu-angers.fr

Monsieur,

Le Comité d’Ethique du Centre Hospitalier Universitaire d’Angers a examiné dans sa séance du 10/04/2019 votre étude « *Apprentissage de l’échographie pleuropulmonaire dans la dyspnée aigue : comparaison de deux stratégies pédagogiques. Etude COMPUS* » enregistrée sous le numéro 2019/36.

Après examen des documents transmis, audition des rapports et discussion, votre projet ne soulève pas d’interrogation éthique.

Cet avis ne dispense toutefois pas le ou les porteurs du projet de s’acquitter des autres obligations réglementaires pouvant être nécessaires.

Je vous prie de croire, Monsieur, en l’expression de mes sentiments les meilleurs.

Professeur Christophe Baufreton

Annexe 2 : Simbionix Lung Module

Lung Ultrasound Module



Introduction

This module includes procedural tasks and clinical cases for the training of lung examination. The Lung Module incorporates hands-on tasks and cases, accompanied by comprehensive educational aids. The procedural tasks are a guided step-by-step performance of examination protocols (BLUE and F-LUS) and of standard view acquisition and anatomy recognition on normal anatomy.

The clinical cases are aimed at training in both the technical and clinical aspects of the examination. The cases present realistic scenarios with different diagnostic complexities that assist in the recognition of various pathologies such as pneumothorax, pleural effusion, pneumonia, pulmonary edema and lung artifacts such as A lines, B lines, Z lines, lung sliding, lung point, etc.

The module allows training to the full extent of the examination and includes practicing of the various lung zones, documentation and clinical reporting in a full clinical environment and finally receiving an assessment of the performed examination.

In relevant cases, the user has the ability to select the severity of the pathologies from mild to severe.

For some views, repositioning of the manikin to a lateral position is needed:

- Use caution when repositioning the manikin.
- Avoid using the probe in close proximity (under 3 cm) to the manikin transmitter located on the back.
- Do not position the manikin on the anterior side (lying face down).
- In order to prevent damage to the manikin, do not apply pressure on the manikin head when in lateral position.

Consulted on the development of the module:

Christian B. Laursen, MD, Odense University hospital , Odense, Denmark

David Amponsah, MD, Henry Ford Hospital, Detroit, MI, USA

Lior Fuchs, MD, Soroka Medical cener ,Be'erSheva, Israel

Michael S. Wagner, MD, University of South Carolina, Columbia, SC, USA

Lung Ultrasound Module



Learning Objectives

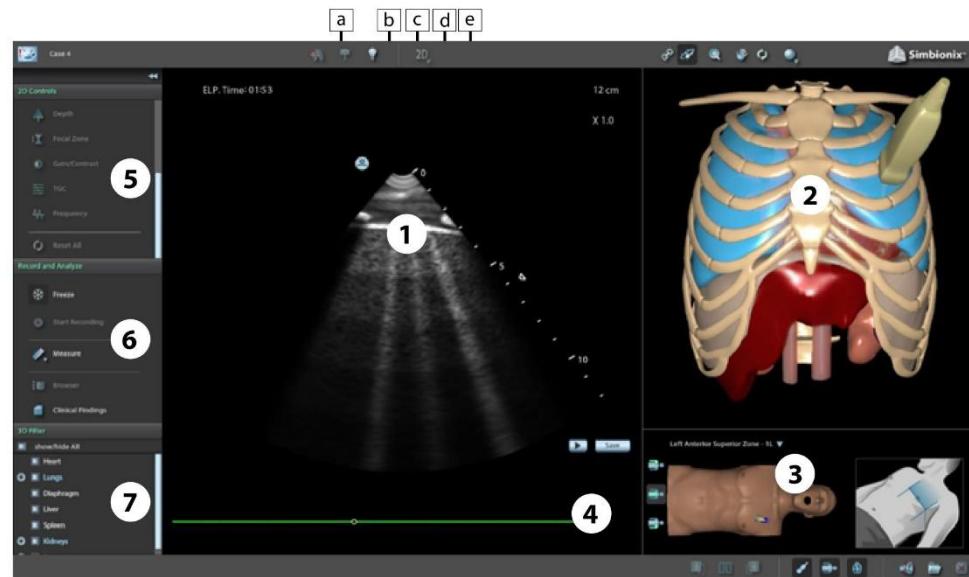
- To perform a complete lung exam.
- To learn and gain confidence in performing the BLUE protocol examination.
- To learn and gain confidence in performing the F-LUS protocol examination.
- To diagnose lung and pleura pathologies.
- To recognize and identify the various lung artifacts.
- To practice clinical findings reporting for various conditions, findings and severities.
- To demonstrate competency in systematic performance of lung scanning, documenting, and reporting.

Z102-60

Lung Ultrasound Module



Screen Layout



1 - Ultrasound View

The ultrasound view includes the following:

- Real time ultrasound image.
- Scan depth and focal point depth indications.
- Image orientation marker.
- Elapsed procedure time.
- ECG trace.

Additional Features:

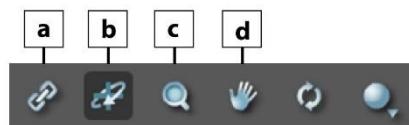
- a. **Shadows** - turns on/off the shadows resulting from bones and air.
- b. **Labels** - displays anatomy labels dynamically on the ultrasound image.
- c. **Examination decision tree** - displays the examination protocol decision tree instead of the 3D map.
- d. **Modes** - allows switching between 2D and M-mode.

Lung Ultrasound Module



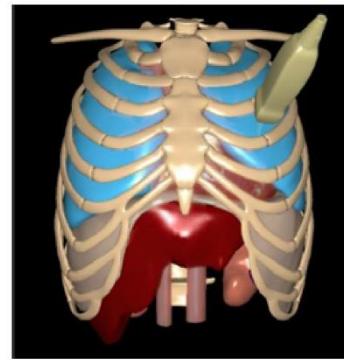
2 - 3D Map

The 3D Map provides an external visualization of the case's anatomy. It can be linked to the ultrasound probe or manipulated manually. Additionally the 3D map can be changed to display the BLUE and F-LUS protocols decision tree by using the 'examination decision tree' button as detailed in section 1.

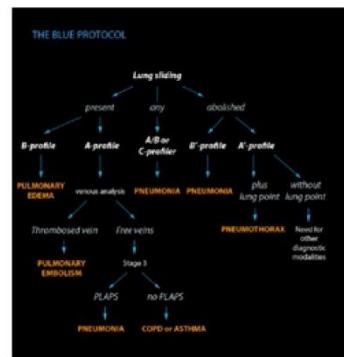


3D Map controls:

- Link/Unlink** – links the 3D Map to the ultrasound probe.
- Rotate** – rotates the 3D Map.
- Zoom** – zooms on the 3D Map.
- Pan** – pans the 3D map.
- Reset** – resets to initial configuration.
- Cross-section mode** – selects between three optional displays: front cut, rear cut, or whole anatomy.



