



HAL
open science

Utilisation de l'échographie pulmonaire au bloc opératoire comme outil limitant le remplissage vasculaire

Céline Yee-Olive

► **To cite this version:**

Céline Yee-Olive. Utilisation de l'échographie pulmonaire au bloc opératoire comme outil limitant le remplissage vasculaire. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02371155

HAL Id: dumas-02371155

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02371155>

Submitted on 19 Nov 2019

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

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

**UTILISATION DE L'ECHOGRAPHIE PULMONAIRE
AU BLOC OPERATOIRE
COMME OUTIL LIMITANT LE REMPLISSAGE VASCULAIRE.**

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE (DIPLOME D'ÉTAT)
SPÉCIALITÉ ANESTHÉSIE-RÉANIMATION
PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT
LE VENDREDI 13 SEPTEMBRE 2019
PAR
Céline YEE-OLIVE

PRÉSIDENT DU JURY : **Monsieur le Professeur Hervé DUPONT**

MEMBRES DU JURY : **Monsieur le Professeur Emmanuel LORNE**
Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUR
Monsieur le Professeur Charles SABBAGH

DIRECTEUR DE THÈSE : **Monsieur le Docteur Stéphane BAR**

A mon maître et président du jury,

Monsieur le Professeur Hervé DUPONT

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

(Anesthésie-Réanimation)

Assesseur du 2ème cycle

Chef du service de Réanimation Polyvalente

Chef du Pôle Anesthésie-Réanimations

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse.

Je vous remercie pour la qualité de l'enseignement en Anesthésie-Réanimation dont j'ai pu bénéficier tout au long de mon cursus.

Veillez trouver, par ce travail, le témoignage de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A mon maître,

Monsieur le Professeur Emmanuel LORNE

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

(Anesthésie-Réanimation)

Chef du Service d'Anesthésie

Co-Chef du pôle bloc opératoire

Vous me faites l'honneur de juger cette thèse.

Merci pour l'enseignement théorique et pratique que vous m'avez transmis au bloc opératoire.

Veillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance et de mon respect.

A mon maître,

Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUR

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
(Anesthésie-Réanimation)

Vous me faites l'honneur de juger cette thèse.

Quel regret de ne pas avoir pu travailler à vos côtés en tant qu'interne.

Vos enseignements théoriques sont une source de motivation.

Soyez assuré de mon profond respect.

A mon maître,

Monsieur le Professeur Charles SABBAGH

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

(Chirurgie digestive)

Je vous suis très reconnaissante d'avoir accepté de juger ce travail.

Soyez assuré de ma gratitude et de mon profond respect.

A mon maître et directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Stéphane BAR

Praticien Hospitalier

(Anesthésie)

Merci de m'avoir encadrée et fait confiance pour ce travail.

Je t'en suis profondément reconnaissante.

Tes conseils et tes encouragements m'ont été très précieux.

Tu as su m'apporter la rigueur nécessaire à la réalisation de ce travail.

Sois assuré de mon profond respect et de ma réelle sympathie.

Remerciements

À ma famille :

À l'amour de ma vie, Antoine, mon Babychou, merci pour ton amour et ton soutien indéfectible, surtout dans les moments difficiles. Tu fais de moi une femme comblée et heureuse au quotidien.

À mes parents, merci pour vos encouragements et tous les sacrifices auxquels vous avez consentis pour mon éducation et mon bien-être.

À mes grands-parents, merci pour votre amour, j'adore tes bons petits plats PôPô.

À mes frères, Michaël et Christophe, je ne vous dis pas assez que je vous aime.

À mes beaux-parents, Cathy et Bruno, merci de m'avoir accueillie dans votre superbe famille.

À mes beaux-frères, Hadrien et Madud, hâte de repartir aux Philippines avec mes banditos.

À ma cousine adorée, Oy, tu es la sœur que je n'ai jamais eue.

À mes amis :

Caro (Chiwawa), tu es la meilleure cuisinière que je connaisse, c'est la gratuité chez toi ! Je t'ai connue ado, tu es maintenant une maman épanouie. Mon petit Hugo (Bichoux Bichoux) je t'aime à la folie même si tu es un petit monstre parfois. Et mon JH adoré, tu es un mec en or, comment tu fais pour la supporter tous les jours :)

Kait-yi (Kiwi), tu es une femme aussi belle à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Nadège, tu es tellement généreuse.

La famille Mak : Yvette (cacahuète) mon alcoolique préférée mdr, Catherine la plus jolie des Mak et Alex, faut vite qu'on te trouve une femme sinon ta mère elle va criser haha.

Anna, la petite dernière de la bande, tu es une femme pleine de valeurs pour ton âge, respect.

Aurélie et Amara, je suis tellement contente de vous avoir connus grâce à l'autre folle de Caro. Hâte de voir la petite Maylie, elle va atterrir dans une bonne famille.

À Manu et Mathou, Max et Hannah, Aladin et Joy, Jéjé et Cynthia, Charlie, mes frères de cœur, tellement drôle de passer des soirées avec vous. Je vous love.

À mes co-internes :

Élo, ma confidente, tu es tellement gentille et jolie, tu feras un excellent médecin, je n'en doute pas.

Pierre, mon crossfiteur, hâte de célébrer ton union avec Guillaume.

Lolo, je t'adore, tu me fais tellement rire.

Dimitri et Clément, les bogoss de la promo.

Guigui, notre nounours à nous.

Lucie, il s'en ai passé du chemin depuis notre rencontre en première année à Beauvais ! Tu feras une excellente maman.

Alexandre, faut absolument que je teste le wakeboard avant de quitter la Picardie !

Matthieu, le comique de la promo.

Davidou, le poisseux de la promo, tu en aura vu des vertes et des pas mûres durant tes gardes !

Chloé et Mag, j'adooooooooooore échanger mes potins avec vous autour d'un café. Ne changez pas !

Lina, la plus douce et gentille des co-internes.

Marlène, tu es une fille brillante.

Marine, tellement gentille et serviable.

Amaury, le chef des internes qui fait régner l'ordre :)

Léo, j'aimerais manger aussi sainement que toi.

Medhi, Matthieu et Mario, notre stage en réa chir m'ont appris à ne pas regarder n'importe où, sous peine de se prendre une raclée.

Julie, ta perspicacité est inégalable.

Fatim, Sophie et Sarah, les bellissimas.

Rima, j'ai adoré mon semestre à Creil avec toi.

A tous ceux que je n'ai pas cité mais que j'estime également.

A tous mes co-internes, merci pour tous ces moments partagés en stage, en garde ou à l'internat, mes 5 ans à Amiens seront inoubliables grâce à vous.

À mes chefs :

Marie-Anaïs et Romain, nos discussions tant personnelles que professionnelles lors de nos covoiturages vont me manquer.

Caro, tu as fini ton internat mais notre amitié perdurera.

Matthieu, merci pour ton aide sur la rédaction de cette thèse.

Florent et Pierre-Yves, votre passion pour l'enseignement est admirable.

Claire, Louise et Kahina, merci pour votre gentillesse et vos conseils.

Arnaud, merci de m'avoir rassurée lors de mes premières gardes de chef à Creil.

Julien, profite bien de ta nouvelle vie en Polynésie.

Jérémie, tu es un médecin formidable.

Merci aux médecins de Beauvais (Faïza, Amélie, Amine, Romain, Nath, Cécile) et de Creil (Estelle, Catherine, Hedia, Brice, Romain, Jean-Marie), vous m'avez connu bébé interne.

Aux équipes paramédicales :

Aux IADES de Beauvais et d'Amiens, merci de m'avoir tant appris. Vous m'avez vu grandir aux fur-et-à-mesure des semestres. Spéciale dédicace aux IADES du module 2, merci de m'avoir permis d'inclure autant de patient de chirurgie digestive.

Aux infirmières de réanimation CTV, de réa chir et de réa Beauvais, merci pour votre accueil et votre bonne humeur en toutes circonstances.

À Gabrielle et aux secrétaires de CPA, merci pour votre gentillesse et votre disponibilité.

Table des matières

Liste des abréviations.....	19
Introduction.....	21
Matériel et Méthodes	23
Résultats.....	31
Discussion.....	41
Conclusion	47
Bibliographie.....	48
Annexe.....	51
Résumé.....	52

Liste des abréviations

AIVOC	Anesthésie intraveineuse à objectif de concentration
ASA	American Society of Anesthesiology
ASC	Aire sous la courbe
BNP	Brain natriuretic peptide
CO₂	Dioxyde de carbone
CPP	Comité de protection des personnes
DO	Doppler œsophagien
FALLS protocol	Fluid administration limited by lung sonography
GDT	Goal-directed therapy
IMC	Indice de masse corporelle
PaO₂/FiO₂	Pression partielle en oxygène/Fraction inspiratoire en oxygène
PAS	Pression artérielle systolique
PAM	Pression artérielle moyenne
PAD	Pression artérielle diastolique
PAPO	Pression artérielle pulmonaire d'occlusion
PEEP	Pression télé-expiratoire positive
SDRA	syndrome de détresse respiratoire aigu
SFAR	Société Française d'Anesthésie et de Réanimation
VES	Volume d'éjection systolique
VPP	Variation de pression pulsée

Introduction

Depuis de nombreuses années, de nombreux travaux ont institué le concept de « goal-directed therapy » (GDT) dans le cadre de l'optimisation hémodynamique des patients au cours d'une chirurgie à haut risque (1–3). Le principe de cette démarche est l'utilisation précoce de différentes thérapeutiques (expansion volémique, transfusion en dérivés sanguins, amines vasopressives, inotropes) afin d'atteindre des objectifs hémodynamiques prédéfinis (pression artérielle, débit cardiaque, saturation veineuse centrale en oxygène...). La recommandation formalisée d'expert de la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (SFAR) préconise de guider le remplissage vasculaire par la mesure du volume d'éjection systolique (VES) chez les patients chirurgicaux considérés à haut risque. Le remplissage vasculaire étant poursuivi en cas de précharge dépendance et arrêté en cas d'apparition d'une précharge indépendance. L'application de cette recommandation a permis de diminuer la morbidité post-opératoire, la durée de séjour hospitalier et le délai de reprise d'une alimentation orale (4).

La supériorité de l'utilisation de la GDT est maintenant remise en cause (5) et les indices prédictifs de la réponse au remplissage vasculaire (statiques et dynamiques) possèdent de nombreuses limites. Aucun des moniteurs de mesure du débit cardiaque ou des indices de précharge dépendance n'est la méthode de référence pour une utilisation peropératoire (6).

