



HAL
open science

Optimisation hémodynamique guidée par l'échographie pulmonaire en chirurgie majeure non cardiaque : étude prospective randomisée

Orane Calais-Yager

► **To cite this version:**

Orane Calais-Yager. Optimisation hémodynamique guidée par l'échographie pulmonaire en chirurgie majeure non cardiaque : étude prospective randomisée. Médecine humaine et pathologie. 2024. dumas-04750676

HAL Id: dumas-04750676

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04750676v1>

Submitted on 23 Oct 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

UNIVERSITÉ DE PICARDIE JULES VERNE - FACULTÉ DE MÉDECINE D'AMIENS



THÈSE N°133

POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE (DIPLOME D'ÉTAT)

Spécialité : ANESTHÉSIE-RÉANIMATION

**OPTIMISATION HÉMODYNAMIQUE GUIDÉE PAR L'ÉCHOGRAPHIE
PULMONAIRE EN CHIRURGIE MAJEURE NON CARDIAQUE :
ÉTUDE PROSPECTIVE RANDOMISÉE**

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT

LE JEUDI 3 OCTOBRE 2024

par

ORANE CALAIS-YAGER

JURY

PRÉSIDENT DU JURY

Monsieur le Professeur Hervé DUPONT

MEMBRES DU JURY

Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUB

Monsieur le Professeur Osama ABOU ARAB

DIRECTEUR DE THÈSE

Monsieur le Docteur Stéphane BAR

Année universitaire 2023-2024

A mon Maître et Président de jury,

Monsieur le Professeur Hervé DUPONT

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Anesthésie – Réanimation

Chef de Service d'Anesthésie

Chef de service de Réanimation Polyvalente

Chef du Pôle Anesthésie-Réanimations

Assesseur du Troisième Cycle des Etudes Médicales UFR de Médecine

Chevalier de l'Ordre des Palmes Académiques

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse.

Je vous remercie pour la qualité de l'enseignement en Anesthésie-Réanimation que j'ai reçu durant mon internat. Veuillez trouver par ce travail le témoignage de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A mon Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUR

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Anesthésiologie, réanimation, médecine d'urgence

Responsable de l'Unité de Réanimation Cardiaque Thoracique Vasculaire et Respiratoire

Tu me fais l'honneur d'accepter de juger cette thèse.

Je te remercie sincèrement pour ta pédagogie et tes précieux conseils lors de mon stage en réanimation Cardio-Thoracique Vasculaire et Respiratoire. Merci pour ta bienveillance, ton écoute et ta disponibilité. Sois assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A mon Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Osama ABOU ARAB,

*Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Anesthésiologie – Réanimation*

Tu me fais l'honneur d'accepter de juger cette thèse.

Je te remercie pour tes conseils avisés et ta pédagogie au cours de mes stages en réanimation CTVR et en anesthésie CTV. Sois assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A mon Maître et Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Stéphane BAR

*Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Anesthésie – Réanimation*

Merci de m’avoir fait confiance pour ce travail. C’est un honneur d’avoir pu travailler avec toi. Tu es un modèle pour moi tant sur le plan professionnel que sur le plan humain. Tu as su me guider et me conseiller avec bienveillance dans la réalisation de cette thèse. Merci pour ta gentillesse et ta disponibilité. Sois assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Listes de abréviations utilisées

AIT	Accident ischémique transitoire
AKIN	Acute kidney injury network
AOMI	Artériopathie oblitérante des membres inférieurs
ASA	American society of anesthesiology
ASP	Abdomen sans préparation
AVC	Accident vasculaire cérébral
BIS	Bispectral index
BLUE-points	Bed side lung ultrasound in emergency points
BNP	Brain natriuretic peptide
BPCO	Broncho pneumopathie chronique obstructive
CHU	Centre hospitalier universitaire
CO2	Dioxyde de carbone
CPK	Créatine phosphokinase
Dc	Débit cardiaque
DID	Diabète insulino dépendant
DNID	Diabète non insulino dépendant
ECBC	Examen cyto bactériologique des crachats
ECG	Electrocardiogramme
ESA	European society of anesthesiology
ESICM	European society of intensive care medicine
FALLS protocol	Fluid administration limited by lung sonography
FC	Fréquence cardiaque
FEVG	Fraction d'éjection ventriculaire gauche
FiO2	Fraction inspiratoire en oxygène
GB	Globules blancs

GDT	Goal-directed therapy
HTA	Hypertension artérielle
IC	Intervalle de confiance
IMC	Indice de masse corporelle
IQR	Intervalle interquartile
IRA	Insuffisance rénale chronique
LBA	Lavage broncho-alvéolaire
O ₂	Oxygène
PaCO ₂	Pression artérielle en dioxyde de carbone
PAM	Pression artérielle moyenne
PaO ₂	Pression partielle en oxygène
PAPO	Pression d'occlusion de l'artère pulmonaire
PAS	Pression artérielle systolique
PCR	Polymerase chain reaction
PDP	Prélèvement distal protégé
PEEP	Pression télé-expiratoire positive
PLAPS	Posterolateral alveolar pleural syndrome
RR	Risque relatif
SDRA	Syndrome de détresse respiratoire aigu
SFAR	Société française d'anesthésie-réanimation
SIRS	Syndrome inflammatoire de réponse systémique
SOFA	Sequential organ failure assessment
SpO ₂	Saturation pulsée en oxygène
TDM	Tomodensitométrie
UFC	Unité formant colonie
VES	Volume d'éjection systolique
V _t	Volume tidal (Volume courant)

TABLE DES MATIÈRES

I.	INTRODUCTION.....	15
II.	MATÉRIELS ET MÉTHODES	17
III.	RÉSULTATS	29
IV.	DISCUSSION	38
V.	CONCLUSION	42
	BIBLIOGRAPHIE	43
	ANNEXES	49

I. INTRODUCTION

De nombreux travaux ont montré que la stratégie d'optimisation hémodynamique périopératoire dite « goal directed therapy » (GDT) diminuait la morbi-mortalité au cours d'une chirurgie à haut risque (1–3). Le principe est l'utilisation précoce de différentes thérapeutiques telles que l'expansion volémique, la transfusion en dérivés sanguins, les amines vasopressives ou inotropes, afin d'atteindre des objectifs hémodynamiques prédéfinis de pression artérielle, de débit cardiaque, ou encore de saturation veineuse centrale en oxygène. La recommandation formalisée d'experts 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 (4). L'objectif est d'éviter une surcharge vasculaire liée à un remplissage vasculaire excessif : en cas de précharge-dépendance, le remplissage vasculaire est poursuivi, à l'inverse, en cas d'apparition d'une précharge-indépendance, il est arrêté. L'application de cette recommandation a permis de diminuer la morbidité post-opératoire, la durée de séjour hospitalier ainsi que le délai de reprise d'une alimentation orale (5).