BLUE protocol decision tree :



Lung Ultrasound Module

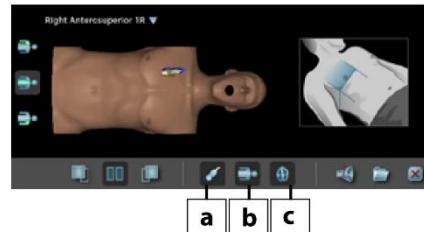


3 - Aids for Standard Views

Select the active standard view using the drop-down list. A suggested probe position and a schematic drawing of the scanning region will be shown accordingly. Upon starting the scan, the real probe will be dynamically displayed relative to the anatomy.

Aids controls:

- a. Probe** - turns suggested probe On/Off.
- b. External Map** – turns external map On/Off.
- c. Drawing** – turns schematic scanning region On/Off.

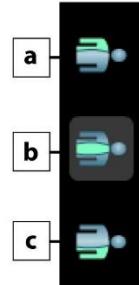


Lung Ultrasound Module



4 - Manikin scanning region change

- a. Right side scanning** – allows scanning of the right posterior and posterolateral areas when the manikin is in lateral position.
- b. Default/middle scanning** – allows scanning of the anterior and lateral areas when the manikin is lying on its back.
- c. Left side scanning** – allows scanning of the left posterior and posterolateral areas when the manikin is in lateral position.



Notes:

- Use caution when repositioning the manikin.
- Avoid using the probe in close proximity (under 3 cm) to the manikin transmitter located on the back.
- Do not position the manikin on the anterior side (lying face down).
- In order to prevent damage to the manikin, do not apply pressure on the manikin head when in lateral position.
- Restore the scanning region to the default/middle one once finished with the side scanning.

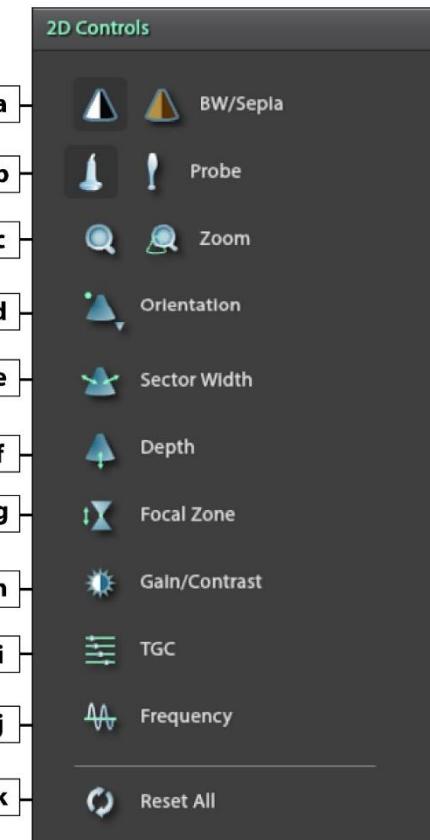
Z102-60

Lung Ultrasound Module



5 - Ultrasound (2D) Controls

- a. **Probe selection** – selects active probe.
- b. **B/W-Sepia** – selects ultrasound color scheme.
- c. **Zoom** – selects a region of interest on the ultrasound view and zooms in upon pressing 'Apply'.
- d. **Orientation** – changes the ultrasound image orientation.
- e. **Sector Width** – controls the sector width.
- f. **Depth** – controls the sector depth.
- g. **Focal Zone** – controls the focal zone depth.
- h. **Gain/contrast** – controls the overall gain and contrast.
- i. **TGC** – controls the gain for different depths.
- j. **Frequency** – controls the frequency.
- k. **Reset all** – resets to initial configuration.



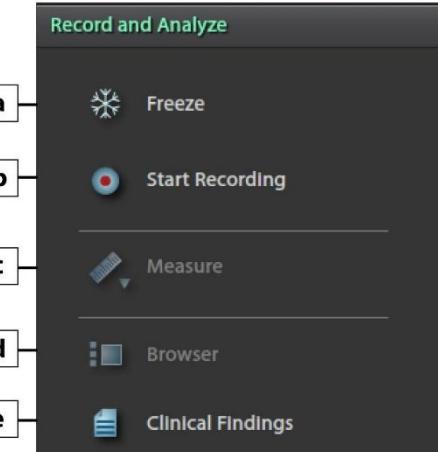
Lung Ultrasound Module



6 - Documentation

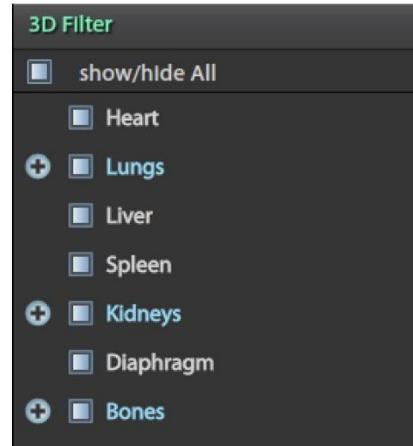
(Record and Analyze)

- a. **Freeze** – freezes the ultrasound image with the option to select a single frame, add measurements, and save the image.
- b. **Start Recording** – records the ultrasound images with the option to play, pause and save cine loop and 2D images.
- c. **Measure** – performs various measurements on a captured image.
- d. **Browser** – enables reviewing saved images and cine-loops.
- e. **Clinical Findings** – allows entering clinical findings and free text.



7 - 3D Filter

The 3D Filter allows control over the organs visualized on the 3D map.



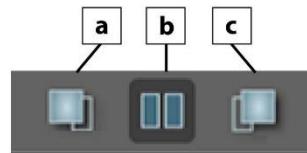
Z102-60

Lung Ultrasound Module



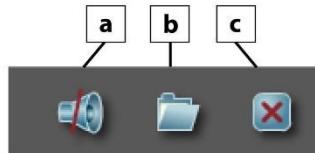
8 - Display Layouts

- a. **Procedure restricted mode** – full screen of ultrasound view and no educational aids.
- b. **Normal mode (default)** – split screen with ultrasound view, 3D Map, and optional educational aids.
- c. **Instructional mode** – full screen of the 3D Map.



9 - General Buttons

- a. **Mute** – turns sound On / Off.
- b. **Patient file** – opens the virtual patient file.
- c. **Exit** – ends the simulated case.



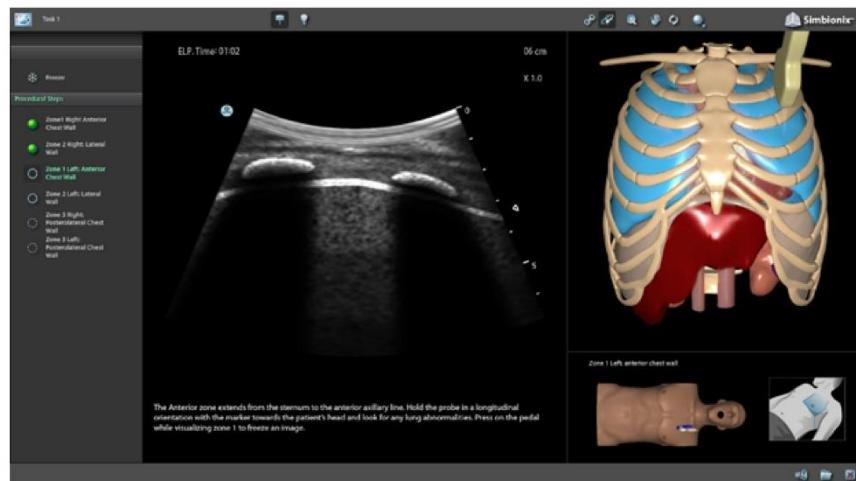
Lung Ultrasound Module



1

Task 1

Step-by-Step BLUE protocol - Educational environment



Goal

The purpose of this task is to follow a structured step-by-step workflow to demonstrate, understand and capture the BLUE protocol standard views.