Le poumon a longtemps été considéré comme inexplorable en échographie du fait de sa composition majoritairement aérique. Cependant, par l'étude d'artefacts, depuis une vingtaine d'années, l'échographie pulmonaire connaît un essor, notamment en cardiologie (7,8), en néphrologie (9) et en réanimation (10).

Par analogie aux lignes B radiologiques, les lignes B échographiques proviennent d'un phénomène de réverbération des ultrasons sur les septas inter lobulaires sous-pleuraux épaissis par l'œdème (11–13). Le FALLS protocole (Fluid Administration Limited by Lung Sonography), décrit par Lichtenstein et al., est défini comme la visualisation de nouvelles lignes B au cours d'une épreuve de remplissage vasculaire. Si une ligne B apparaît sur une zone où celle-ci n'était pas présente, au cours du remplissage vasculaire, le diagnostic le plus probable est une surcharge hydrostatique du septum interstitiel sous-pleural (14,15). Cette apparition de lignes B a lieu à un stade infra-clinique (16).

Les avantages de l'échographie pulmonaire sont le caractère non irradiant, non invasif, la rapidité de l'examen (quelques minutes), la courbe d'apprentissage rapide (12,17) et la faible variabilité intra-observateur et inter-observateur (respectivement moins de 5% et moins de 10%) (18,19).

Ainsi, l'utilisation de cet outil simple pourrait permettre une évaluation en temps réel du remplissage vasculaire et de sa tolérance durant la période peropératoire.

L'objectif principal de l'étude était d'étudier la relation entre l'apparition de nouvelles lignes B en échographie pulmonaire et l'apparition d'une précharge indépendante au décours d'une épreuve de remplissage vasculaire au bloc opératoire.

L'objectif secondaire était d'étudier la relation entre l'apparition de nouvelles lignes B en fin d'intervention et l'apparition de complications respiratoires postopératoires.

Matériel et méthodes

Éthique

Cette étude a obtenu un avis favorable auprès du Comité de Protection des Personnes (CPP) du Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière sous la référence PI2017_843_0018.

Le consentement écrit et signé des patients ou d'un de leurs proches était recueilli, après information orale et écrite.

Patients

Il s'agissait d'une étude observationnelle, prospective et monocentrique au sein du bloc opératoire du centre hospitalo-universitaire d'Amiens. La période d'inclusion s'est déroulée de mai 2018 à juillet 2019.

Les critères d'inclusion étaient les patients majeurs bénéficiant d'une intervention de chirurgie digestive, urologique ou gynécologique, nécessitant une optimisation hémodynamique peropératoire avec titration du remplissage vasculaire, et ayant signé le formulaire de consentement.

Les critères de non-inclusion étaient les patients mineurs, sous tutelle, curatelle ou sauvegarde de justice, les femmes enceintes, la pauvre échogénicité du fait de la présence d'une barrière acoustique (pneumothorax, emphysème sous-cutané, calcifications pleurales, pansement thoracique, éclats de balle de fusil...) (11), les patients présentant une pathologie pulmonaire aiguë (pneumopathie) ou chronique (syndrome interstitiel, fibrose pulmonaire) connue ou les patients ayant refusé de signer le formulaire de consentement.

Les critères d'exclusion étaient les patients décédés, l'impossibilité d'acquisition d'un signal de doppler œsophagien satisfaisant ou la non-faisabilité de l'échographie pulmonaire et les patients ayant retiré leur consentement.

Monitoring par doppler œsophagien

Une sonde DP240 était connectée à un moniteur CardioQ-ODM™ modèle n° 9051-20366 (Deltex Medical, Chichester, UK) distribué par Gamida. La sonde de Doppler œsophagien (DO) est constituée de 2 cristaux piézoélectriques disposés à un angle fixe de 45° par rapport à l'axe de la sonde. Les données anthropométriques du patient (âge, poids, taille et sexe) étaient programmées dans l'appareil et la sonde de DO était mise en place par voie orale ou nasale (la voie orale étant toujours privilégiée en cas de traumatisme crânien). La position de la sonde était optimisée de manière à ce que le meilleur signal Doppler du flux sanguin dans l'aorte descendante alliant vitesse maximale, aspect de flux laminaire et stabilité du signal soit enregistré. Le moniteur était ensuite paramétré pour un affichage du VES. Le VES étant calculé par le produit de l'intégral temps vitesse des érythrocytes au niveau de l'aorte thoracique descendante par la surface aortique estimée au moyen d'abaques en fonction de l'âge, du poids, de la taille et du sexe du patient. Le recueil des VES était moyenné sur 5 cycles cardiaques.

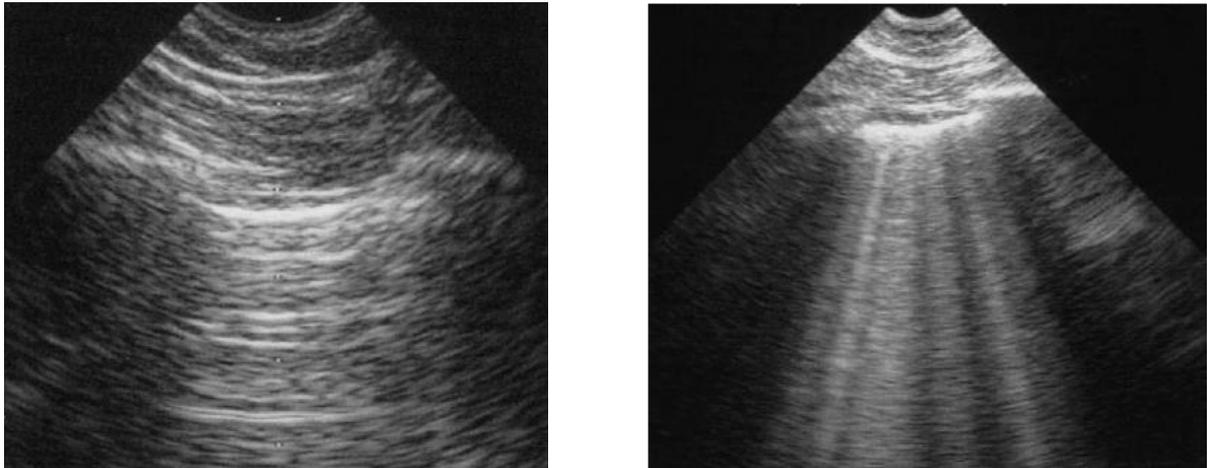
Échographie pulmonaire

L'échographie pulmonaire était réalisée à l'aide d'un échographe iE33™ de marque Philips® (Philips Medical System, Suresnes, France) et d'une sonde cardiaque S5-1™ large bande, sectorielle, de 1 à 5 MHz, de marque Philips® (Philips Medical System, Suresnes, France).

D'après les recommandations internationales de mise au point en échographie pulmonaire publiée en 2012 (12), les artefacts suivants ont été décrits :

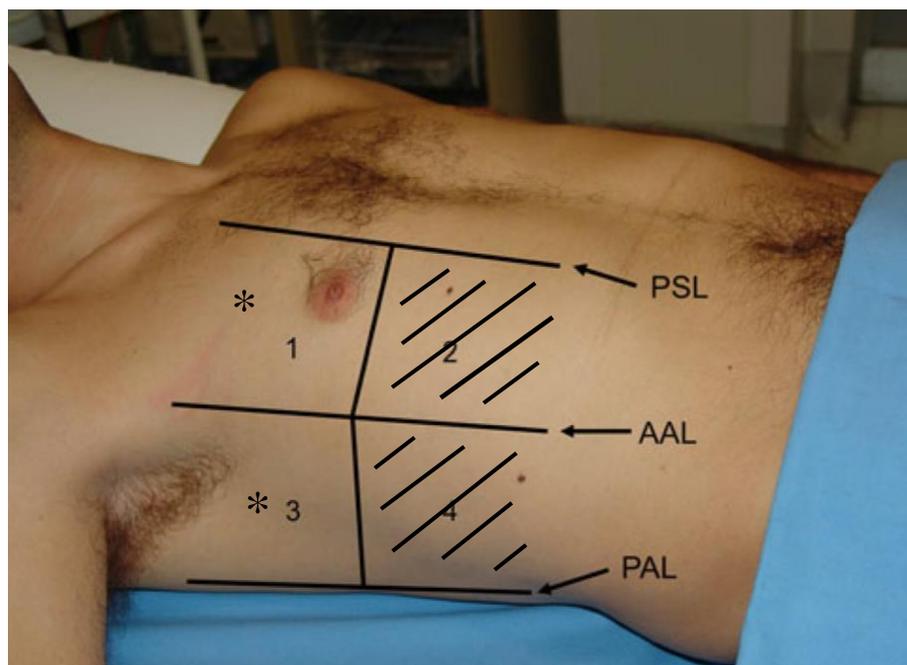
- Les lignes A correspondaient à des artefacts normaux, horizontaux, équidistants, parallèles à la ligne pleurale (classique image « de la plage ») (Figure 1).
- Les lignes B correspondaient à des artefacts dont les caractéristiques étaient les suivantes : signal hyperéchogène, en forme de cône, avec une origine étroite provenant de la ligne pleurale, s'étendant jusqu'au bord de l'écran et changeant avec la respiration (classique image « en queue de comète ») (Figure 1).

Figure 1. Lignes A (à gauche) et lignes B (à droite).



Ces recommandations internationales définissaient de façon consensuelle l'évaluation du syndrome interstitiel à l'échographie. Elle consistait à scanner 8 zones prédéfinies comme ci-dessous (Figure 2) (12).

Figure 2. 1 : zone antéro-supérieure ; 2 : zone antéro-inférieure ; 3 : zone latéro-supérieure ; 4 : zone latéro-inférieure. Image issue de l'article: International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound.; auteurs: Volpicelli G et al. ; revue: Intensive Care Med. 1 avr 2012;38(4):577-91.



Cependant, compte tenu de la difficulté d'accès aux zones inférieures de recueil au bloc opératoire (champs opératoires gênants l'acquisition des images), nous avons été contraints de ne recueillir que 4 zones :

- Zone antéro-supérieure (droite et gauche) : au niveau du deuxième espace intercostal entre la ligne para-sternale et la ligne axillaire antérieure *
- Zone latérale-supérieure (droite et gauche) : au niveau du quatrième espace intercostal entre la ligne axillaire antérieure et la ligne axillaire postérieure *.