Cependant, la supériorité de l'utilisation de la GDT en termes de morbi-mortalité postopératoire est aujourd'hui remise en cause (6). En effet, les indices prédictifs de la réponse au remplissage vasculaire (statiques et dynamiques) présentent de nombreuses limites et il n'existe pas de méthode de référence concernant la mesure du débit cardiaque en peropératoire (7).

L'échographie pulmonaire, longtemps considérée comme inexploitable du fait de la composition majoritairement aérique du poumon, connaît un essor depuis une vingtaine d'années notamment en cardiologie (8,9), en néphrologie (10) et en réanimation (11). Les lignes B échographiques, par analogie aux lignes B radiologiques, sont des artéfacts provenant d'un phénomène de réverbération des ultrasons sur les septas inter-lobulaires sous-pleuraux épaissis par l'œdème (12–14). Le FALLS-Profile du 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 dans une zone, au cours du remplissage vasculaire, alors le diagnostic le plus probable est une surcharge hydrostatique du septum interstitiel sous-pleural (15,16). Cette apparition de lignes B a lieu à un stade infra-clinique (17–19).

Notre équipe a récemment pu démontrer que l'apparition de nouvelles lignes B au décours d'un remplissage vasculaire était associée à une précharge-indépendance, avec une bonne sensibilité au cours des chirurgies majeures non cardiaques (20). Le seuil retenu comme marqueur diagnostique de précharge-indépendance est l'apparition de 2 lignes B au sein des quatre zones prédéfinies.

Les avantages de l'échographie pulmonaire sont nombreux : son caractère non irradiant, non invasif, sa rapidité d'utilisation, la courbe d'apprentissage rapide (13,21) et la faible variabilité intra-observateur (< 5%) et inter-observateur (< 10%) (22,23) en font un examen de choix. Son utilisation pourrait permettre une évaluation en temps réel du remplissage vasculaire et de sa tolérance durant la période peropératoire.

L'hypothèse de ce travail est que l'utilisation d'un algorithme d'optimisation hémodynamique basé sur l'échographie pulmonaire en chirurgie majeure non cardiaque serait associée à une diminution de la morbidité post opératoire (évaluée par l'incidence des complications), de la mortalité post opératoire et de la durée de séjour hospitalier.

L'objectif principal de cette étude prospective, contrôlée, randomisée et monocentrique était de démontrer une diminution de l'incidence des complications post opératoires (définies selon les recommandations européennes) lors d'une optimisation hémodynamique guidée par l'échographie pulmonaire par rapport à un groupe contrôle traité selon les recommandations actuelles (4).

Les objectifs secondaires étaient de comparer entre les 2 groupes : la mortalité à J30, la quantité de solutés administrés en peropératoire, le nombre de complications par patient, la durée de séjour hospitalier et le score SOFA calculé aux 1^{er}, 2^{eme} et 7^{eme} jours postopératoires.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Type d'étude :

Nous avons mené une étude prospective, en ouvert, randomisée, contrôlée, comparative, monocentrique et de supériorité entre deux groupes de patients ayant bénéficié d'une chirurgie majeure non cardiaque. Les patients ont été randomisés dans deux bras : un groupe contrôle et un groupe interventionnel (groupe échographie pulmonaire).

Ethique :

Cette recherche clinique a reçu l'avis favorable du Comité de Protection des Personnes (CPP) Sud-Est IV et Sud Méditerranée I, référence 2021-A01295-36.

Elle a été réalisée en conformité avec la loi en vigueur (Application du décret n°2016-1537 du 16 novembre 2016 sur les recherches impliquant la personne humaine (RIPH)), ainsi qu'en accord avec les Bonnes Pratiques Cliniques (I.C.H. version 4 du 1er mai 1996).

Chaque patient a fourni un consentement éclairé et signé avant d'être inclus dans l'étude.

Les données enregistrées par les investigateurs ont fait l'objet d'un traitement informatisé à la Direction de la Recherche Clinique et de l'Innovation du CHU d'Amiens-Picardie dans le respect de la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi 2004- 801 du 6 août 2004.

Population étudiée :

Critères d'inclusion :

- Chirurgie abdominale avec anesthésie générale
- Patient majeur ≥ 18 ans
- Score ASA \geq II
- Durée estimée de chirurgie > 2 heures
- Au moins deux comorbidités parmi celles-ci : âge > 50 ans, HTA, cardiopathie, anomalie à l'ECG, OAP, tabagisme, AVC/AIT, artériopathie oblitérante des

membres inférieurs, diabète non ou insulino-dépendant, ascite, insuffisance rénale chronique

- Consentement signé
- Affiliation à un régime de sécurité sociale

Critères de non inclusion :

- Hypertension artérielle sévère non traitée ou non équilibrée sous traitement
- Insuffisance rénale préopératoire dialysée
- Insuffisance cardiaque aigue
- Insuffisance coronarienne aigue
- Chirurgie vasculaire avec plastie rénale
- Chirurgie cardiaque
- Etat de choc préopératoire
- Refus de participation du patient
- Femme enceinte, parturiente ou en cours d'allaitement
- Patient sous tutelle ou curatelle ou privé de droit public
- Syndrome de détresse respiratoire aigu selon la définition de Berlin (apparition aigüe de symptômes respiratoires, opacités pulmonaires bilatérales, non complètement expliquées par un épanchement pulmonaire, une atélectasie ou des nodules pulmonaires, détresse respiratoire non complètement expliquée par une défaillance cardiaque ou une augmentation de la volémie, rapport $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 300$ mm Hg sous ventilation mécanique (invasive ou non invasive))
- Insuffisance respiratoire chronique avec oxygénothérapie à domicile
- Pathologie pulmonaire interstitielle chronique
- Présence d'une barrière acoustique (pneumothorax, emphysème sous-cutané, calcifications pleurales, pansement thoracique, éclats de balle de fusil...)
- Participation à une autre recherche interventionnelle portant sur un médicament
- Champs chirurgicaux couvrant les sites d'investigation en échographie pulmonaire

Tous les patients répondant aux critères d'inclusion ont été sollicités pour participer à l'étude en respectant leur anonymat.

Une information orale et écrite était transmise au patient avant la chirurgie, lors de la visite pré-anesthésique.