Method

The trainee follows a structured step-by-step workflow of demonstrating and capturing the BLUE protocol standard views. The views in the task are based on Lung Ultrasound in the Critically Ill: The BLUE Protocol by Daniel A. Lichtenstein



1

Task 1

Step-by-Step BLUE protocol - Educational environment

Task Performance

In the left side of the screen, you will find a list of 6 scanning zones to be demonstrated in compliance with the BLUE protocol.

Upon selecting a view, textual instructions for probe maneuvering are displayed and a suggested probe position is indicated alongside a schematic drawing of the scanning zone.

Once the lung was scanned within a scanning zone, press the "Freeze" button or use the foot-switch to save an image.

The performed step will be marked green and you can select the next step by manual selection or using the foot-switch. The step will not be marked when the ultrasound image is too far from the expected image. Upon finishing, each captured image is analyzed, displaying the completeness of its acquisition, and compared to a 'represented image'.

Notes:

- The posterior and posterolateral zones are optional and require adjustment of the manikin to a lateral position.
- Avoid using the probe in close proximity (under 3 cm) to the manikin transmitter located on the back.
- Use caution when repositioning the manikin and if needed, use a pillow to support the manikin head.
- Do not position the manikin on the anterior side (lying face down).
- Using the decision tree button will display the protocol decision tree.

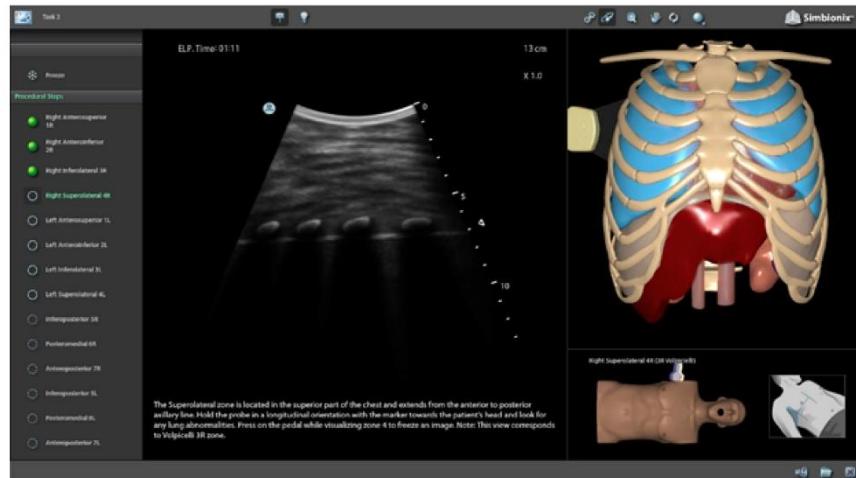
Lung Ultrasound Module



2

Task 2

Step-by-Step F-LUS protocol - Educational environment



Goal

The purpose of this task is to follow a structured step-by-step workflow to demonstrate, understand and capture the F-LUS protocol standard views.

Method

The trainee follows a structured step-by-step workflow of demonstrating and capturing the Focused lung ultrasound (F-LUS) protocol standard views. The views in the task are based on the ERS course in thoracic ultrasound.



2

Task 2

Step-by-Step F-LUS protocol - Educational environment

Task Performance

In the left region of the screen, you will find a list of 14 scanning zones to be demonstrated in compliance with the F-LUS protocol.

The protocol includes 8 anterior and lateral zones (similar to Volpicelli scanning zones) and 6 posterior zones.

Upon selecting a view, textual instructions for probe maneuvering are displayed and a suggested probe position is indicated alongside a schematic drawing of the scanning zone.

Once the lung was scanned within a scanning zone, press the "Freeze" button or use the foot-switch to save an image.

The performed step will be marked green and you can select the next step by manual selection or using the foot-switch. The step will not be marked when the ultrasound image is too far from the expected image. Upon finishing, each captured image is analyzed, displaying the completeness of its acquisition, and compared to a 'represented image'.

Notes:

- The posterior zones of the F-LUS protocol require adjustment of the manikin to a lateral position.
- Avoid using the probe in close proximity (under 3 cm) to the manikin transmitter located on the back.
- Use caution when repositioning the manikin and if needed, use a pillow to support the manikin head.
- Do not position the manikin on the anterior side (lying face down).
- Using the decision tree button will display the protocol decision tree.

Lung Ultrasound Module



3

Case 3

Patient History and Condition

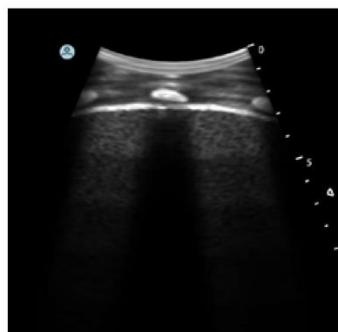
38 year old female, previously diagnosed with asthma, admitted to the emergency department due to progressive dyspnea and wheezing. No sputum production or fever. No chest pains or edema of the legs.

Physical examination findings:

- Blood pressure: 155/78 mmHg.
- Heart rate: 126 beats per minute.
- Respiratory rate: 36 breaths per minute.
- Saturation: 95% with 15L O₂ / minute given to patient using Venturi mask system.
- Prolonged expiration and wheezing present.
- Lung auscultation: Expiratory wheezing present bilaterally.
- Heart auscultation: No murmurs.

Case summary

This case presents a healthy patient with no significant abnormalities.



Z102-60

**4**

Case 4

Patient History and Condition

75 year old male smoker admitted to the emergency department due to respiratory failure. Patient has been experiencing progressive dyspnea within the last 6 days. Has had sputum production. No fever, chest pains or edema of the legs.

Upon admission, complained of shortness of breath and chest pains.

Physical examination findings:

- Blood pressure: 195/79 mmHg.
- Heart rate: 167 beats per minute.
- Respiratory rate: 38 breaths per minute.
- Saturation: 92% with 15l O₂ / minute given to patient using Venturi mask system.
- Lung auscultation: Wheezing and crepitation present bilaterally.
- Heart auscultation: Irregular heart rhythm.

Case summary

This case presents a patient suffering from pulmonary edema.

Severity customization to three distinct levels is available.



09-2017

Lung Ultrasound Module



5

Case 5

Patient History and Condition

25 year old male admitted to the emergency department after being injured while riding a bike.

Upon admission, complained of shortness of breath and chest pains.