Le recueil des lignes B a été compté selon 2 modalités : nombre de lignes B uniquement sur les zones antérieures et nombre de lignes B totales au sein des 4 zones. Le nombre de lignes B était compté sur une image acquise en petite axe entre deux côtes (classique image en « chauve-souris »). Un soin particulier a été apporté à appliquer la sonde à la même zone précise lors de chaque recueil sur un même patient.

Les échographies pulmonaires étaient uniquement réalisées par 2 examinateurs experts. Un examinateur était considéré comme expert s'il avait réalisé au moins 50 échographies pulmonaires. La courbe d'apprentissage de l'échographie pulmonaire était rapide (12). En effet, une heure d'enseignement théorique et 50 échographies pulmonaires permettaient à des médecins urgentistes de diagnostiquer avec succès un syndrome interstitiel (17).

Protocole d'étude

L'étude débutait dès lors qu'était posée l'indication d'un monitoring du VES par DO au cours d'une intervention chirurgicale avec anesthésie générale en chirurgie digestive, urologique, et/ou gynécologique.

Il était alors procédé à la vérification de la présence d'un monitoring par électrocardiogramme continu, d'une saturation pulsée en oxygène, d'une mesure de la pression artérielle non invasive et d'une voie veineuse.

L'induction anesthésique se faisait selon les pratiques habituelles du médecin anesthésiste prenant en charge le patient, et comportait toujours l'association d'un hypnotique (propofol ou etomidate), d'un morphinique (sufentanil ou rémifentanil) et d'un curare (cisatracurium ou rocuronium). L'entretien se faisait par des halogénés (sevoflurane ou desflurane) ou du propofol en mode AIVOC (Anesthésie Intraveineuse à Objectif de

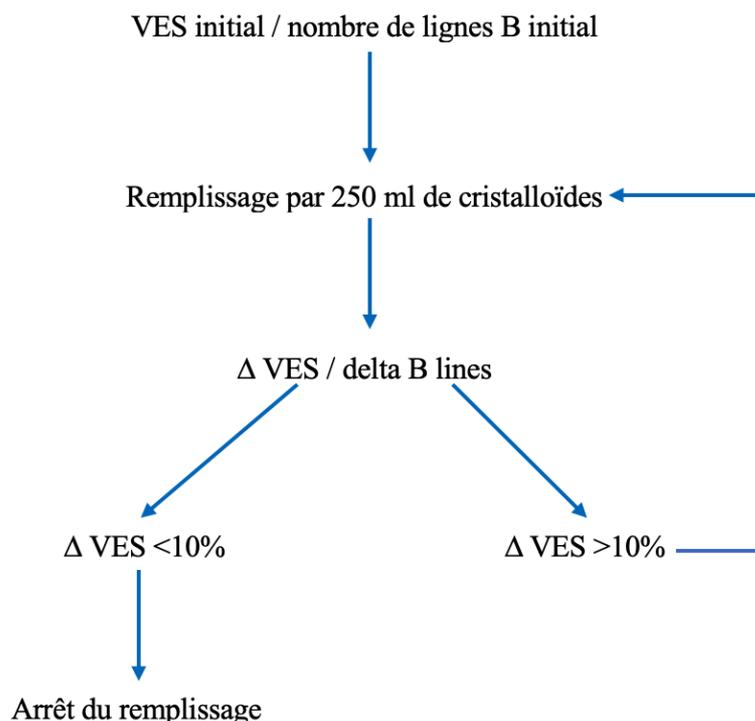
Concentration). L'intubation orotrachéale était systématique. Le volume courant était ajusté au poids idéal (6-8 ml/kg) et la fréquence respiratoire était ajustée afin de maintenir une concentration télé-expiratoire de dioxyde de carbone (CO₂) entre 35 et 37 mmHg. Une pression télé-expiratoire positive (PEEP) de 4 à 10 cmH₂O était appliquée. Une manœuvre de recrutement alvéolaire était réalisée systématiquement après l'intubation oro-trachéale.

Une fois l'induction anesthésique réalisée, une sonde de DO était mise en place par voie nasale ou buccale jusqu'à l'obtention d'un signal doppler aortique optimisé.

Une première mesure du VES ainsi qu'une échographie pulmonaire sur les 4 zones étaient réalisées. Ensuite, le VES et le recueil en échographie pulmonaire étaient réalisés après chaque épreuve de remplissage avec 250 ml de cristalloïdes. La variation du VES après remplissage de 250 ml de cristalloïdes était calculée comme tel : $\Delta\text{VES} = (\text{VES après remplissage} - \text{VES avant remplissage}) / \text{VES avant remplissage}$. Le nombre de nouvelles lignes B apparaissant après le remplissage vasculaire était analysé (delta B lines).

Un patient était défini comme répondeur si le VES augmentait de plus de 10% après une épreuve de remplissage de 250 ml de cristalloïdes. L'expansion volémique était arrêtée lorsque le VES mesuré sur le DO augmentait de moins de 10%, tel que recommandé par la SFAR (patient non répondeurs) (4) (Figure 3).

Figure 3. Protocole de l'étude (VES=Volume d'Éjection Systolique, ΔVES = variation du VES après 250ml de remplissage, delta B lines=nombre de nouvelles lignes B apparues).



Une manœuvre de recrutement alvéolaire était réalisée avant chaque recueil de données en échographie pulmonaire. Elle consistait en l'application d'une PEEP de 30 cmH₂O pendant 30 secondes.

Recueils des données

Les données démographiques usuelles suivantes ont été recueillies :

- Age (années)
- Sexe
- Indice de masse corporelle (IMC) (kg.m⁻²)
- Antécédents médicaux
- Score de l'American Society of Anesthesiology (ASA)
- Type de chirurgie (Digestive, Urologique, Gynécologique)

Les données ventilatoires suivantes ont été recueillies :

- Pression plateau (cmH₂O)
- Pression télé-expiratoire positive (cmH₂O)
- Ventilation minute (L.min⁻¹)

Les données hémodynamiques suivantes ont été recueillies :

- Fréquence cardiaque (batt.min⁻¹)
- Pression artérielle systolique, moyenne et diastolique (mmHg)
- Volume d'éjection systolique (ml)
- Débit cardiaque (L.min⁻¹)
- Saturation artérielle en oxygène (%)

Les données échographiques suivantes ont été recueillies :

- Nombre de lignes B totales
- Nombre de lignes B antérieures

Les données en fin d'intervention suivantes ont été recueillies :

- Nombre de patients sous noradrénaline
- Dose totale de noradrénaline (µg. kg⁻¹.min⁻¹)

- Volume total de remplissage (ml)
- Rapport Pression partielle en oxygène/Fraction inspiratoire en oxygène ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) (mmHg)
- Brain Natriuretic Peptide (BNP) (ng/ml)
- Durée opératoire (min)
- Durée d'hospitalisation (jours)
- Complications respiratoires post-opératoire recueillies selon les recommandations européennes de l'ESA et de l'ESICM (20) :
 - Pneumopathie : apparition d'une image radiologique associée à au moins un symptôme parmi : fièvre, leucopénie ($<4000/\text{mm}^3$) ou hyperleucocytose ($>12000/\text{mm}^3$), confusion si âge > 70 ans ; et au moins 2 symptômes parmi : expectoration, toux, dyspnée ou tachypnée, râles bronchiques, hypoxémie, nécessité d'une oxygénothérapie ou nécessité d'une assistance ventilatoire
 - Embolie pulmonaire : présence d'un ou plusieurs embole(s) dans les vaisseaux artériels pulmonaires à l'imagerie (angioscanner thoracique ou scintigraphie pulmonaire)
 - Détresse respiratoire aigüe : polypnée > 25 , mise en jeu des muscles respiratoires accessoires ou un pH $<7,25$ et un « ALI » défini par une détresse respiratoire avec un rapport $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300$ mmHg ou une $\text{PaO}_2 < 80$ mmHg sous masque à haute concentration

Critères de jugement

Le critère de jugement principal était l'apparition de nouvelles lignes B en échographie pulmonaire après épreuve de remplissage vasculaire par 250 ml de cristaalloïdes.

Le critère de jugement secondaire était la survenue de complications respiratoires postopératoires.

Analyse statistique

Le nombre de sujets nécessaires calculé était de 200 patients. Ces calculs ont été faits sur la base d'une puissance de 80% et d'un risque de première espèce bilatéral de 5%. Les résultats présentés ci-dessous sont issus d'une analyse intermédiaire sur 121 patients.

La normalité de la distribution des variables a été vérifiée avec un test d'Agostino-Pearson.

Les données ont été exprimées sous forme de moyenne +/- écart-type, de médiane [intervalle interquartile] ou de nombre (proportion en %), selon le cas. Le test t de Student, le test de Mann-Whitney, le test du khi-carré ou le test de Fischer ont été utilisés pour comparer des variables quantitatives ou qualitatives entre les patients répondeurs et non répondeurs et entre les patients développant des complications respiratoires par rapport à ceux qui n'en développaient pas. Le test t apparié et le test de Wilcoxon ont été utilisés pour comparer les variables avant et après remplissage. Les valeurs prédictives pour la survenue d'une précharge indépendance ou de complications respiratoires ont été évaluées au moyen d'une courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) et en calculant l'aire sous la courbe (ASC). Le meilleur seuil diagnostique a été défini comme celui fournissant l'indice de Youden le plus élevé. Un modèle de régression logistique a été utilisé pour tester l'association entre l'apparition de complications respiratoires post-opératoires et les déterminants significatifs en analyse univariée. Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$. Le logiciel MedCalc Statistical Software™ version 19.0.3 (MedCalc Software bvba, Ostend, Belgium; 2019) a été utilisé pour toutes les analyses statistiques.

Résultats

121 patients devant subir majoritairement une intervention abdomino-pelvienne et ayant nécessité un monitoring du remplissage vasculaire peropératoire par DO ont été inclus. Un patient fut exclu du fait de l'impossibilité d'obtenir un signal de DO. Au total, aucune complication liée à l'utilisation du DO n'a été notée.

L'âge médian des patients était de 63 [49-71] ans, majoritairement de sexe féminin (55%), et le score ASA médian était de 2 [2-3]. La durée médiane d'hospitalisation était de 5 [2.0-8.3] jours.

Tableau 1. Caractéristiques démographiques des patients inclus (p=degré de significativité, IMC=Index de Masse Corporelle, HTA=Hypertension Artérielle, SAOS=Syndrome d'Apnée Obstructif du Sommeil, BPCO= Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive, AOMI=Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs, AVC=Accident Vasculaire Cérébral, IRC =Insuffisance Rénale Chronique, Score ASA= score de l'American Society of Anesthesiology).