Prise en charge commune :

A l'arrivée du patient dans le service, les critères d'éligibilité étaient vérifiés, le consentement éclairé était recueilli et les antécédents médicaux du patient étaient saisis dans le cahier de recueil de données.

En per-opératoire, les investigateurs de l'étude étaient encouragés à appliquer le protocole d'induction et d'entretien de l'anesthésie générale suivant :

- Pré-oxygénation en ventilation spontanée au masque facial avec une fraction inspirée en oxygène (FiO₂) de 100% (pour obtention d'une fraction expirée d'O₂ (FetO₂) > 90%) suivie d'une induction anesthésique par administration de morphiniques (sufentanil ou rémifentanyl), d'un hypnotique (propofol ou étomidate) et d'un curare (cisatracurium, rocuronium, tracurium) dont les réinjections éventuelles étaient à adapter à la réponse au train-de-quatre (TOF).
- Après l'intubation orotrachéale : entretien de l'anesthésie générale par association d'un hypnotique inhalé ou intra-veineux avec un objectif d'indice bispectral (BIS) entre 40 et 60 et d'un morphinique (sufentanil, rémifentanyl).
- Mode ventilation contrôlée avec un volume courant (Vt) compris entre 6 et 8 ml/kg de poids idéal théorique, fréquence respiratoire adaptée pour un maintien d'une EtCO₂ entre 30 et 35 mmHg, un rapport Inspiration/Expiration (I/E) de 1/2 et une pression positive de fin d'expiration de 5 à 10 cmH₂O. La FiO₂ était réglée pour obtenir une saturation pulsée en oxygène (SpO₂) entre 95 et 97%. Des manœuvres de recrutement alvéolaire étaient réalisées avant chaque temps de recueils en appliquant une pression inspiratoire de 20 cmH₂O durant 20 secondes.
- Maintien d'une température corporelle à 36,5°C.
- Analgésie péridurale périopératoire autorisée.

Stratégie d'optimisation hémodynamique :

Durant l'intervention, les patients recevaient des apports hydro-sodés de base : 4 mL/kg/h de Ringer Lactate.

Après l'intubation, les patients étaient monitorés par un outil de mesure continue du débit cardiaque (doppler œsophagien, bioimpédancemétrie, analyse du contour de l'onde de pouls) dans les 2 groupes.

En l'absence de correction d'une instabilité hémodynamique par l'administration d'un remplissage vasculaire, l'administration de noradrénaline était autorisée. La pression artérielle systolique (PAS) était maintenue à +/- 10% de la valeur de référence par administration continue de noradrénaline intraveineuse à la seringue électrique, à la concentration de 16 µg/ml.

Dans les deux groupes, une bradycardie était définie par une fréquence cardiaque inférieure à 40 battements par minute. Elle était traitée systématiquement par 0,1 mg/kg d'atropine.

La prise en charge postopératoire médicale et paramédicale des patients était réalisée selon les habitudes du service.

Les patients étaient admis en service de chirurgie, unité de soins continus ou en réanimation. Une visite médicale était effectuée par un médecin anesthésiste-réanimateur pour recueillir les données à J1, J2, J7 si le patient était toujours hospitalisé et à J30 (date de fin d'étude) par appel téléphonique ou suivi intra-hospitalier. Les différents soignants recueillant les données post-opératoires ne connaissaient pas l'assignation des patients. Ce recueil de données à J1, J2, J7 portait sur le score SOFA (annexe 1), le score Acute Kidney Injury Network (AKIN) (annexe 2) en cas d'insuffisance rénale aigüe ainsi que la survenue de complications et leur type.

Algorithmes des groupes :

Groupe contrôle : stratégie d'optimisation de la précharge cardiaque

Les patients étaient monitorés par un outil de mesure continue du débit cardiaque. L'optimisation hémodynamique était basée sur la mesure continue du Volume d'Ejection Systolique (VES) selon les recommandations de la SFAR (4).

Après induction anesthésique, un bolus de 250 mL de cristalloïdes (Ringer Lactate ou sérum salé à 0,9%) était réalisé sur 10 minutes afin de vérifier l'existence ou non d'une réserve de précharge ventriculaire (position théorique du patient sur la courbe de Franck Starling). Ceci consiste à rechercher une augmentation du VES après la réalisation d'une épreuve de remplissage. En cas d'augmentation du VES de plus de 10% après 250 mL de remplissage par cristalloïdes, 250 mL supplémentaires étaient administrés. En l'absence d'augmentation du

VES, l'administration était interrompue (Figure 1). La valeur du VES obtenue après remplissage constituait la valeur de référence du VES permettant d'évaluer la nécessité de toute administration de cristaalloïdes subséquente durant l'intervention (définie par une diminution > 10% du VES par rapport à la valeur de base).

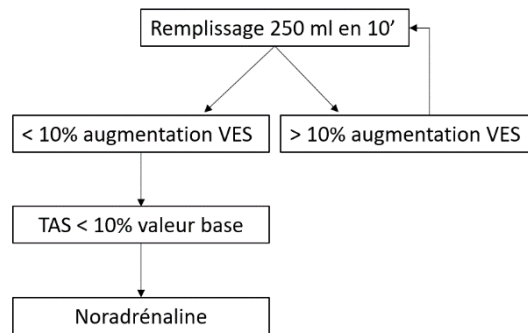


Figure 1. Algorithme de prise en charge au sein du groupe contrôle

Groupe échographie pulmonaire : stratégie d'optimisation par mesure des lignes B

L'échographie pulmonaire était réalisée à l'aide de la sonde cardiaque de l'échographe ultraportable U-Lite EXP (SONOSCANNER, Paris, France). Le recueil échographique était effectué après chaque bolus de 250 mL de cristaalloïdes durant la phase d'optimisation hémodynamique. Le recueil des données avait ensuite lieu tous les 30 min. Des manœuvres de recrutement alvéolaire étaient réalisées avant chaque temps de recueils en appliquant une pression inspiratoire de 20 cmH₂O durant 20 secondes.

Les lignes A et B sont des artéfacts bien définis par les recommandations internationales.

Pour rappel :

- Les lignes A correspondent à des artéfacts normaux, horizontaux, équidistants, parallèles à la ligne pleurale (classique image « de la plage ») (Figure 2)
- Les lignes B correspondent à des artéfacts dont les caractéristiques sont les suivantes : signal hyperéchogène, en forme de cône, avec une origine étroite naissant de la ligne pleurale, s'étendant jusqu'au bord de l'écran, se déplaçant avec la respiration et effaçant les lignes A (classique image « en queue de comète »). La présence de 2 lignes B, ou pré-fusées pleurales, signe l'apparition d'un œdème interstitiel d'origine hémodynamique.