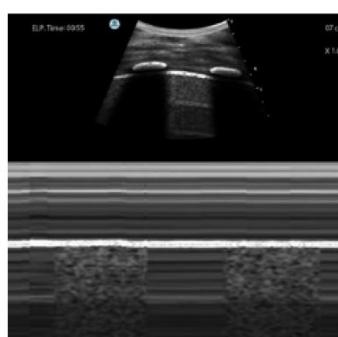
Physical examination findings:

- Blood pressure: 135/76 mmHg.
- Heart rate: 108 beats per minute.
- Respiratory rate: 30 breaths per minute.
- Saturation: 100% with 15L O₂ / minute given to patient using Venturi mask system.
- Patient seems anxious and in pain.
- Lung auscultation: Decreased breathing sounds on the right side of the chest.
- Heart auscultation: No murmurs, regular rhythm.

Case summary

This case presents a patient suffering from pneumothorax.

Severity customization to three distinct levels is available.



Z102-60



6

Case 6

Patient History and Condition

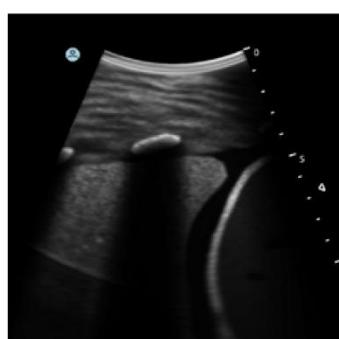
11 year old boy, admitted to the emergency department due to fever, dyspnea and cough with purulent sputum production. Symptoms began 5 days ago.

Physical examination findings:

- Blood pressure: 100/60 mmHg.
- Heart rate: 120 beats per minute.
- Respiratory rate: 30 breaths per minute.
- Saturation: 96%.
- Temperature: 38.8 C.
- Chest: No visible skin changes. No tender areas when chest is palpated.
- Lung auscultation: Bronchial breath sounds and crepitation on the right side.
- Heart auscultation: No murmurs, regular rhythm.

Case summary

This case presents a pediatric patient suffering from pneumonia.



09-2017



7

Case 7

Patient History and Condition

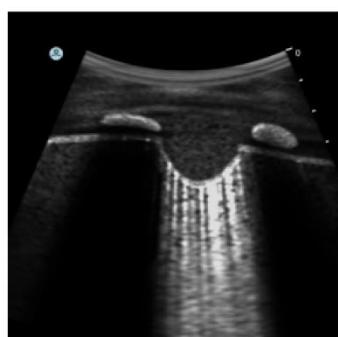
82 year old female smoker admitted to the emergency department due chest pain. Pain described as being "sharp as a knife". Has been present for 2-3 weeks, but the intensity has increased within the last couple of days. Has had some sputum production. No fever or edema. Minor weight loss.

Physical examination findings:

- Blood pressure: 108/58 mmHg.
- Heart rate: 67 beats per minute.
- Respiratory rate: 18 breaths per minute.
- Saturation: 92%.
- Chest: No visible skin changes. No tender areas when chest is palpated.
- Lung auscultation: Normal breathing sounds.
- Heart auscultation: No murmurs, regular rhythm.

Case summary

This case presents a patient with a suspected mass.



Z102-60



8

Case 8

Patient History and Condition

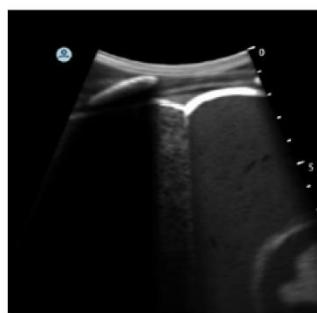
73 year old female smoker admitted to the emergency department due to respiratory failure. Patient has been experiencing progressive dyspnea within the last 2 weeks. Has had mild increase in sputum production. No fever, chest pains or edema of the legs. Previously diagnosed as having severe chronic obstructive pulmonary disease (COPD).

Physical examination findings:

- Blood pressure: 135/81 mmHg.
- Heart rate: 114 beats per minute.
- Respiratory rate: 35 breaths per minute.
- Saturation: 89% with 4l O₂ / minute given to patient using nasal-cannula.
- Unable to lie down due to respiratory distress.
- Lung auscultation: Reduced breath sounds bilaterally, rhonchi present on both sides.
- Heart auscultation: Regular heart rhythm, no murmurs, decreased LV function

Case summary

This case presents a patient suffering from COPD with bilateral diaphragmatic dysfunction.



09-2017

**9**

Case 9

Patient History and Condition

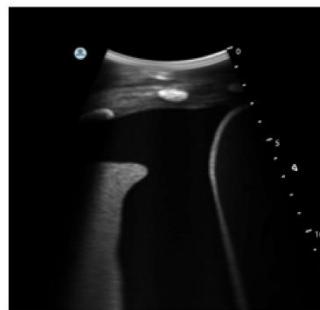
66 year old male smoker admitted to the intensive care unit 4 days ago due to septic shock. Patient was stabilized using antibiotics, aggressive fluid resuscitation and mechanical ventilation. Despite circulatory stabilization, mechanical ventilation is still needed and the fraction of inspired oxygen (FiO₂) has been increased in order to maintain satisfactory peripheral oxygen saturation.

Physical examination findings:

- Blood pressure: 104/65 mmHg.
- Heart rate: 87 beats per minute.
- Respiratory rate: 16 breaths per minute.
- Saturation: 92% with FiO₂ of 65%.
- Lung auscultation: Reduced breath sounds on right side.
- Heart auscultation: Regular heart rhythm, no murmurs.

Case summary

This case presents a patient suffering from Atelectasis.



7102-60



10

Case 10

Patient History and Condition

62 year old previously healthy male admitted to the emergency department after experiencing sudden illness and syncope. Subsequently dyspnea and nausea.

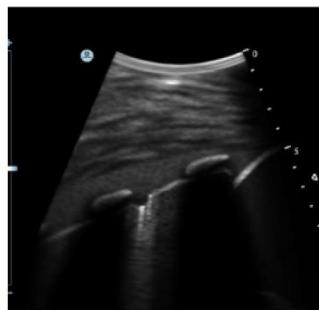
In the last week, has been experiencing an increased shortness of breath following a sprained ankle.

Physical examination findings:

- Blood pressure: 100/55 mmHg.
- Heart rate: 126 beats per minute.
- Respiratory rate: 26 breaths per minute.
- Saturation: 94% with 15l O₂ / minute given to patient using Venturi mask system.
- Lung auscultation: Normal breath sounds bilaterally.
- Heart auscultation: Regular heart rhythm, no murmurs.

Case summary

This case presents a patient with pulmonary embolism.



09-2017



11

Case 11

Patient History and Condition

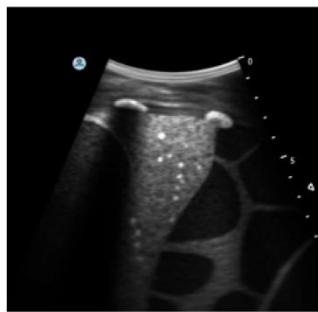
12 year old girl admitted to the emergency department due to fever, dyspnea and cough with purulent sputum production. Right-sided pleuritic chest pains were present initially, have since disappeared. Symptoms began 1 week ago.