Paramètres	N= 120
Age (années)	63 [49-71]
Sexe (Homme), n (%)	54 (45%)
IMC (kg.m⁻²)	24.6 [21.8-29.4]
Antécédents médicaux (%)	
HTA	46 (38.3%)
Syndrome coronarien aigu	7 (5.8%)
Insuffisance cardiaque	0 (0%)
SAOS	7 (5.8%)
Tabagisme actif	18 (15.0%)
BPCO	5 (4.2%)
AOMI	1 (0.8%)
AVC	7 (5.8%)
Diabète	18 (15.0%)
Dyslipidémie	24 (20.0%)
IRC	7 (5.8%)
Score ASA	2 [2-3]
Durée opératoire (min)	120 [60-240]
Type de chirurgie (%)	
Digestive	104 (86%)
Urologique	11 (10%)
Gynécologique	6 (4%)
Durée d'hospitalisation (jours)	5.0 [2.0-8.3]

Le nombre de patients répondeurs après 250 ml de remplissage vasculaire était de 73 (60.8%) ; celui de patients non répondeurs était de 47 (39.2%).

Il existait une baisse significative de la FC et une augmentation significative du débit cardiaque après 250 ml de remplissage dans le groupe des patients répondeurs (respectivement $p=0.0001$ et $p<0.05$).

Parallèlement, il existait une augmentation significative du nombre de nouvelles lignes B totales dans les deux groupes après remplissage vasculaire par 250 ml de cristalloïdes ($p<0.001$) ; et une augmentation significative du nombre de nouvelles lignes B antérieures après remplissage vasculaire uniquement dans le groupe de patients non répondeurs ($p=0.03$).

Les patients répondeurs présentaient une PAS et une PAM plus faibles après 250 ml de remplissage, que ceux des patients non répondeurs (respectivement $p=0.01$ et $p=0.03$).

Le nombre de nouvelles lignes B totales et antérieures après 250 ml de remplissage vasculaire était significativement plus élevé chez les patients non répondeurs par rapport aux patients répondeurs ($p< 0.0001$) (Tableau 2).

Tableau 2. Comparaison des paramètres hémodynamiques, respiratoires et échographiques pulmonaires entre les patients répondeurs et non répondeurs (FC=Fréquence cardiaque, PAS=Pression Artérielle Systolique, PAD=Pression Artérielle Diastolique, PAM=Pression Artérielle Moyenne, SaO2=Saturation Artérielle en Oxygène, PEEP=Positive End-Expiratoire Pressure).

§ correspond à une valeur de $p < 0.05$ au sein d'un même groupe (différence significative après 250 ml de remplissage)

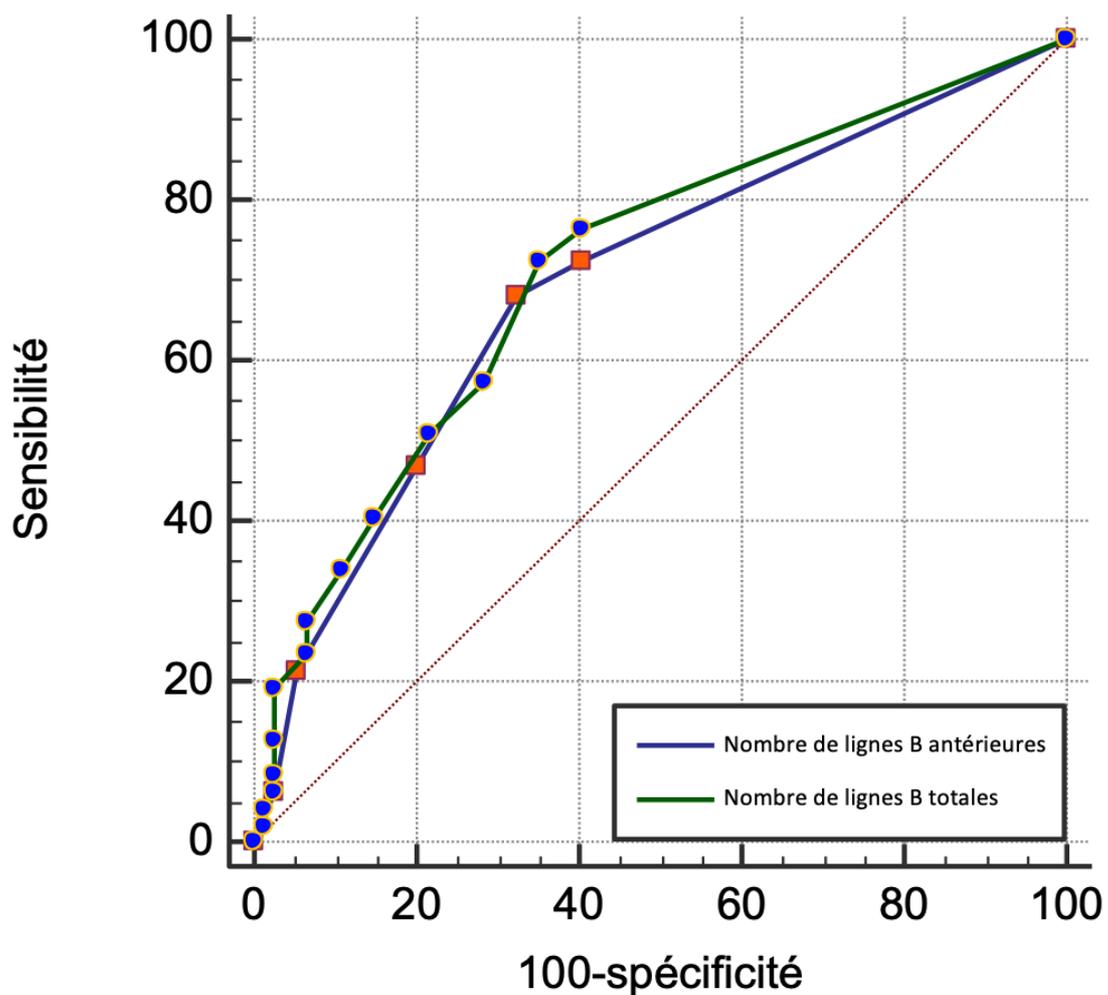
* correspond à une valeur de $p < 0.05$ entre répondeurs et non répondeurs

Paramètres	Temps	Répondeurs (n=73 (60.8%))	Non répondeurs (n=47 (39.2%))	Degré significativité p
FC (batt.min ⁻¹)	Base	71 [61-84]	73 [61-83]	0.67
	250 ml	69 [60-82] §	68 [51-80]	0.92
PAS (mmHg)	Base	97 [87-108]	101 [92-111]	0.10
	250 ml	98 [88-107]	103 [98-119] *	0.01
PAD (mmHg)	Base	58 [51-63]	57 [51-65]	0.77
	250 ml	55 [47-66]	59 [54-68]	0.08
PAM (mmHg)	Base	69 [64-79]	71 [65-79]	0.52
	250 ml	69 [62-80]	73 [67-82] *	0.03
Débit cardiaque (L.min ⁻¹)	Base	4.3 [3.6-5.8]	5.0 [3.8-6.9]	0.06
	250 ml	4.9 [4.0-6.8] §	5.2 [3.8-6.4]	0.98
SaO2 (%)	Base	100 [100-100]	100 [99-100]	0.13
	250 ml	100 [100-100]	100 [98-100] *	0.023
Pression Plateau (cmH2O)	Base	18 [17-19]	18 [16-19]	0.54
	250 ml	18 [17-19]	18 [16-19]	0.54
PEEP (cmH2O)	Base	5 [5-7]	5 [5-6]	0.86
	250 ml	5 [5-7]	5 [5-6]	0.86
Ventilation minute (L.min ⁻¹)	Base	6.5 +/- 1.0	6.4 +/- 1.1	0.67
	250 ml	6.5 +/- 1.0	6.4 +/- 1.1	0.67
Lignes B totales	Base	0 [0-0]	0 [0-4] *	0.005
	250 ml	0 [0-3] §	4 [1-7] *, §	< 0.0001
Lignes B antérieures	Base	0 [0-0]	0 [0-3] *	0.007
	250 ml	0 [0-2]	2 [0-3] *, §	< 0.0001

L'apparition de nouvelles lignes B totales permettait de prédire l'apparition d'une précharge indépendance avec une aire sous la courbe ROC (ASC) de 0.714 (IC95% : 0.625-0.792 ; $p < 0.0001$). Ainsi pour un seuil d'au moins 3 nouvelles lignes B totales, la sensibilité était de 72.34% ; la spécificité était de 64.86% ; la valeur prédictive positive était de 57.04% ; la valeur prédictive négative était de 78.43%.

L'apparition de nouvelles lignes B antérieures permettait de prédire une précharge indépendance avec une aire sous la courbe ROC (ASC) de 0.694 (IC95% : 0.604-0.775 ; $p < 0.0001$). Ainsi pour un seuil d'au moins 2 nouvelles lignes B antérieures, la sensibilité était de 68.09% ; la spécificité était de 67.57% ; la valeur prédictive positive était de 57.52% ; la valeur prédictive négative était de 76.66%. (Figure 4).