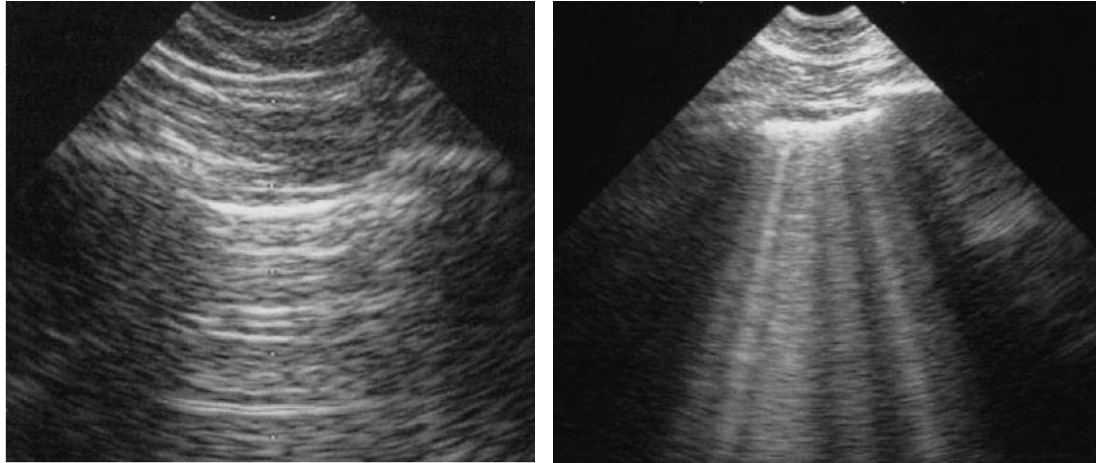


Figure 2. Lignes A (à gauche) et lignes B (à droite)

Les zones d'analyse échographiques correspondaient à une adaptation des BLUE-points (Bed Side Lung Ultrasound in Emergency – points) décrits dans la Figure 3. Les BLUE-points supérieurs et inférieurs étaient antérieurs. Le prolongement latéral du BLUE-point inférieur déterminait un point postérieur, le « posterolateral alveolar pleural syndrome-point » (PLAPS). Dans cette étude, nous avons utilisé un point latéral, situé entre le BLUE-point inférieur et ce point PLAPS (approximativement entre les lignes axillaires antérieures et postérieures). En effet, ce point latéral possède l'avantage d'être accessible malgré les contraintes opératoires.

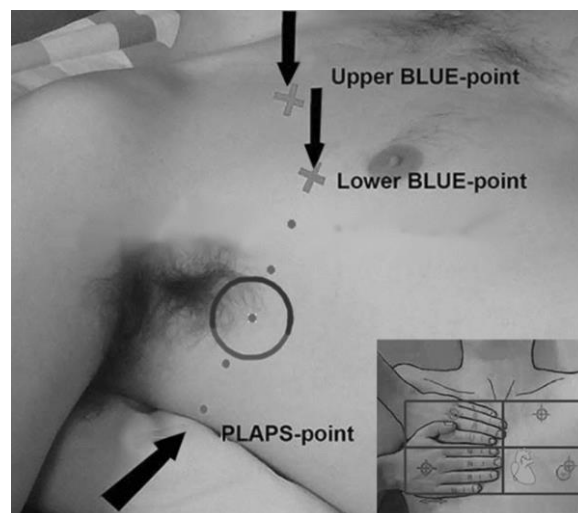


Figure 3. Illustration de la position des BLUES point et du point de recueil latéral (rond noir)

Le nombre total de lignes B était compté au niveau des BLUE point supérieur et point latéral de façon bilatérale (soit 4 zones), sur une image acquise en coupe petit axe entre deux côtes. Nous avons veillé à appliquer la sonde à la même zone précise lors de chaque recueil sur un même patient. L'augmentation du nombre de lignes B (Delta-B-line = nombre de lignes B après épreuve de remplissage – nombre de lignes B à l'état de base) était analysé par un examinateur expert (SB et OCY). Un examinateur était considéré comme expert s'il avait réalisé au moins 50 échographies pulmonaires (24).

Après induction anesthésique, un bolus de 250 mL de cristalloïdes (Ringer Lactate ou sérum salé à 0,9%) était réalisé sur 10 minutes et le compte de nouvelles lignes B au sein des 4 zones prédéfinies était effectué. Si le Delta-B-line était inférieur à 2, un bolus de 250ml supplémentaires était administré. Si le Delta-B-line devenait supérieur ou égal à 2, l'administration de cristalloïdes était interrompue (Figure 4).

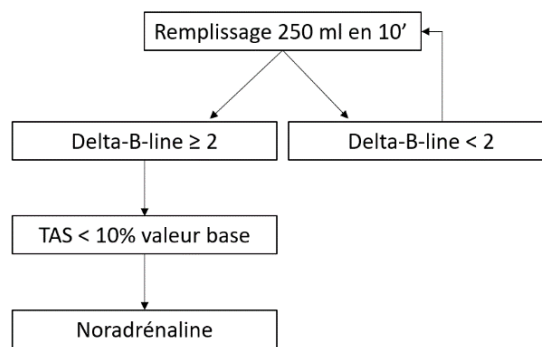


Figure 4. Algorithme de prise en charge au sein du groupe « échographie pulmonaire »

Méthode pour la randomisation :

Les patients étaient randomisés en deux groupes parallèles en ouvert. La randomisation était effectuée à l'aide du logiciel Ennov Clinical, mis en place par un data manager de la direction de la recherche clinique et de l'innovation du CHU d'Amiens. Il s'agissait d'une randomisation par liste avec blocs aléatoires de taille fixe.

Après vérification des critères d'inclusion et de non-inclusion, les patients étaient assignés aléatoirement à l'un des groupes via une randomisation centralisée. Le résultat de la randomisation s'affichait sous la forme : « prise en charge habituelle » ou « échographie pulmonaire ».

Critères de jugement principal et secondaires :

Le critère de jugement principal de l'étude était un critère composite défini par l'apparition d'au moins une défaillance d'organe ou par la survenue du décès dans les 7 jours post-opératoires.

Les défaillances d'organes étaient définies selon les recommandations de la Société Européenne d'Anesthésie (ESA) et de la Société Européenne de réanimation (ESICM) (25).