Physical examination findings:

- Blood pressure: 100/60 mmHg.
- Heart rate: 120 beats per minute.
- Respiratory rate: 30 breaths per minute.
- Saturation: 96%.
- Temperature: 39.5 C.
- Chest: No visible skin changes. No tender areas when chest is palpated.
- Lung auscultation: Reduced breath sounds on right side.
- Heart auscultation: No murmurs, regular rhythm.

Case summary

This case presents a pediatric patient with empyema.



Z102-60



Introduction

This module includes procedural tasks and clinical cases for the training of lung examination. The Lung Module incorporates hands-on tasks and cases, accompanied by comprehensive educational aids. The procedural tasks are a guided step-by-step performance of examination protocols (BLUE and F-LUS) and of standard view acquisition and anatomy recognition on normal anatomy.

The clinical cases are aimed at training in both the technical and clinical aspects of the examination. The cases present realistic scenarios with different diagnostic complexities that assist in the recognition of various pathologies such as pneumothorax, pleural effusion, pneumonia, pulmonary edema and lung artifacts such as A lines, B lines, Z lines, lung sliding, lung point, etc.

The module allows training to the full extent of the examination and includes practicing of the various lung zones, documentation and clinical reporting in a full clinical environment and finally receiving an assessment of the performed examination.

In relevant cases, the user has the ability to select the severity of the pathologies from mild to severe.

For some views, repositioning of the manikin to a lateral position is needed:

- Use caution when repositioning the manikin.
- Avoid using the probe in close proximity (under 3 cm) to the manikin transmitter located on the back.
- Do not position the manikin on the anterior side (lying face down).
- In order to prevent damage to the manikin, do not apply pressure on the manikin head when in lateral position.

Consulted on the development of the module:

Christian B. Laursen, MD, Odense University hospital , Odense, Denmark

David Amponsah, MD, Henry Ford Hospital, Detroit, MI, USA

Lior Fuchs, MD, Soroka Medical center ,Be'erSheva, Israel

Michael S. Wagner, MD, University of South Carolina, Columbia, SC, USA

Annexe 3 : Fiche d'évaluation échographique des internes

UNIVERSITÉ D'ANGERS

FACULTÉ DE MÉDECINE

Fiche d'évaluation : MENTOR U/S Lung Module

Cas :

Urgentiste :

→ Nom :

→ Date :

→ Prénom :

I. Evaluation de la formation à l'échographie pulmonaire

	0	1	2
Maitrise du matériel (gain, clarté, profondeur)	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Maitrise du mode 2D et TM (temps mouvement)	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Analyse de l'ensemble des 3 zones d'intérêt par hémithorax	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Repérage présence/absence du glissement pleural	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Recherche présence/absence de lignes A	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Recherche présence/absence de lignes B	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Recherche présence/absence d'un épanchement pleural	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Recherche présence/absence de condensation alvéolaire	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Recherche présence/absence de point poumon	Médiocre	Moyenne	Parfaite
Recherche présence/absence de pouls pulmonaire	Difficulté	Intermédiaire	Aisance

Note /20

II. Hypothèse diagnostique

	Cocher
1 Pneumonie infectieuse	
2 Exacerbation de BPCO	
3 Crise d'asthme	
4 Insuffisance cardiaque aigüe	
5 Embolie pulmonaire	
6 Pneumothorax	
7 Autre	
8 ECHO NORMALE	

Préciser :

III. Pourcentage de certitude

	0 – 10%	10 – 20%	20 – 30%	30 – 40%	40 – 50%	50 – 60%	60 – 70%	70 – 80%	80 – 90%	90 – 100%
cocher										

IV. Temps de réalisation: _____ minutes

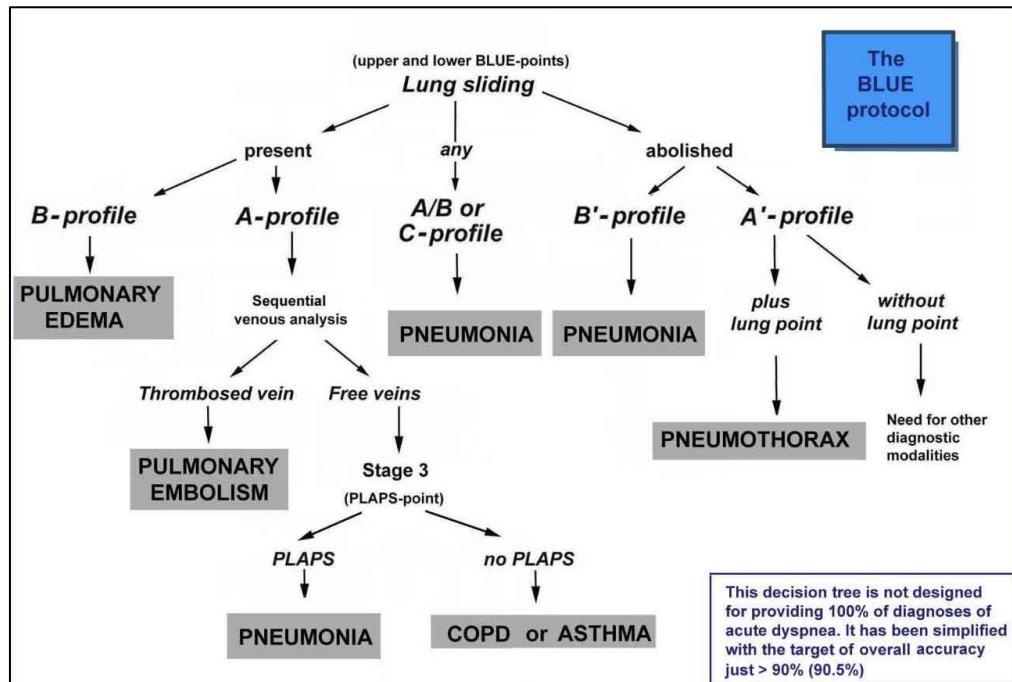
	0	1	2
Maitrise du matériel (gain, clarté, profondeur)	Médiocre ≥ 2 éléments suivants : - profondeur inadaptée trop importante - et/ou gain trop importants - et/ou fenétrage trop élevé ou trop réduit - et/ou mauvaise orientation de la sonde abdo - et/ou mauvaise sonde utilisée (sonde cardiaque ou haute fréquence)	Moyenne 1 seul élément suivant : - profondeur inadaptée trop importante - et/ou gain trop importants - et/ou fenétrage trop élevé ou trop réduit - et/ou mauvaise orientation de la sonde abdo - et/ou mauvaise sonde utilisée (sonde cardiaque ou haute fréquence)	Parfaite - image optimale en clarté - <u>et</u> en profondeur - <u>et</u> en gain - <u>et</u> fenétrage adapté
Maitrise du mode 2D et TM (temps mouvement) *EIC = espace Inter-costal	Médiocre ≥ 2 éléments suivants : - tir TM sur une cote - et/ou tir TM non perpendiculaire à la plèvre - et/ou tir TM non centré sur EIC	Moyenne 1 seul élément suivant : - tir TM sur une cote - et/ou tir TM non perpendiculaire à la plèvre - et/ou tir TM non centré sur EIC	Parfaite - tir TM parfaitement perpendiculaire - <u>et</u> centré sur EIC
Analyse de l'ensemble des 3 zones d'intérêt par hémithorax	Médiocre ≥ 2 éléments suivants : - absence d'analyse d'au moins une des 4 principales fenêtres (zones 1 et 2) - et/ou mauvais positionnement des zones - et/ou absence de recherche de zone 3 si profil normal - et/ou absence d'analyse bilatérale	Moyenne 1 seul élément suivant : - absence d'analyse d'au moins une des 4 principales fenêtres (zones 1 et 2) - et/ou mauvais positionnement des zones - et/ou absence de recherche de zone 3 si profil normal - et/ou absence d'analyse bilatérale	Parfaite Analyse parfaitement exécutée : - des 4 principales fenêtres (zones 1 et 2) - <u>et</u> localisation parfaite - <u>et</u> recherche de zone 3 selon algorithme si nécessité - <u>et</u> façon bilatérale
Repérage présence/absence du glissement pleural	Médiocre - pas de recherche de glissement pleural dans toutes les zones en mode 2D - (+/-) pas d'utilisation de TM si doute en mode 2D	Moyenne - recherche de glissement pleural en mode 2D dans toutes les zones - sans utilisation du mode TM si doute en mode 2D	Parfaite - recherche de glissement pleural en mode 2D dans toutes les zones - <u>et</u> utilisation du mode TM si doute en mode 2D
Recherche présence/absence de lignes A	Médiocre - pas de recherche de ligne A dans <u>plus</u> de 50% des 4 principales zones	Moyenne - pas de recherche de ligne A dans <u>moins</u> de 50% des 4 principales zones	Parfaite - recherche de ligne A dans toutes les zones