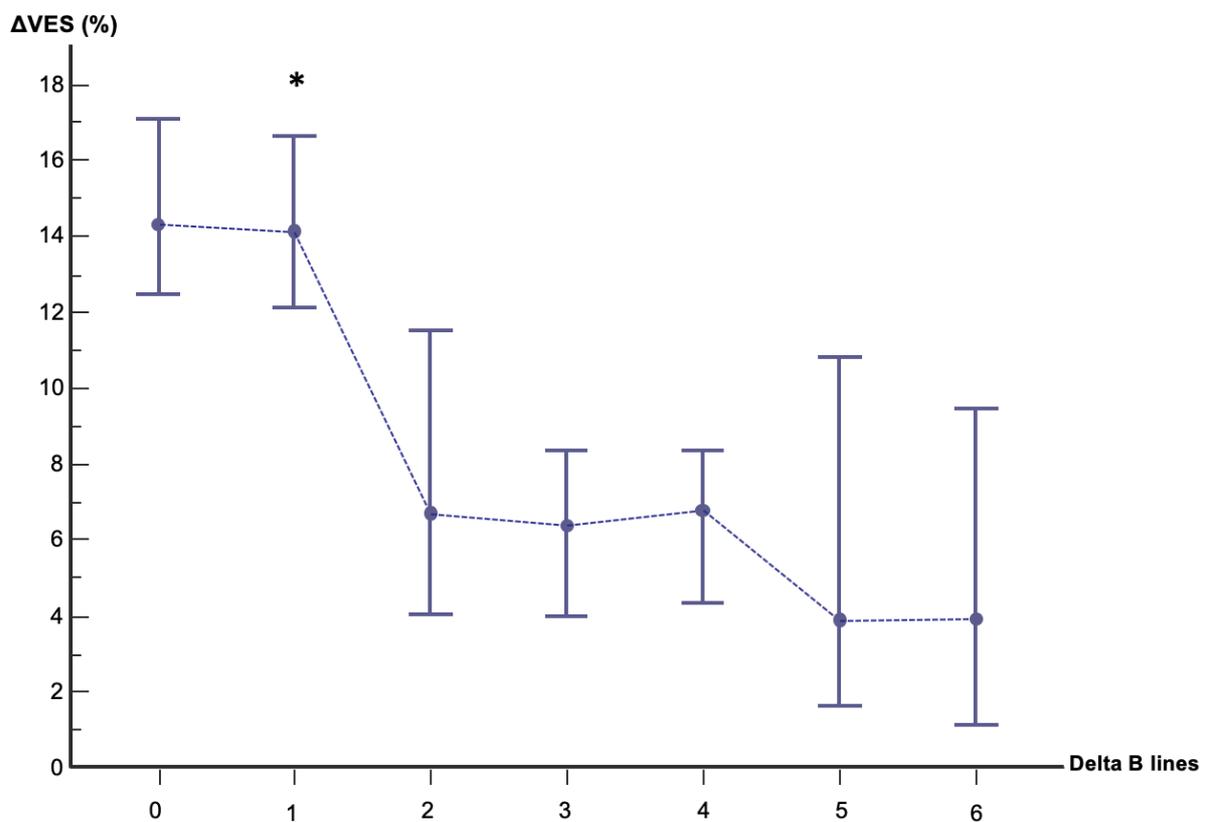
Figure 4. Courbes ROC de prédictibilité d'une précharge indépendance des lignes B totales et lignes B antérieures après remplissage vasculaire par 250ml de cristalloïdes.



L'apparition de nouvelles lignes B (delta B lines > 0) était plus précoce que l'apparition d'une précharge indépendante (définie comme l'absence d'augmentation du VES de plus de 10%) d'un volume de remplissage médian de 250 [0-250] ml. Dès l'apparition de 2 nouvelles lignes B totales, la variation de VES suivant le prochain bolus de 250 ml de remplissage (Δ VES) était de 6.8 % (IC95% : 4.0-11.8) (Figure 5).

Figure 5. Valeur de la variation de VES après remplissage (Δ VES en pourcentage médian (IC 95%)) au temps n, en fonction du nombre de nouvelles lignes B apparues (delta B lines) au temps n - 1 (soit 250 ml avant).

* $p < 0.05$ par rapport aux autres valeurs supérieures de delta B lines.



10 patients ont présenté une complication respiratoire postopératoire. La plus fréquente était l'apparition d'une pneumopathie (50%) (Tableau 3).

Tableau 3. Répartition des complications respiratoires post-opératoires.

Type de complications respiratoires	N (%)
Pneumopathie	5 (50%)
Embolie pulmonaire	3 (30%)
Détresse respiratoire aigüe	2 (20%)

Les patients étaient plus âgés, présentaient plus d'hypertension artérielle, d'artériopathie oblitérante des membres inférieurs et de diabète dans le groupe ayant présenté une complication respiratoire post-opératoire.

On retrouvait également plus de nouvelles lignes B totales finales ($p=0.007$) et plus de nouvelles lignes B antérieures finales ($p=0.0005$) chez les patients ayant développé une complication respiratoire.

La durée de séjour était plus élevée chez les patients qui avaient développé une complication respiratoire postopératoire (Tableau 4).

Tableau 4. Comparaison des paramètres démographiques, hémodynamiques, respiratoires et échographiques pulmonaires entre l'absence et la présence de complications respiratoires (p=degré de significativité, Score ASA= score de l'American Society of Anesthesiology, HTA=Hypertension Artérielle, SAOS=Syndrome d'Apnée Obstructif du Sommeil, BPCO= Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive, AOMI=Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs, AVC=Accident Vasculaire Cérébral, IRC =Insuffisance Rénale Chronique, ratio PaO₂/FiO₂=ratio Pression partielle en oxygène/Fraction inspiratoire en oxygène, BNP=Brain natriuretic peptide).

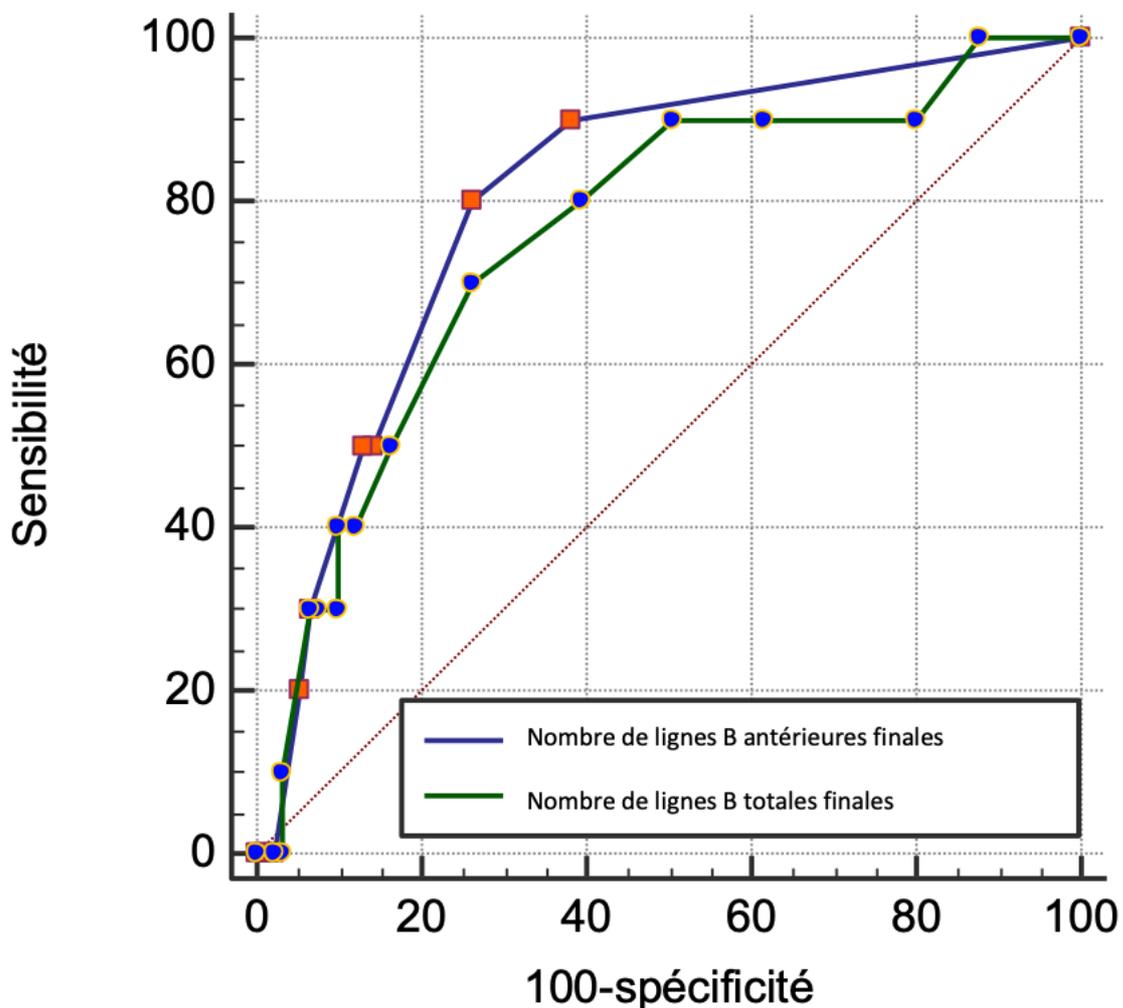
* correspond à une valeur de p< 0.05 entre l'absence et la présence de complications respiratoires (différence significative au même instant)

Paramètres	Absence de complications respiratoires (n=110)	Présence de complications respiratoires (n=10)	Degré significativité p
Age (années)	61 [47-71]	68 [65-79] *	0.02
Score ASA	2 [2-3]	2.5 [2-3]	0.13
Antécédents			
HTA	39 (35%)	7 (70%) *	0.03
Syndrome coronarien aigu	6 (5%)	1 (10%)	0.51
SAOS	5 (5%)	2 (20%)	0.06
Tabagisme actif	18 (16%)	0 (0%)	0.17
BPCO	4 (4%)	1 (10%)	0.38
AOMI	0 (0%)	1 (10%) *	0.0009
AVC	6 (5%)	1 (10%)	0.51
Diabète	14 (13%)	4 (40%) *	0.02
Dyslipidémie	20 (18%)	4 (40%)	0.09
IRC	6 (5%)	1 (10%)	0.51
Débit cardiaque (L.min⁻¹)	5.8 [4.7-6.9]	6.7 [6.1-7.6]	0.20
Lignes B totales finales	4 [2-6]	7 [5-12] *	0.007
Lignes B antérieures finales	0 [0-2]	3 [2-5] *	0.0005
Patients traités par noradrénaline (%)	39 (35%)	5 (50%)	0.35
Dose de noradrénaline (µg. kg⁻¹.min⁻¹)	0.00 [0.00-0.06]	0.04 [0.00-0.08]	0.30
Remplissage vasculaire total (ml)	750 [500-1250]	750 [500-1250]	0.43
Durée opératoire (min)	120 [60-240]	190 [120-240]	0.09
Ratio PaO₂/FiO₂ post-opératoire (mmHg)	381 [304-427]	286 [170-460]	0.07
BNP post-opératoire (ng/ml)	29 [14-83]	19 [11-126]	0.77
Durée d'hospitalisation (jours)	5 [2-8]	24 [16-39] *	<0.0001

L'apparition de nouvelles lignes B totales finales permettait de prédire une complication respiratoire post-opératoire avec une aire sous la courbe ROC (ASC) de 0.758 (IC95% : 0.662-0.837 ; $p=0.0019$). Ainsi pour un seuil d'au moins 6 nouvelles lignes B totales finales, la sensibilité était de 70.00% ; la spécificité était de 73.63%.