Définition des défaillances d'organes :

- Neurologiques :
 - Accident vasculaire cérébral confirmé par un examen tomodensitométrique
 - Trouble confusionnel et désorientation temporo-spatiale
- Respiratoires :
 - Syndrome de détresse respiratoire aiguë défini par une polypnée > 25, mise en jeu des muscles respiratoire accessoires ou un pH < 7,25 et un « ALI » défini par une détresse respiratoire avec un rapport PaO₂/FiO₂ < 300 mmHg, une PaO₂ < 80 mmHg sous masque à haute concentration ou un syndrome de détresse respiratoire de l'adulte défini par une détresse respiratoire avec un rapport PaO₂/FiO₂ < 200 mmHg
 - Embolie pulmonaire confirmée par un angioscanner
 - Intubation oro-trachéale prolongée, de plus de 24h
 - Réintubation oro-trachéale
- Cardiovasculaires :
 - Insuffisance cardiaque aigue systolique confirmée par une altération échocardiographique de la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) par rapport à la valeur de base préopératoire
 - Insuffisance cardiaque droite confirmée par une altération échocardiographique de la fonction systolique et/ou diastolique droite
 - Œdème aigu pulmonaire de surcharge confirmé par l'examen clinique et l'échocardiographie et conduisant à un traitement médical
 - Insuffisance circulatoire aigue nécessitant un traitement par inotrope positifs (adrénaline, dobutamine, inhibiteur des phosphodiesterase, lévosimendan)
 - Dommage myocardique post-opératoire : élévation de la troponine I ou T supérieure au 99^{ème} percentile

- Infarctus du myocarde défini par une augmentation des enzymes cardiaques (CPK-MB, troponine T ou troponine I) et l'apparition d'une onde Q, d'un sus-décalage du segment ST ou d'un trouble de repolarisation sur l'ECG
- Troubles du rythme supraventriculaire définis par la survenue d'un flutter auriculaire ou d'une arythmie complète par fibrillation auriculaire objectivée par un enregistrement électrocardioscopique
- Troubles du rythme ventriculaire définis par la survenue d'une tachycardie ventriculaire objectivée par un enregistrement électrocardioscopique
- Insuffisance rénale aigüe, définie par une augmentation d'au moins 50 % et/ou de 26,5 $\mu\text{mol/L}$ de la créatininémie post-opératoire par rapport à la valeur basale préopératoire et/ou une diurèse inférieure à 0,5 mL/kg/h sur 6 heures (définition de la société internationale de néphrologie AKIN)
- Digestives :
 - Ischémie mésentérique ou colite ischémique documentée par imagerie scanographique et/ou coloscopique et/ou chirurgicale
 - Hémorragie digestive (haute ou basse) définie par la survenue d'une hématomèse, un méléna ou d'une rectorragie
 - Iléus post-opératoire défini par un arrêt ou un ralentissement transitoire du transit intestinal de plus de 48h
- Hémorragiques :
 - Saignement post opératoire
 - Coagulation intravasculaire disséminée
 - Transfusion en dérivés sanguins : culots globulaires, plaquettes, plasma frais congelé
- Infectieux :
 - Infection du site opératoire définie par la survenue d'une infection de paroi (abcès, écoulement purulent) ou définie par documentation bactérienne.
 - Infection urinaire post-opératoire symptomatique ou asymptomatique définie par la mise en évidence d'un germe $> 10^5$ UFC/mm³ dans les urines
 - Pneumopathie définie par l'apparition de nouveaux infiltrats pulmonaires plus au moins deux des critères suivants : 1) Fièvre $> 38,5^\circ\text{C}$ ou hypothermie $< 35,5^\circ\text{C}$; 2) leucopénie $< 4\ 000$ globules blancs (GB)/mm³ ou hyperleucocytose $> 12\ 000$ GB/mm³ ; 3) sécrétions purulentes. La confirmation bactériologique sera faite par la présence de micro-organismes dans les prélèvements

bronchiques, un examen cyto bactériologique des crachats (ECBC) $> 10^7$ UFC/mm³, aspiration bronchique $> 10^5$ UFC/mm³, lavage bronchoalvéolaire (LBA) $> 10^4$ UFC/mm³, prélèvement distal protégé (PDP) ou brosse protégée $> 10^3$ UFC/mm³).

- Bactériémie définie par la présence d'une hémoculture positive à un germe pathogène
- Infection d'un cathéter (veineux central, artériel) défini par la mise en évidence en culture du même microorganisme sur le cathéter ($> 10^3$ UFC/mL) et sur au moins 1 hémoculture prélevée en périphérie
- Syndrome inflammatoire de réponse systémique (SIRS) défini par la présence d'au moins deux des critères suivants : 1) Température corporelle $< 36^\circ\text{C}$ ou $> 38^\circ\text{C}$; 2) Fréquence cardiaque > 90 battements/min ; 3) Fréquence respiratoire > 20 cycles/min ou sur l'analyse des gaz du sang : une PaCO₂ < 32 mmHg ; 4) Leucocytes $< 4000/\text{mm}^3$ ou $> 12000/\text{mm}^3$ ou présence de formes immatures circulantes ($> 10\%$ des cellules)
- Sepsis défini par la présence d'un SIRS en réponse à un processus infectieux confirmé ; une infection suspectée ou prouvée (par culture, par polymérase chain réaction (PCR)), ou un syndrome clinique pathognomonique d'une infection. Les arguments spécifiques d'infection incluent la présence de globules blancs dans un liquide normalement stérile (tels que l'urine ou le liquide céphalo-rachidien), arguments en faveur d'une perforation viscérale (présence d'air sur un abdomen sans préparation (ASP) ou un examen tomographique abdominal/thoracique (TDM), signes de péritonite aiguë), présence d'une pneumopathie sur une radiographie thoracique, pétéchies, purpura ou purpura fulminans.
- Sepsis sévère défini par la présence d'un sepsis avec dysfonction d'organe, hypotension artérielle ou hypoperfusion.
- État de choc septique défini par la présence d'un sepsis avec une hypotension ou une hypoperfusion réfractaire malgré un remplissage vasculaire adéquat et la mise en route de catécholamines en perfusion continue après la chirurgie ; le signe d'une hypoperfusion systémique peut être une dysfonction d'organe ou la présence d'un taux de lactate sanguin > 4 mmol/dL. Les autres signes incluent une oligurie, une altération des fonctions cognitives.

- Décès durant l'hospitalisation et à trente jours. La recherche de l'état vivant/décédé sera effectuée par un appel téléphonique à 30 jours.