Recherche présence/absence de lignes B	Médiocre	Moyenne	Parfaite
	<p>Médiocre</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche de ligne B dans <u>plus</u> de 50% des 4 principales zones 	<p>Moyenne</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche de ligne B dans <u>moins</u> de 50% des 4 principales zones 	<p>Parfaite</p> <ul style="list-style-type: none"> - recherche de ligne B dans toutes les zones
Recherche présence/absence d'un épanchement pleural (EP)	<p>Médiocre</p> <p>≥ 2 éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche d'EP dans la zone 1 inférieure - pas de recherche d'EP dans la zone 2 inférieure - pas de recherche en zone 3 inférieure si profil AB sans arguments pour une thrombose veineuse profonde pulmonaire 	<p>Moyenne</p> <p>1 élément suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - recherche d'EP dans la zone 1 inférieure sans recherche en zone 2 - recherche d'EP dans la zone 2 inférieure sans recherche en zone 1 - pas de recherche en zone 3 inférieure si profil AB sans arguments pour une thrombose veineuse profonde 	<p>Parfaite</p> <p>Recherche d'EP dans les zones 1 inférieure et zone 2 inférieure et zone 3 inférieure si profil AB sans arguments pour une thrombose veineuse profonde</p>
Recherche présence/absence de condensation alvéolaire (CA)	<p>Médiocre</p> <p>≥ 2 éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche de CA dans la zone 1 - pas de recherche de CA dans la zone 2 inférieure - pas de recherche en zone 3 si profil AB sans arguments pour une thrombose veineuse profonde 	<p>Moyenne</p> <p>1 élément suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - recherche de CA dans la zone 1 sans recherche en zone 2 - recherche de CA dans la zone 2 inférieure sans recherche en zone 1 - pas de recherche en zone 3 si profil AB sans arguments pour une thrombose veineuse profonde 	<p>Parfaite</p> <p>Recherche correctement effectuée (shred sign, hépatisation pulmonaire, bronchogramme aérique) dans les territoires antérieurs (Zones 1 et 2) et recherche en zone 3 si profil AB sans arguments pour une thrombose veineuse profonde</p>
Recherche présence/absence de point poumon	<p>Médiocre</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche de point poumon dans <u>plus</u> de 50% des 4 principales zones (si doute sur glissement pleural et lignes A) 	<p>Moyenne</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche du point poumon dans <u>moins</u> de 50% des 4 principales zones (si doute sur glissement pleural et lignes A) 	<p>Parfaite</p> <ul style="list-style-type: none"> - recherche dans <u>toutes</u> les zones avec doute sur glissement pleural et lignes A
Recherche présence/absence de pouls pulmonaire	<p>Difficulté</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche de point poumon dans <u>plus</u> de 50% des 4 principales zones (si doute sur glissement pleural et lignes A et doute sur la présence d'un point poumon) 	<p>Intermédiaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de recherche du point poumon dans <u>moins</u> de 50% des 4 principales zones (si doute sur glissement pleural et lignes A et doute sur la présence d'un point poumon) 	<p>Aisance</p> <ul style="list-style-type: none"> - recherche dans <u>toutes</u> les zones avec doute sur glissement pleural et lignes A et doute sur la présence d'un point poumon

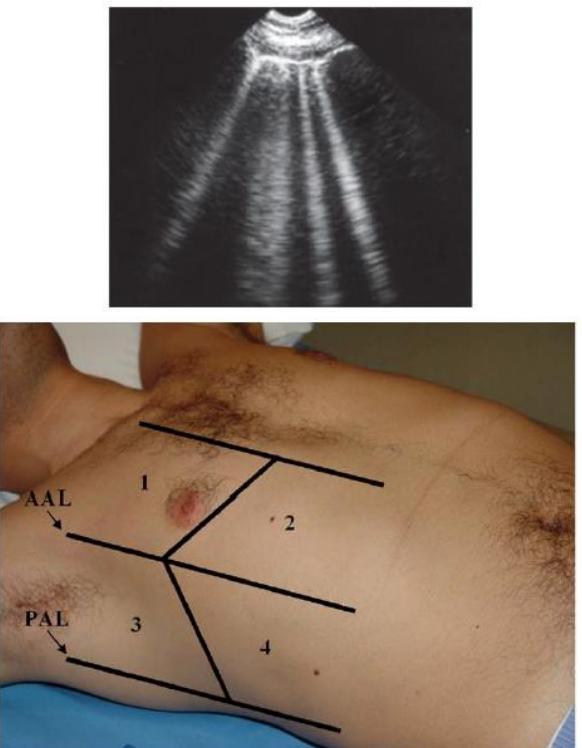
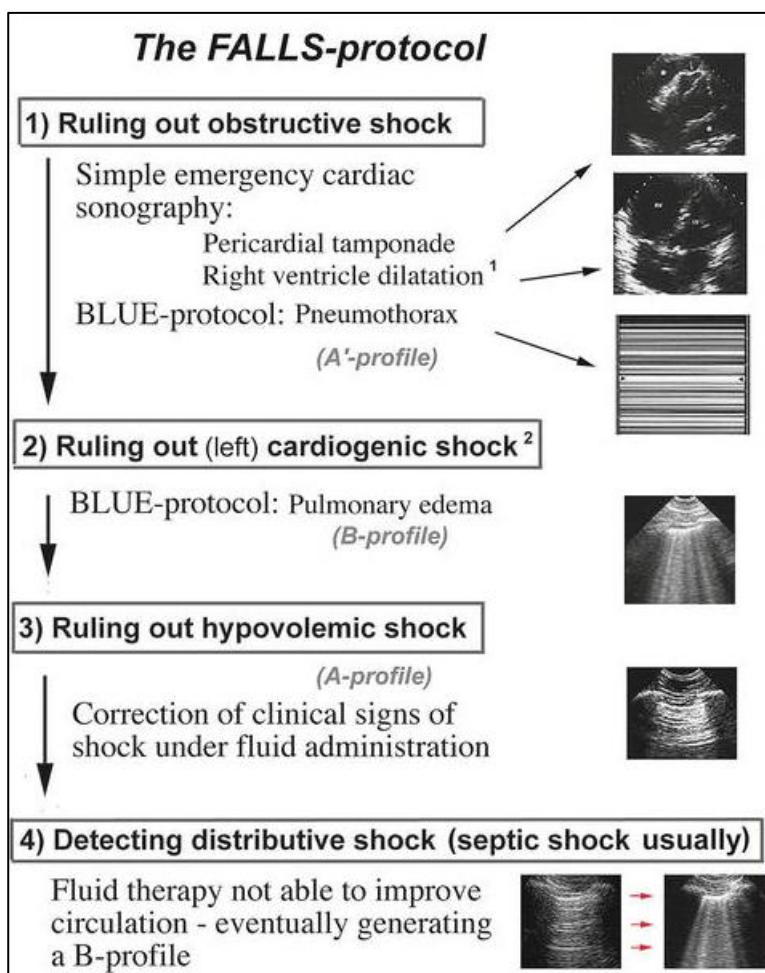
Annexe 4 : Fiche de suivi dématérialisée des internes du bras « Box »