L'apparition de nouvelles lignes B antérieures finales permettait de prédire une complication respiratoire post-opératoire avec une aire sous la courbe ROC (ASC) de 0,804 (IC95% = 0.713-0.876 ; $p<0.0001$). Ainsi pour un seuil d'au moins 2 nouvelles lignes B antérieures finales, la sensibilité était de 80.00% ; la spécificité était de 73.63% (Figure 7).

Figure 7. Courbes ROC de prédictibilité des complications respiratoires des lignes B totales et lignes B antérieures en fin d'intervention.



Après analyse multivariée par régression logistique, le seul facteur permettant de prédire significativement les complications respiratoires était l'apparition de nouvelles lignes B antérieures finales (odds ratio=1.5116 ; IC95%=1.1440-1.9973 ; $p= 0.0037$).

La mesure de la concordance inter-observateur retrouvait une valeur du coefficient de concordance Kappa de 0.89 IC95% (0.67-1.00). La concordance sur les évaluations quantitatives (le nombre des lignes B détectées) a été évaluée à l'aide du coefficient de corrélation intra-classe qui était de 0.92 IC95% (0.81-0.97).

Discussion

Notre étude a permis de montrer que l'apparition de nouvelles lignes B totales et de nouvelles lignes B antérieures après 250 ml de remplissage par cristaalloïdes permettait de prédire l'apparition d'une précharge indépendance.

De plus, l'apparition de nouvelles lignes B ($\Delta B \text{ lines} > 0$) était plus précoce que l'apparition d'une précharge indépendance (définie comme l'absence d'augmentation du VES de plus de 10%) d'un volume de remplissage médian de 250 [0-250] ml. Ainsi, dès l'apparition de 2 nouvelles lignes B totales, le Δ VES suivant le prochain bolus de 250 ml de remplissage était inférieur à 10%.

Notre étude a également retrouvé que le nombre de nouvelles lignes B totales et antérieures finales permettait de prédire la survenue de complications respiratoires post-opératoires. Par ailleurs, après analyse multivariée, le seul facteur permettant de prédire significativement les complications respiratoires était l'apparition de nouvelles lignes B antérieures finales.

Au cours des dernières années, l'application de la GDT a permis de diminuer la durée d'hospitalisation, le délai de reprise d'une alimentation orale, la morbidité postopératoire et les complications (notamment infectieuses) chez les patients opérés d'une chirurgie digestive majeure (1,2), mais également dans d'autres spécialité telle que l'urologie ou la gynécologie (3). Récemment, l'étude POEMAS menée chez des patients opérés d'une chirurgie abdominale majeure a montré que l'utilisation de la GDT n'apportait pas de différence en termes de mortalité, de durée de séjour et de complications (5). Une autre étude (OPTIMISE) a également retrouvé une réduction non significative de la durée d'hospitalisation et de la mortalité à court et long terme (21).

Par ailleurs, la précision des appareils de monitoring du débit cardiaque et des indices de précharge dépendance reste modeste (6). De plus, chaque moniteur et chaque indice a ses propres avantages et limites (22). Concernant le DO, qui est l'un des appareils de monitoring du débit cardiaque fréquemment utilisés au bloc opératoire, ses limites sont nombreuses : instabilité spatiale de la sonde de Doppler dans l'œsophage entraînant une perte de signal optimal, utilisation du bistouri électrique chirurgical qui parasite le signal, mesure absolue du débit cardiaque pouvant être faussée par l'estimation du diamètre aortique par le nomogramme sans mesure échocardiographique de la surface de l'aorte descendante (par

exemple en cas de pathologie aortique (anévrisme, sténose)) (23). Si l'on s'intéresse à l'indice de précharge dépendance qu'est la variation de la pression pulsée (VPP) : celui-ci présente de nombreuses limitations telle la ventilation spontanée, un volume courant d'au moins 8 ml.kg^{-1} , les arythmies, un thorax ouvert, des pressions abdominales élevées ; une étude a en effet montré que seuls 3% des patients satisfaisaient à ces critères de validité de la VPP (24). De plus, le concept de « zone grise » propose deux seuils numériques compris entre 9 et 13% pour la VPP. Le premier seuil servant à exclure le diagnostic alors que le second seuil est choisi pour inclure le diagnostic avec une quasi-certitude. Les valeurs intermédiaires se situant dans la zone grise correspondent à une prédiction trop imprécise pour prendre une décision diagnostique. Selon la littérature, 25% des patients se trouverait dans cette zone grise (25).

L'échographie pulmonaire a été très utilisée dans d'autres domaines comme en cardiologie, en néphrologie, en réanimation.

En cardiologie, l'échographie pulmonaire est utilisée afin de détecter mais aussi de suivre la diminution de l'eau pulmonaire après traitement d'un œdème aigu du poumon. Les lignes B disparaissaient rapidement après l'instauration du traitement (7). De plus, il a été montré que l'échographie pulmonaire permettait de prédire un taux élevé de BNP chez des patients en décompensation cardiaque (8).

Les néphrologues ont retrouvé qu'il y avait une réduction significative du nombre de lignes B entre le début et la fin d'une séance de dialyse, sans rapport avec la dyspnée (9).

En réanimation, il a été montré récemment que l'apparition d'au moins 6 lignes B après une épreuve de sevrage ventilatoire en réanimation permettait de prédire l'apparition d'un œdème pulmonaire au cours d'une épreuve de sevrage ventilatoire (10).

Nous retrouvons que l'apparition de nouvelles lignes B permettait de prédire l'apparition d'une précharge indépendante. Comme nous l'avons vu précédemment, ces lignes B échographiques proviennent d'un phénomène de réverbération des ultrasons sur les septas inter lobulaires sous-pleuraux épaissis par l'œdème (11,12). L'échographie pulmonaire présentait également une excellente corrélation avec la quantité d'eau pulmonaire extravasculaire mesurée par des méthodes invasives (Picco et Swan-ganz) en post-opératoire de chirurgie cardiaque (26). Aussi, il a été prouvé que l'échographie pulmonaire était plus performante que la radiographie pulmonaire pour la détection d'eau pulmonaire extravasculaire (27).

La mesure de la pression artérielle pulmonaire d'occlusion (PAPO) par cathétérisme artériel pulmonaire a été décrit comme étant un reflet des pressions de remplissage du cœur gauche. Certains auteurs ont retrouvé que la prédominance de lignes B antérieures permettait de prédire une PAPO élevée avec une bonne spécificité (28) ; la prédominance de lignes B antérieures permettait donc de prédire que le poumon sous-jacent est en « surcharge ». D'autres auteurs n'ont pas retrouvé de corrélation entre le nombre de lignes B et l'augmentation de la PAPO (29). Cela pourrait s'expliquer par le fait que même si la congestion pulmonaire est, dans la plupart des cas, attribuable à une PAPO élevée concomitante à la surcharge liquidienne, cette modification pourrait également se produire sans surcharge de liquide, par exemple à cause d'une fragilisation de la barrière endothéliale et/ou de lésions des cellules épithéliales pulmonaires (SDRA) (30).

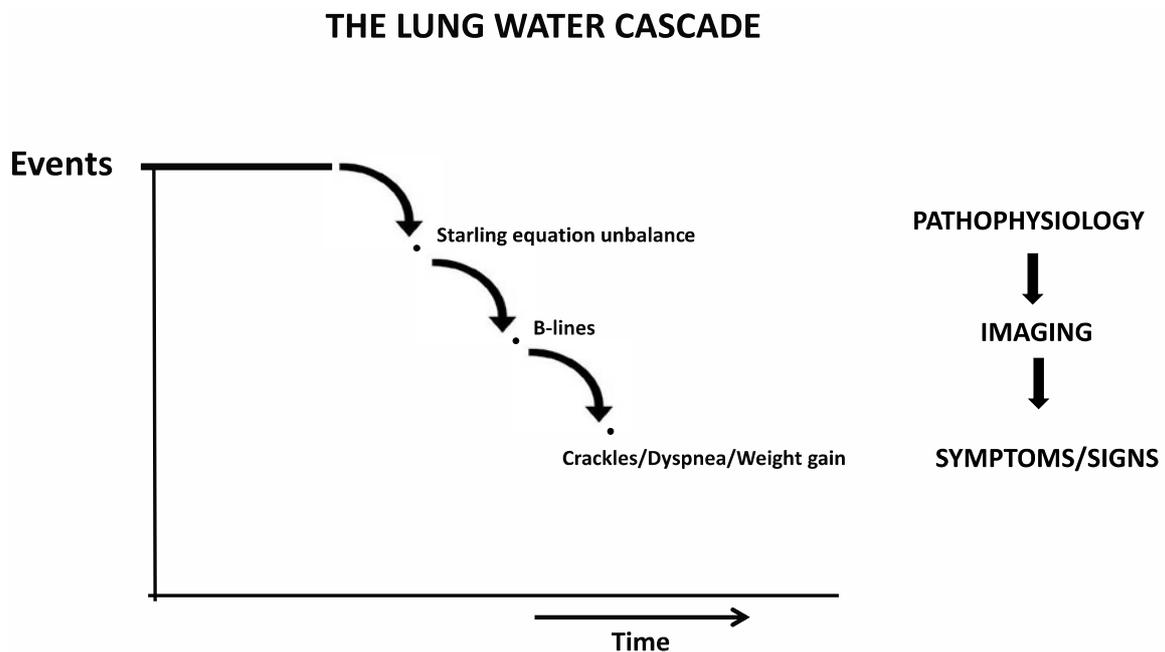
Utilisant ces principes physiologiques, Lichtenstein et al ont décrit le FALLS protocole permettant de différencier les types de défaillance circulatoire (obstructif, cardiogénique, hypovolémique ou septique). En appliquant une sonde d'échographie sur 2 zones de la paroi antérieure du thorax (Blue Point), l'apparition de nouvelles lignes B antérieures indiquait une précharge indépendance et donc l'arrêt du remplissage vasculaire (31).

Nous avons également retrouvé que l'apparition de lignes B pouvait être considérée comme un marqueur plus précoce de la survenue d'une précharge indépendance par rapport à l'absence d'augmentation du VES de plus de 10%. En effet, le concept de « cascade d'eau pulmonaire » (« lung water cascade ») a été décrit afin d'expliquer l'accumulation d'eau pulmonaire en plusieurs stades :

- un déséquilibre de la loi de Starling, qui conduirait à l'accumulation d'eau pulmonaire (stade physiopathologique),
- l'apparition de nouvelles lignes B (stade échographique)
- l'apparition d'une dyspnée, de crépitations et/ou d'œdème tissulaire (stade symptomatique) (16).