Les critères de jugement secondaires regroupaient :

- La durée de séjour hospitalier
- Le nombre total de complications par patient
- La mortalité post-opératoire à J30
- Le total des solutés administrés en peropératoire
- L'évolution du score SOFA calculé aux 1^{er}, 2^{eme} et 7^{eme} jours postopératoires

Analyses statistiques :

Pour la description des caractéristiques de la population, les variables quantitatives ont été décrites à l'aide de la moyenne (écart type) et de la médiane [intervalle interquartile] selon la normalité de la distribution. Les variables qualitatives ont été décrites par leur fréquence avec un intervalle de confiance de 95%.

Les analyses statistiques pour le critère de jugement principal ont été effectuées en intention de traiter modifiée, permettant d'inclure tous les patients randomisés ayant initié l'étude interventionnelle, ayant poursuivi l'essai, et n'ayant pas retiré leur consentement pour l'utilisation des données. Pour l'analyse du critère principal, l'hypothèse nulle a été rejetée au profit de l'hypothèse alternative à l'aide d'un test du χ^2 avec un risque de première espèce bilatéral de 5%. Le risque relatif a été calculé ainsi que la différence absolue avec un intervalle de confiance à 95%.

Pour l'analyse des critères secondaires : le total des solutés en peropératoire et la durée de séjour hospitalier ont été comparés entre les deux bras à l'aide d'un test t de Student ou de Wilcoxon pour échantillons indépendants selon la normalité de la distribution. La différence d'incidence de chaque complication (incluant le décès) était comparée à l'aide du test du χ^2 ou d'un test de Fisher. L'évolution du score SOFA a été comparée entre les deux bras avec un modèle mixte d'analyse de variance. Les comparaisons post-hoc ont été réalisées en ajustant le risque alpha selon la méthode de Hochberg. Une transformation logarithmique était réalisée s'il existe un écart important à la normalité.

L'ensemble de l'analyse statistique a été réalisé avec le logiciel SAS® (version 9.4).

Taille de l'échantillon :

Selon la littérature, la proportion des complications post-opératoires (défaillances d'organe) de la population cible est située entre 30-50% d'après l'étude de Grocott MPW et al (26). L'inclusion de 170 patients dans chaque bras devait permettre de montrer que l'optimisation hémodynamique basée sur l'utilisation de l'échographie pulmonaire permettait une diminution relative de manière cliniquement significative de 30% ces complications (passage de 50% dans le groupe contrôle à 35% dans le bras expérimental). Ces calculs ont été réalisés avec un risque alpha de 5% et une puissance de 80%, un pourcentage de complications de 50% dans le bras contrôle (approche conservative nécessitant le plus de patients). En se basant sur ces résultats, et après prise en compte de potentiels écarts de protocole ou de retrait de consentement, nous avons prévu d'inclure 350 patients (175 dans chaque bras).

L'analyse présentée ici est une analyse intermédiaire à mi-parcours des inclusions (175 patients). La différence était jugée significative pour une valeur p unilatérale inférieure à 0,003 (Lan et Demets.Procédure, seddesign SAS) et un arrêt pour efficacité pouvait ainsi être envisagé.

III. RÉSULTATS

Population de l'étude :

175 patients ont été inclus. Les données pour le critère de jugement principal étaient disponibles pour 170 patients (84 dans le groupe échographie pulmonaire et 86 dans le groupe contrôle) qui ont complété l'essai et ont été inclus dans l'analyse en intention de traiter modifiée. (Figure 5)

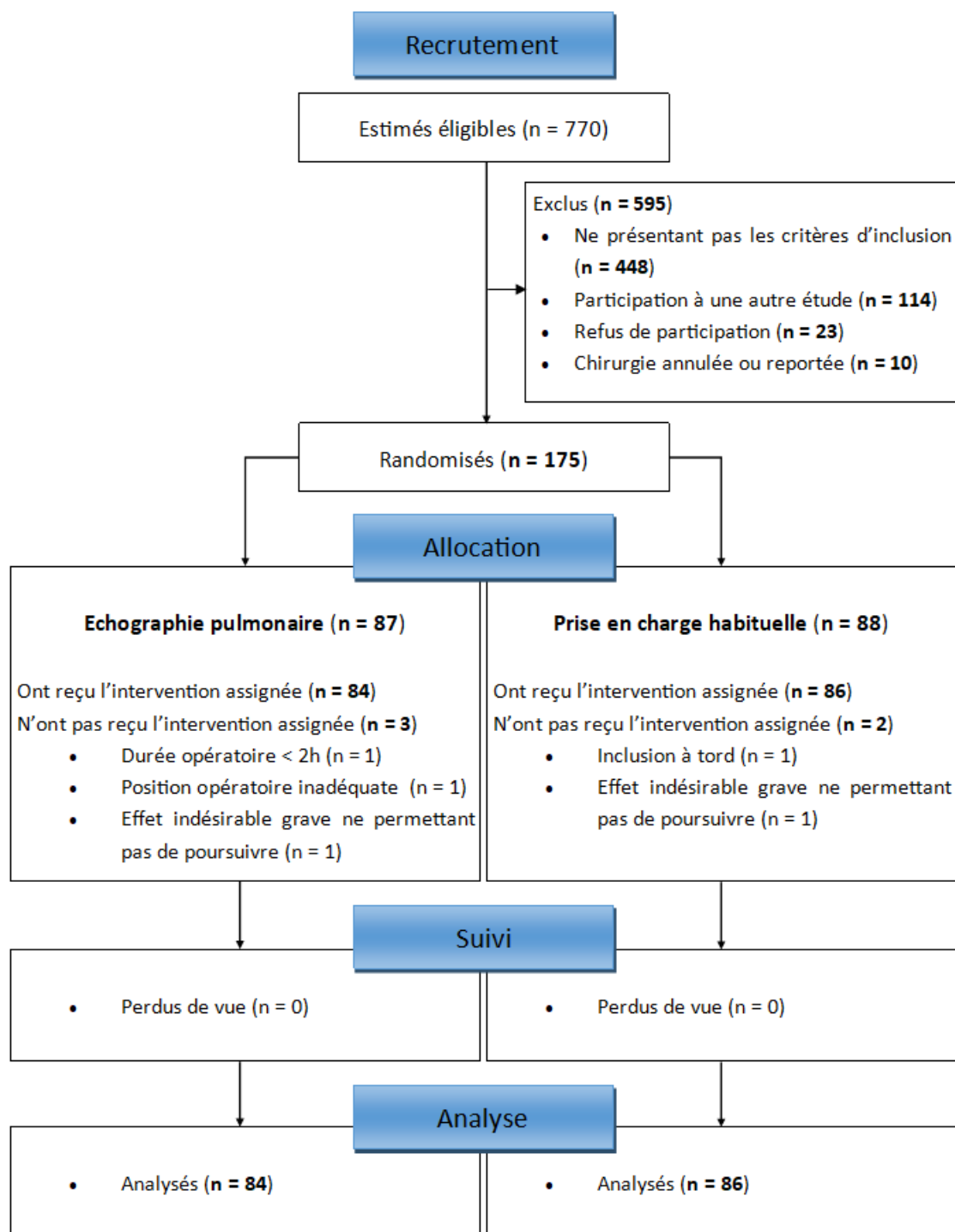


Figure 5. Diagramme de flux

En ce qui concerne les caractéristiques démographiques générales de la population, le groupe contrôle et le groupe échographie pulmonaire étaient comparables. (Tableau 1) Le type de chirurgie était exclusivement de la chirurgie abdominale.