B	C	D	E	F
 DMU Angers	Fiche de suivi - Bras BOX	Prénom	NOM	EPP* = échographie pleuro-pulmonaire
Date de réalisation	Diagnostic suspecté avant EPP*	Diagnostic suspecté après EPP*	Diagnostic retenu au sortir du SAU	Médecin seniorisant l'examen
19/06/2019	OAP ou BPCO	OAP	OAP	Dr.xxxxxxxx
22/06/2019	Pneumopathie infectieuse	Pneumopathie infectieuse	Pneumopathie infectieuse	Dr.xxxxxxxx
12/07/2019	OAP	Pneumopathie infectieuse	Pneumopathie infectieuse	Dr.xxxxxxxx
20/07/2019	Asthme	Pneumothorax	Pneumothorax	Dr.xxxxxxxx
03/08/2019	Embolie pulmonaire	Crise d'asthme	Embolie pulmonaire	Dr.xxxxxxxx

Annexe 5 : BLUE-Protocol, FALLS-Protocol et Méthode de Volpicelli



Arbre décisionnel du **BLUE-Protocol** selon Lichtenstein



Méthode de Volpicelli : diagnostic d'œdème interstitiel posé si présence d'au moins 2 lignes B dans une de ces 4 zones de façon bilatérale

Arbre décisionnel du **FALLS-Protocol**

Annexe 6 : Tests statistiques utilisés dans notre étude

1) Test de Student de comparaison de moyennes pour données appariées

Ce test permet de comparer deux mesures d'une variable quantitative effectuées sur les mêmes sujets (mesures définies par les modalités de la variable qualitative). Ce test traite les deux échantillons appariés comme un seul échantillon sur lequel on aurait mesuré la différence $|d|$ entre les deux mesures.

Exple : ici on utilise ce test pour comparer les données entre les évaluations sur un même bras d'apprentissage (simulateur ou box)

Hypothèses statistiques :

H_0 : la moyenne « vraie » de d est nulle ($= 0$)

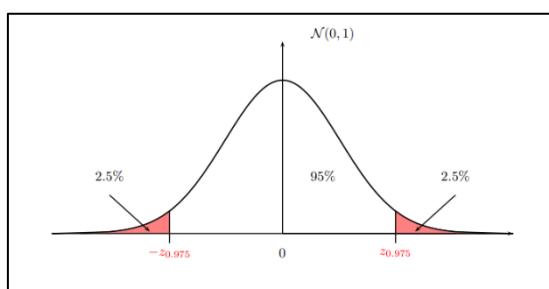
H_1 : la moyenne « vraie » de d est non nulle ($\neq 0$)

Paramètre :

$$Z = \frac{M_{nd}}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}} \quad \text{où } s^2 \text{ est la variance observée des différences, soit } s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - m_d)^2$$

n est le nombre de paires, M_{nd} est la variable aléatoire moyenne arithmétique des différences et m_d est la moyenne observée des différences

On montre que Z est à peu près distribuée selon $N(0,1)$ et on choisit un risque α de première espèce (généralement 5%), cad le risque de mettre en évidence une différence qui n'existe pas



Calcul de la p-value :

$$P(Z > |z|) = 2P(Z > z) = 2 \times P(Z > 10) \approx 0$$

Interprétation :

- Si p-value < 0,05 → on rejette H_0 et accepte H_1 , on montre une différence significative de moyenne
- Si p-value > 0,05 → on accepte H_0 et rejette H_1 , on montre une différence significative de moyenne

Test non paramétrique d'égalité de deux distributions (ou test de comparaison de deux distributions observées) pour des échantillons de faible taille ($n < 10$) : Test U de Mann-Whitney-Wilcoxon

Ce test est utilisé lorsqu'il faut décider si deux groupes indépendants sont issus de la même population. Les groupes peuvent avoir des nombres d'observation différents.

Exple : ici pour comparer des données quantitatives entre les deux bras, qui ne sont donc pas appariés.

Hypothèses diagnostiques :

H_0 = la distribution de la variable quantitative est la même dans les deux groupes

H_1 = la distribution de la variable quantitative est différente dans les deux groupes

Paramètre :

On ordonne dans chaque population par ordre croissant les valeurs observées après réalisation de l'expérience. On attribue aux éventuels ex-aequo un rang commun égal à la moyenne des rangs qu'ils occupent.

On calcule ensuite la somme des rangs de classements occupés par les données issues de l'échantillon de la population A (box ici) S_A et de la population B (simulateur ici) S_B .

$$S_A = \sum_{i=n_B+1}^{n_A+n_B} \quad S_B = \sum_{i=n_A+1}^{n_A+n_B}$$

Le paramètre du test est U avec :

$$U_A = S_A - \frac{n_A(n_A+1)}{2} \quad \text{et} \quad U_B = S_B - \frac{n_B(n_B+1)}{2}$$

$$U = \min(U_A, U_B)$$

On utilise ensuite la table spécifique de Mann-Whitney-Wilcoxon pour déterminer le U_{lim}

Interprétation des résultats :

- Si $U > U_{lim} \rightarrow$ non-rejet de H_0 et rejet de H_1 : il n'existe pas de différence significative de distribution entre les deux groupes
- Si $U < U_{lim} \rightarrow$ rejet de H_0 et non-rejet de H_1 : il existe une différence significative de distribution entre les deux groupes

Test non-paramétrique sur k échantillons indépendants : test de Kruskall Wallis :

Le test de Kruskal-Wallis est un test non paramétrique à utiliser en présence de k échantillons indépendants, afin de déterminer si les échantillons proviennent d'une même population ou si au moins un échantillon provient d'une population différente des autres.