Ainsi, le fait de pouvoir détecter l'accumulation d'eau pulmonaire par l'échographie pulmonaire à un stade infraclinique permettrait de limiter l'excès de remplissage de façon plus précoce par rapport aux indices de précharge indépendance classiquement utilisés et avant toute apparition de symptômes respiratoires (Figure 8).

Figure 8. Concept de cascade d'eau pulmonaire. Image issue de l'article: The lung water cascade in heart failure ; auteurs: Picano E, Scali MC ; revue: Echocardiography. oct 2017;34(10):1503-7.



Le seuil permettant de prédire l'apparition d'une précharge indépendante au décours du prochain remplissage de 250 ml peut sembler très bas (apparition de 2 nouvelles lignes B totales) alors que les connaissances actuelles indiquent que la présence d'une seule ligne B peut être normale (éventuellement une fissure), tandis que trois lignes B (ou plus) peuvent indiquer un œdème pulmonaire (12). Nous pouvons expliquer ceci par le fait que l'anesthésiste en charge du patient était présent afin de détecter d'un œdème interstitiel à un stade très précoce alors que les patients en œdème aigu du poumon sont explorés à un stade très avancé. Ainsi, l'excès de liquide interstitiel peut envahir un ou 2 septas interlobulaires sous pleuraux qui seront détectés quasiment en temps réel au cours du remplissage vasculaire, laissant d'autres septas vides.

Enfin, nous retrouvons que l'apparition de nouvelles lignes B finales permettait de prédire la survenue de complications respiratoires post-opératoires. D'autres études ont retrouvé que le remplissage vasculaire chez des patients de réanimation atteint de syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA) provoquait une détérioration de l'aération des poumons visible à l'échographie pulmonaire (32) et que l'excès d'eau pulmonaire était corrélé à une plus haute mortalité (33). De plus, l'apparition de nouvelles lignes B en postopératoire de chirurgie thoracique était corrélée à l'augmentation de l'eau pulmonaire extravasculaire, qui

était elle-même corrélée à l'apparition de complications respiratoires postopératoires (34). Par ailleurs, il a été montré que la détection de lignes B à l'échographie pulmonaire chez les patients hémodialysés chroniques est un facteur indépendant de mortalité et d'apparition de complications cardio-vasculaires (35). Dans notre étude, les rapport $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ et le taux de BNP post-opératoires étaient normaux et similaires entre les 2 groupes démontrant l'apparition des lignes B à un stade infraclinique.

Une autre hypothèse pouvant expliquer la survenue de complications respiratoires après remplissage vasculaire serait la fragilité hétérogène de la barrière épithéliale pulmonaire ou des cellules endothéliales. Celle-ci conduirait à une hétérogénéité des effets du remplissage vasculaire conduisant à un excès d'eau pulmonaire extravasculaire différent entre les patients. En effet, les patients développant des complications respiratoires avaient un volume de remplissage peropératoire identique aux patients qui n'en développaient pas. Dans le cas particulier du SDRA, deux phénotypes de syndrome de détresse respiratoire aigüe ont été décrits, différenciés par la clinique (utilisation de noradrénaline, acidose métabolique, différence de réponse à la PEEP), mais aussi par des taux de biomarqueurs inflammatoires plasmatiques différents. Le phénotype hyper-inflammatoire était associé à une plus grande mortalité, une durée de ventilation mécanique plus longue et plus de défaillance d'organes (36). Récemment, une étude s'est intéressée à l'effet d'une stratégie libérale ou restrictive du remplissage vasculaire sur ces deux phénotypes. Elle constatait que le phénotype hyper-inflammatoire qui présentait plus de biomarqueurs de lésions des cellules endothéliales (Ang-2) et de biomarqueurs de lésions des cellules épithéliales pulmonaires (RAGE), était associé à une mortalité à 90 jours plus élevée si une stratégie libérale de remplissage vasculaire était appliquée (37). Par conséquent, cette fragilité hétérogène de la barrière épithéliale pulmonaire ou des cellules endothéliales pourrait être détectée plus précocement par l'apparition de nouvelles lignes B en échographie pulmonaire après remplissage vasculaire. Ce diagnostic précoce permettrait de limiter ainsi l'excès de remplissage vasculaire chez ces patients susceptible de développer plus de complications respiratoires post-opératoires.

L'échographie pulmonaire pourrait donc être utilisée en routine au bloc opératoire afin de limiter le remplissage vasculaire de façon plus précoce et ainsi de diminuer la survenue des complications respiratoires post-opératoires. D'autant plus que l'échographie est un outil non irradiant, non invasif, avec une courbe d'apprentissage rapide (12,17) et pour finir la très

bonne concordance inter-observateur retrouvée dans notre étude était proche de celle retrouvée dans d'autres études (18,19).

Notre étude comportait plusieurs limites. D'une part, il s'agissait d'une étude observationnelle. Il serait intéressant de réaliser d'autres études, notamment interventionnelles, avec un protocole de remplissage vasculaire peropératoire guidé par l'échographie pulmonaire.

D'autre part, l'opérateur qui réalisait les échographies pulmonaires n'était pas en aveugle des résultats acquis par le DO. Il s'agissait donc d'un biais d'observation.

De plus, à cause des contraintes peropératoires (champs opératoires), nous avons étudié des zones qui ne sont pas celles habituellement décrites et recommandées dans la littérature (12). Les zones que nous avons étudié se rapprochaient de celles décrites dans le FALLS protocole, qui s'intéressait surtout au recueil des zones antérieures, qui ont montré une précision élevée pour le diagnostic d'œdème aigue pulmonaire (14,15). Par ailleurs, le recueil au niveau des zones postéro-latérales n'était pas nécessaire car les lignes B peuvent être présentes chez environ 28 % des patients sains en décubitus dorsal, sans surcharge pulmonaire radiologique (11,38).

Concernant les diagnostics différentiels des lignes B, le développement d'atélectasies de dénitrogénéation à l'induction ou d'atélectasies au cours de l'intervention a été prévenu en réalisant régulièrement des manœuvres de recrutement, le développement d'une pneumopathie débutante est peu probable dans ce contexte et la fibrose pulmonaire est prise en compte dans les critères de non-inclusion.

Enfin, nous n'avions pas monitoré en peropératoire le débit cardiaque par cathéter artériel pulmonaire qui reste la méthode de référence, ni l'eau pulmonaire extravasculaire par thermodilution transpulmonaire car il ne semblait pas raisonnable d'utiliser des mesures invasives et de mise en œuvre complexe au bloc opératoire. Nous avons préféré utiliser le DO, qui malgré ses limites (pouvant expliquer notre sensibilité modérée), permettait de suivre l'évolution hémodynamique d'un patient de façon fiable (23). En effet grâce à la bonne reproductibilité de la mesure du débit cardiaque (coefficients de variation faibles), la capacité à détecter des variations de débit cardiaque induites par des manœuvres thérapeutiques a été démontrée par plusieurs études (39).

Conclusion

L'apparition de nouvelles lignes B totales et antérieures après 250 ml de remplissage par cristaalloïdes permettait de prédire l'apparition d'une précharge indépendance. Cette apparition de nouvelles lignes B était plus précoce que l'absence d'augmentation du VES de plus de 10%. L'apparition de nouvelles lignes B antérieures finales permettait de prédire les complications respiratoires postopératoires.

Bibliographie

1. Phan TD, Ismail H, Heriot AG, Ho KM. Improving Perioperative Outcomes: Fluid Optimization with the Esophageal Doppler Monitor, a Metaanalysis and Review. *Journal of the American College of Surgeons*. déc 2008;207(6):935-41.
2. Donati A, Loggi S, Preiser J-C, Orsetti G, Münch C, Gabbanelli V, et al. Goal-Directed Intraoperative Therapy Reduces Morbidity and Length of Hospital Stay in High-Risk Surgical Patients. *Chest*. déc 2007;132(6):1817-24.
3. Funcke S, Saugel B, Koch C, Schulte D, Zajonz T, Sander M, et al. Individualized, perioperative, hemodynamic goal-directed therapy in major abdominal surgery (iPEGASUS trial): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. déc 2018.
4. Vallet B, Blanloeil Y, Cholley B, Orliaguet G, Pierre S, Tavernier B. Stratégie du remplissage vasculaire périopératoire. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*. juin 2013;32(6):454-62.
5. Pestaña D, Espinosa E, Eden A, Nájera D, Collar L, Aldecoa C, et al. Perioperative Goal-Directed Hemodynamic Optimization Using Noninvasive Cardiac Output Monitoring in Major Abdominal Surgery: A Prospective, Randomized, Multicenter, Pragmatic Trial. *Anesthesia & Analgesia*. sept 2014;119(3):579-87.
6. Joosten A, Desebbe O, Suehiro K, Murphy LS-L, Essiet M, Alexander B, et al. Accuracy and precision of non-invasive cardiac output monitoring devices in perioperative medicine: a systematic review and meta-analysis†. *Br J Anaesth*. 1 mars 2017;118(3):298-310.
7. Cortellaro F, Ceriani E, Spinelli M, Campanella C, Bossi I, Coen D, et al. Lung ultrasound for monitoring cardiogenic pulmonary edema. *Intern Emerg Med*. oct 2017;12(7):1011-7.
8. Coiro S, Porot G, Rossignol P, Ambrosio G, Carluccio E, Tritto I, et al. Prognostic value of pulmonary congestion assessed by lung ultrasound imaging during heart failure hospitalisation: A two-centre cohort study. *Sci Rep*. déc 2016;6(1):39426.
9. Noble VE, Murray AF, Capp R, Sylvia-Reardon MH, Steele DJR, Liteplo A. Ultrasound Assessment for Extravascular Lung Water in Patients Undergoing Hemodialysis: Time Course for Resolution. *Chest*. juin 2009;135(6):1433-9.
10. Ferré A, Guillot M, Lichtenstein D, Mezière G, Richard C, Teboul J-L, et al. Lung ultrasound allows the diagnosis of weaning-induced pulmonary oedema. *Intensive Care Med*. mai 2019;45(5):601-8.
11. Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The Comet-tail Artifact. *Am J Respir Crit Care Med*. 1 nov 1997;156(5):1640-6.
12. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 1 avr 2012;38(4):577-91.
13. Soldati G, Inchingolo R, Smargiassi A, Sher S, Nenna R, Inchingolo CD, et al.

Ex Vivo Lung Sonography: Morphologic-Ultrasound Relationship. *Ultrasound in Medicine & Biology*. juillet 2012;38(7):1169-79.