Tableau 1. Caractéristiques de la population

Données exprimées en médiane [intervalle interquartile] ou en valeur absolue (pourcentage).

Abréviations utilisées : BPCO : BronchoPneumopathie Chronique Obstructive, FEVG : Fraction d'Ejection Ventriculaire Gauche, AIT : Accident Ischémique Transitoire.

Caractéristiques	Echographie pulmonaire (n = 84)	Prise en charge habituelle (n = 86)
Ages (années)	68 [64-74]	70 [63-55]
Sexe masculin ; n (%)	62 (74%)	28 (33%)
Sexe féminin	22 (26%)	58 (67%)
Taille (cm)	170 [165-173]	170 [163-177]
Poids (kg)	80 [68-91]	80 [69-90]
Score ASA ; n (%)		
2	27 (32%)	33 (38%)
3	57 (68%)	53 (62%)
Antécédents ; n (%)		
Hypertension artérielle	55 (65%)	62 (72%)
Tabagisme actif	19 (23%)	13 (15%)
Dysfonction ventriculaire gauche	1 (1.2%)	2 (2,3%)
BPCO	5 (6.0%)	9 (10%)
Accident vasculaire cérébral / AIT	5 (6%)	6 (7%)
Insuffisance rénale chronique	8 (9.5%)	6 (7%)
Bilan biologique préopératoire		
Créatinine plasmatique ; µmol/L	83 [65-109]	72 [60-87]
Hémoglobine ; g/dL	13,3 [11,9-14,7]	13,7 [12,0-14,8]

Données per-opératoires :

Il n'y avait pas de différence significative entre les deux bras concernant les protocoles anesthésiques utilisés, les paramètres ventilatoires initiaux et la durée de la chirurgie. De même, aucune différence significative n'a été relevée concernant le volume d'administration de cristalloïdes ou de colloïdes peropératoire, les valeurs de diurèse et de pertes sanguines, les fréquences d'apparition d'une complication chirurgicale ou hémorragique peropératoire et la fréquence de transfusion sanguine. La dose de vasopresseurs utilisée dans les deux groupes était comparable. (Tableau 2)

Tableau 2. Description des paramètres per-opérateurs

Données exprimées en médiane [intervalle interquartile] ou en valeur absolue (pourcentage).

Abréviations utilisées : PAS : Pressions Artérielle Systolique, IQR : Intervalle Interquartile.

Caractéristiques	Echographie pulmonaire (n = 84)	Prise en charge habituelle (n = 86)	P-value
Entretien de l'anesthésie générale ; n (%)			
Intraveineux	1 (1,2%)	1 (1,2%)	0,9
Gaz halogénés	83 (99%)	83 (97%)	0,6
Durée de la chirurgie ; min	200 [148-300]	195 [150-270]	0,7
Paramètres ventilatoires initiaux :			
Volume courant (mL/kg)	5,76 [5,12-6,81]	5,85 [5,12-6,56]	0,9
Fréquence respiratoire (cycles/min)	15 [14-16]	15 [14-16]	0,8
Pression Positive en Fin d'Expiration (cmH ₂ O)	7 [6-7]	7 [5-7]	0,8
Complications peropératoires ; n (%)			
Chirurgicales	12 (14%)	13 (15%)	0,9
Hémorragiques	10 (12%)	9 (11%)	0,6
Remplissage peropératoire ; médiane [IQR]			
Cristalloïdes durant la chirurgie (mL)	3000 [2000-3625]	2500 [2000-3500]	0,9
Remplissage total (mL/kg/heure)	11,7 [7,8-14,2]	10,1 [8,1-14,1]	0,9
Transfusion ; n (%)	8 (10%)	6 (7%)	0,5
Pertes sanguines (mL)	400 [150-700]	400 [250-725]	0,3
Diurèse cumulée (mL)	1,6 [1,2-2,3]	1,6 [1,2-2,3]	0,6
Vasopresseurs et inotropes peropératoires :			
Noradrénaline ; n (%)	72 (86%)	69 (80%)	0,3
Dose cumulée de noradrénaline pendant la chirurgie (mg)	0,05 [0,03-0,14]	0,10 [0,06-0,15]	0,12
Hospitalisation :			0,9
Service d'hospitalisation conventionnel ; n (%)	41 (49%)	43 (50%)	
Réanimation et soins continus ; n (%)	43 (51%)	43 (50%)	

Des 679 delta-B-line collectées dans le groupe échographie pulmonaire, 76 (11,2%) étaient supérieures ou égale à 2 parmi 39 patients (46,4%).

Comme le montre la Figure 6, la pression artérielle systolique diminuait au cours du temps ($p < 0,0001$) sans différence entre les deux groupes ($p = 0,089$). Le delta-B-line ne présentait pas de variation significative au cours du temps ($p = 0,455$). La ventilation minute augmentait au cours du temps ($p = 0,0067$) sans différence entre les 2 groupes ($p = 0,826$). Le débit cardiaque ne présentait pas de variation significative au cours du temps et ne différait pas entre les 2 groupes ($p = 0,187$). Durant la chirurgie, le débit cardiaque moyen était de $4,95 \pm 1,65$ l/min dans le groupe échographie pulmonaire et de $5,12 \pm 1,46$ l/min dans le groupe contrôle (différence = $-0,17$ (IC95% = $[-1,0 ; 0,65]$; $p = 0,5934$)). (Figure 6)