Le test de Kruskal-Wallis est souvent utilisé comme une alternative à l'ANOVA (Analyse of Variance) dans le cas où l'hypothèse de normalité n'est pas acceptable. Il permet de tester si k échantillons ($k > 2$) proviennent de la même population, ou de populations ayant des caractéristiques identiques, au sens d'un paramètre de position (le paramètre de position est conceptuellement proche de la médiane, mais le test de Kruskal-Wallis prend en compte plus d'information que la position au seul sens de la médiane).

Exple : nous utilisons ici le test de Kruskall Wallis afin de comparer les box-plot de distributions pour l'analyse des courbes d'apprentissage

Si on désigne par M_i le paramètre de position l'échantillon i , les hypothèses nulle H_0 et alternative H_1 du test de Kruskal-Wallis sont les suivantes :

$$H_0 : M_1 = M_2 = \dots = M_k$$

$$H_1 : \text{il existe au moins un couple } (i, j) \text{ tel que } M_i \neq M_j$$

Le calcul de la statistique K du test de Kruskal-Wallis fait intervenir comme pour le test de Mann-Whitney le rang des observations, une fois les k échantillons (ou groupes) mélangés. K est défini par :

$$K = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k n_i (w_i - w)^2 \sim \chi^2_{k-1}$$

Calcul de la p-value au risque α de première espèce choisit :

- Si p-value < 0,05 : on rejette H_0 (et accepte H_1) : il existe une différence significative entre les k échantillons indépendants
- Si p-value > 0,05 : on accepte H_0 (et rejette H_1) : il n'existe pas de différence significative entre les k échantillons indépendants

Le **test post-hoc de Dunn-Bonferroni** permet ensuite de comparer les k échantillons deux à deux afin de déterminer quelles sont les échantillons statistiquement différents entre eux et faisant que la comparaison globale par le test de Kruskall-Wallis montre une différence significative entre les k échantillons

Chaque comparaison de deux échantillons entre eux possède une p-value avec :

- Si p-value < 0,05 : on rejette H_0 (et accepte H_1) : il existe une différence significative entre les 2 échantillons indépendants testés (parmi les k échantillons globaux).
- Si p-value > 0,05 : on accepte H_0 (et rejette H_1) : il n'existe pas de différence significative entre les 2 échantillons indépendants (parmi les k échantillons globaux).

SERMENT D'HIPPOCRATE

« Au moment d'être admise 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'informerais 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 les 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. Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Recue 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 déshonorée et méprisée si j'y manque.

RÉSUMÉ/ABSTRACT

RÉSUMÉ

MORIN François

Apprentissage de l'échographie pleuro-pulmonaire dans la dyspnée aiguë : comparaison de deux stratégies pédagogiques. Étude COMPUS

INTRODUCTION : La prise en charge diagnostique de la dyspnée aiguë aux urgences est complexe et repose sur de multiples outils paracliniques. L'échographie pleuropulmonaire est quotidiennement utilisée et enseignée aux nouvelles générations d'urgentistes sur patient sain et au lit du malade. L'enseignement par simulateur échographique semble être une alternative prometteuse mais est sous-utilisé. L'objectif de ce travail est de comparer deux stratégies d'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire dans la prise en charge diagnostique de la dyspnée aiguë : un apprentissage sur simulateur électronique versus un apprentissage sur patient.

MATÉRIELS ET MÉTHODES : Cette étude descriptive a inclus vingt internes de DESMU et DESCNU. Ils ont bénéficié d'une formation commune multimodale puis ont été évalués sur un même cas de simulation. Puis 10 internes ont suivi un apprentissage sur simulateur électronique et 10 internes par compagnonnage au lit du malade. Ils étaient ensuite évalués à 2 mois puis 3 mois (ancrage) de leurs formations spécifiques. Une note de compétence échographique, un pourcentage de certitude et un temps de réalisation sont obtenus à chaque évaluations.

RÉSULTATS : L'apprentissage sur simulateur permet une meilleure recherche d'images de référence avec une progression médiane des notes supérieure à 2 mois (p -value 0,048). Les notes sont supérieures à 2 mois (p -value 0,076) et à 3 mois (p -value 0,042). Nous n'avons pas mis en évidence de gain de temps de réalisation ni d'amélioration significative de la confiance par apprentissage électronique. Le simulateur permet une progression plus rapide des notes à la phase initiale mais des courbes d'apprentissage des temps et certitudes comparables au bras compagnonnage.

CONCLUSION : L'apprentissage de l'échographie pleuropulmonaire par simulateur permet le développement rapide de meilleures compétences échographiques chez les internes de médecine d'urgence par rapport à un apprentissage par compagnonnage aux urgences, sans que nous n'ayons pu montrer de différences statistiquement significatives sur le temps de réalisation échographique ou le pourcentage de certitude diagnostique. De plus le simulateur épargne du temps formateur et permet une formation plus rapide. La démocratisation de cet outil novateur semble nécessaire.

Mots-clés : Simulateur, Echographie, Pleuropulmonaire, Apprentissage, Interne, Dyspnée

Lung ultrasound learning in acute dyspnea: comparison of two learning strategies. COMPUS study

ABSTRACT

BACKGROUND: Diagnostic management of acute dyspnea in emergency department is complex and relies on many paraclinical tools. Lung ultrasound is daily used and taught to emergency medical practitioner students. This learning is based on healthy patients or in patients' beds. Ultrasound simulator training seems to be a good alternative but always underutilized. The aim of this study is to compare two lung ultrasound learning strategies in diagnostic management: electronic simulator learning versus patient learning

METHODS: This descriptive study included twenty DESC and DESMU emergency students. They benefited from a common multimodal training and were evaluated on the same case of simulation. Then ten students followed an electronic simulator training and ten students a companionship training over real patients. They were evaluated at 2 and 3 months (anchorage) after the beginning of their initial specific learnings. An ultrasound score, a certainty percentage and a realization's time were obtained for each evaluation.

RESULTS: Simulator learning allows a better search for reference images with a superior median progression of ultrasound scores at two months (p -value 0,048). Scores are superiors at 2 months (p -value 0,076) and 3 months (p -value 0,042). We did not demonstrate any time decrease or significant improvement in certainty percentage. The simulator allows a faster progression of notes in the initial phase but time learning curves and certainties curves comparable to the companionship learning.

CONCLUSION: Lung ultrasound training by electronic simulator allows the rapid development of better ultrasound skills to emergency medical practitioner students compared to companionship learning in emergency department, without being able to show statistically significant differences in realization's time and certainty percentage. Moreover, the simulator saves trainer time and allows faster training. The democratization of this innovative tool seems necessary.

Keywords: Simulator, Ultrasound, Lung, Learning, Medical students, dyspnea