14. Lichtenstein D. FALLS-protocol: lung ultrasound in hemodynamic assessment of shock. *Heart Lung Vessel*. 2013;5(3):142-7.
15. Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol: Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically Ill. *Chest*. juin 2015;147(6):1659-70.
16. Picano E, Scali MC. The lung water cascade in heart failure. *Echocardiography*. oct 2017;34(10):1503-7.
17. Noble VE, Lamhaut L, Capp R, Bosson N, Liteplo A, Marx J-S, et al. Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers. *BMC Medical Education*. déc 2009.
18. Jambrik Z, Monti S, Coppola V, Agricola E, Mottola G, Miniati M, et al. Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water. *The American Journal of Cardiology*. mai 2004;93(10):1265-70.
19. Pivetta E, Baldassa F, Masellis S, Bovaro F, Lupia E, Maule MM. Sources of Variability in the Detection of B-Lines, Using Lung Ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*. juin 2018;44(6):1212-6.
20. Jammer I, Wickboldt N, Sander M, Smith A, Schultz MJ, Pelosi P, et al. Standards for definitions and use of outcome measures for clinical effectiveness research in perioperative medicine: European Perioperative Clinical Outcome (EPCO) definitions. *European Journal of Anaesthesiology*. févr 2015;32(2):88-105.
21. Pearse RM, Harrison DA, MacDonald N, Gillies MA, Blunt M, Ackland G, et al. Effect of a Perioperative, Cardiac Output–Guided Hemodynamic Therapy Algorithm on Outcomes Following Major Gastrointestinal Surgery: A Randomized Clinical Trial and Systematic Review. *JAMA*. 4 juin 2014;311(21):2181.
22. Watson X, Cecconi M. Haemodynamic monitoring in the peri-operative period: the past, the present and the future. *Anaesthesia*. janv 2017;72:7-15.
23. Tavernier B, Fischer MO, Lorne E, Fellahi JL. Monitoring du débit cardiaque en anesthésie : quelles techniques? Quelles limites? :17.
24. Mahjoub Y, Lejeune V, Muller L, Perbet S, Zieleskiewicz L, Bart F, et al. Evaluation of pulse pressure variation validity criteria in critically ill patients: a prospective observational multicentre point-prevalence study †. *British Journal of Anaesthesia*. avr 2014;112(4):681-5.
25. Cannesson M. The “grey zone” or how to avoid the binary constraint of decision-making. *Can J Anesth/J Can Anesth*. nov 2015;62(11):1139-42.
26. Enghard P, Rademacher S, Nee J, Hasper D, Engert U, Jörres A, et al. Simplified lung ultrasound protocol shows excellent prediction of extravascular lung water in ventilated intensive care patients. *Crit Care*. 2015.
27. Picano E, Frassi F, Agricola E, Gligorova S, Gargani L, Mottola G. Ultrasound Lung Comets: A Clinically Useful Sign of Extravascular Lung Water. *Journal of the American*

Society of Echocardiography. mars 2006;19(3):356-63.

28. Lichtenstein DA, Mezière GA, Lagoueyte J-F, Biderman P, Goldstein I, Gepner A. A-Lines and B-Lines. *Chest*. oct 2009;136(4):1014-20.
29. Platz E, Lattanzi A, Agbo C, Takeuchi M, Resnic FS, Solomon SD, et al. Utility of lung ultrasound in predicting pulmonary and cardiac pressures. *European Journal of Heart Failure*. nov 2012;14(11):1276-84.
30. Ganter CC, Ganter CG, Jakob SM, Takala J. Pulmonary capillary pressure. A review. *Minerva Anestesiol*. févr 2006;72(1-2):21-36.
31. Lichtenstein D, Karakitsos D. Integrating lung ultrasound in the hemodynamic evaluation of acute circulatory failure (the fluid administration limited by lung sonography protocol). *Journal of Critical Care*. oct 2012;27(5):533.e11-533.e19.
32. Caltabeloti F, Monsel A, Arbelot C, Brisson H, Lu Q, Gu W-J, et al. Early fluid loading in acute respiratory distress syndrome with septic shock deteriorates lung aeration without impairing arterial oxygenation: a lung ultrasound observational study. *Critical Care*. 2014;18(3):R91.
33. Sakka SG, Klein M, Reinhart K, Meier-Hellmann A. Prognostic Value of Extravascular Lung Water in Critically Ill Patients. *Chest*. déc 2002;122(6):2080-6.
34. Cagini L, Andolfi M, Becattini C, Ranalli MG, Bartolucci F, Mancuso A, et al. Bedside sonography assessment of extravascular lung water increase after major pulmonary resection in non-small cell lung cancer patients. *Journal of Thoracic Disease*. juill 2018;10(7):4077-84.
35. Saad MM, Kamal J, Moussaly E, Karam B, Mansour W, Gobran E, et al. Relevance of B-Lines on Lung Ultrasound in Volume Overload and Pulmonary Congestion: Clinical Correlations and Outcomes in Patients on Hemodialysis. *Cardiorenal Medicine*. 2018;8(2):83-91.
36. Calfee CS, Delucchi K, Parsons PE, Thompson BT, Ware LB, Matthay MA. Subphenotypes in acute respiratory distress syndrome: latent class analysis of data from two randomised controlled trials. *The Lancet Respiratory Medicine*. août 2014;2(8):611-20.
37. Famous KR, Delucchi K, Ware LB, Kangelaris KN, Liu KD, Thompson BT, et al. Acute Respiratory Distress Syndrome Subphenotypes Respond Differently to Randomized Fluid Management Strategy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. févr 2017;195(3):331-8.
38. Frasure SE, Matilsky DK, Siadecki SD, Platz E, Saul T, Lewiss RE. Impact of patient positioning on lung ultrasound findings in acute heart failure. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. août 2015;4(4):326-32.
39. Roeck M, Jakob SM, Boehlen T, Brander L, Knuesel R, Takala J. Change in stroke volume in response to fluid challenge: assessment using esophageal Doppler. *Intensive Care Medicine*. 1 oct 2003;29(10):1729-35.

Annexe. Score ASA (American Society of Anesthesiology)

ASA	État de santé du patient
1	Patient sain, en bonne santé, c'est-à-dire sans atteinte organique, physiologique, biochimique ou psychique.
2	Maladie systémique légère, patient présentant une atteinte modérée d'une grande fonction.
3	Maladie systémique sévère ou invalidante, patient présentant une atteinte sévère d'une grande fonction qui n'entraîne pas d'incapacité.
4	Patient présentant une atteinte sévère d'une grande fonction, invalidante, et qui met en jeu le pronostic vital.
5	Patient moribond dont l'espérance de vie ne dépasse pas 24 heures, sans intervention chirurgicale.
6	Patient en état de mort encéphalique.

RÉSUMÉ

UTILISATION DE L'ÉCHOGRAPHIE PULMONAIRE AU BLOC OPÉRATOIRE COMME OUTIL LIMITANT LE REMPLISSAGE VASCULAIRE.

Introduction : L'objectif principal était d'évaluer la relation entre l'apparition de nouvelles lignes B en échographie pulmonaire et l'apparition d'une précharge indépendance. L'objectif secondaire était d'étudier la relation entre l'apparition de nouvelles lignes B en fin d'intervention et l'apparition de complications respiratoires post-opératoires.

Matériel et Méthodes : Il s'agissait d'une étude prospective et observationnelle. Les patients bénéficiant d'une intervention de chirurgie abdomino-pelvienne nécessitant une optimisation hémodynamique peropératoire avec titration du remplissage vasculaire ont été inclus. Le volume d'éjection systolique était recueilli par doppler œsophagien ainsi que la recherche de lignes B par échographie pulmonaire au niveau de 4 zones prédéfinies avant et après titration du remplissage vasculaire. Les complications respiratoires ont été recueillies prospectivement selon les recommandations européennes.

Résultats : 121 patients ont été inclus. L'apparition de nouvelles lignes B totales et antérieures après 250 ml de remplissage permettait de prédire l'apparition d'une précharge indépendance avec respectivement une aire sous la courbe ROC (ASC) de 0.714 (IC95% : 0.625-0.792 ; $p < 0.0001$) et de 0.694 (IC95% : 0.604-0.775 ; $p < 0.0001$). L'apparition de nouvelles lignes B était plus précoce que l'absence d'augmentation du VES de plus de 10% d'un volume médian de 250 [0-250] ml. Après analyse multivariée par régression logistique, le seul facteur permettant de prédire significativement les complications respiratoires était l'apparition de nouvelles lignes B antérieures finales (odds ratio=1.5116 ; IC95%=1.1440-1.9973 ; $p = 0.0037$).

Conclusion : L'apparition de nouvelles lignes B totales et antérieures après remplissage vasculaire pourrait être considérée comme un marqueur prédictif précoce de l'apparition d'une précharge indépendance. L'apparition de nouvelles lignes B antérieures finales permettait de prédire significativement la survenue de complications respiratoires postopératoires.

Mots-clés : échographie pulmonaire, lignes B, précharge indépendance, doppler œsophagien, complications respiratoires

ABSTRACT

USE OF LUNG ULTRASOUND IN THE OPERATING ROOM AS A TOOL TO LIMIT VASCULAR FILLING.

Objective : The main objective was to evaluate the relationship between lung ultrasound and fluid responsiveness. The secondary objective was to evaluate the relationship between lung ultrasound at the end of the surgery and respiratory complications.

Study design : It was a prospective and observational study.

Patients : Patients undergoing major gastrointestinal, urological or gynecological surgery, needing a fluid therapy were included.

Methods : Stroke volume was measured by esophageal doppler before and after 250 ml filling, as well as B lines lung ultrasound on 4 predefined areas. Respiratory complications were prospectively collected according to European recommendations.

Results : 121 patients were included. Appearance of new total and anterior B lines after 250 ml filling predicted non responders patients with respectively an area under the ROC curve (AUC) of 0.714 (95%CI : 0.625-0.792 ; $p < 0.0001$) and 0.694 (IC95% : 0.604-0.775 ; $p < 0.0001$). New B lines appeared before absence of increase more of 10% of VES of a median volume of 250 [0-250ml] ml. After multivariate analysis by logistic regression, the only risk factor of respiratory complications was the appearance of new final anterior B lines (odds ratio=1.5116 ; IC95%=1.1440-1.9973 ; $p = 0.0037$).

Conclusion : The appearance of new total and anterior B lines after fluid therapy could be considered as a predictive marker of a fluid non responsiveness. The appearance of new final anterior B lines could predict respiratory complications.

Keywords : lung ultrasound, B lines, fluid responsiveness, esophageal doppler, respiratory complications