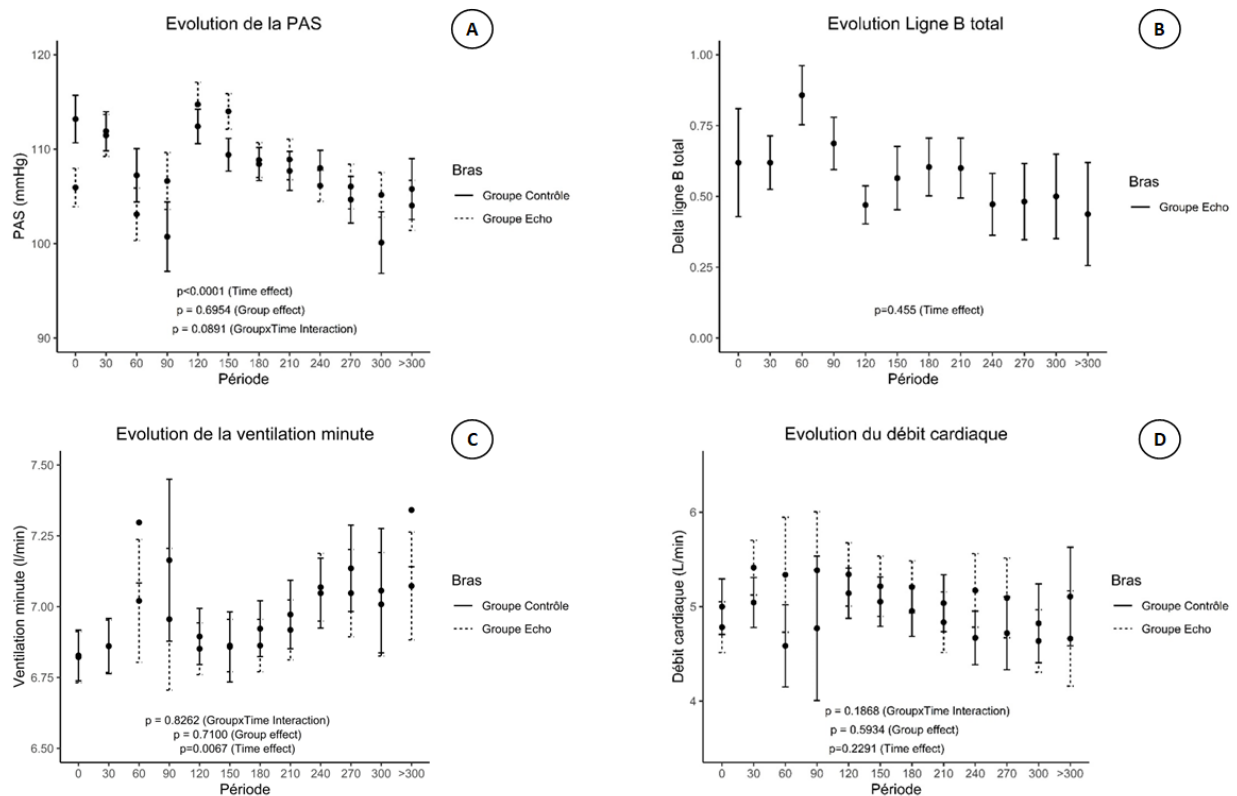


Figure 6. Evolution de la pression artérielle systolique (A), du delta-B-Line (B), de la ventilation minute (C) et du débit cardiaque (D) au cours du temps au sein des 2 groupes

Critères de jugement :

Critère de jugement principal :

Dans le groupe échographie pulmonaire, 37 patients, soit 44% des patients inclus, ont présenté le critère de jugement principal contre 34 patients dans le groupe prise en charge habituelle, soit 40% des patients. Le risque relatif de 4,5 (IC 95% = [-11 - 21]) observé entre les 2 groupes n'était pas statistiquement significatif ($p = 0,7$). (Tableau 3)

Critères de jugement secondaires :

Il n'a pas été mis en évidence de différence significative de mortalité toute cause confondue à 30 jours (3,6% dans le groupe échographie pulmonaire versus 2,3% dans le groupe contrôle, $p = 0,9$). De même, il n'y avait pas de différence significative concernant la durée de séjour hospitalier et le score SOFA calculé aux 1^{er}, 2^{eme} et 7^{eme} jours postopératoires. La proportion de chaque complication était similaire dans les deux groupes. (Tableau 3)

Tableau 3. Incidence des complications post-opératoires

Données exprimées en médiane [intervalle interquartile] ou en valeur absolue (pourcentage).

Abréviations utilisées : IQR : Intervalle Interquartile, SDRA : Syndrome de Détresse Respiratoire Aigüe, AVC : Accident Vasculaire Cérébral.

^a Le critère de jugement principal de l'étude était un critère composite des complications majeures ou décès dans les 7 jours post-opératoires.

^b Score SOFA sur une échelle de 0 à 4 (4 étant le plus haut score pour la dysfonction d'organe la plus sévère).

^c Intubation trachéale pour cause de complications chirurgicales n'était pas considérée comme une réintubation.

^d L'insuffisance rénale aigüe était estimée avec le système de classification AKIN.

Critère de jugement	Echographie pulmonaire (n = 84)	Prise en charge habituelle (n = 86)	Risque relatif (95% CI)	Différence absolue (95% IC)	P-value
Critère de jugement principal ^a	37 (44%)	34 (40%)	4,5 (-11-21)	4% (-10%-19%)	0,7
Critères de jugement secondaires					
Mortalité à 30 jours ; n (%)	3 (3,6%)	2 (2,3%)	0,07 (-0,23-0,37)	1,54% (0,26%-8,96%)	0,9
Durée de séjour hospitalier ; médiane [IQR]	8 [4-13]	7 [4-13]	/	/	0,9
Score SOFA ^b ; médiane [IQR]					
Jour 1	1 [1-3]	1 [1-3]	/	/	0,9
Jour 2	2 [1-3]	1,50 [1-3]	/	/	0,3
Jour 3	4,5 [1,8-5,8]	6 [2-7]	/	/	0,9
Complications dans les 7 jours, n (%)					
Complications cardiovasculaires					
Ischémie myocardique	0 (0%)	0 (0%)	NA	NA	NA
Arythmie	0 (0%)	0 (0%)	NA	NA	NA
Œdème aigu pulmonaire	0 (0%)	0 (0%)	NA	NA	NA
Insuffisance cardiaque aigüe	0 (0%)	0 (0%)	NA	NA	NA
Insuffisance circulatoire aigüe	2 (2,4%)	3 (3,6%)	NA	-1,2% (-7,6%-5,1%)	0,9

Complications respiratoires					
Réintubation ^c	0 (0%)	1 (1,2%)	-1,2 (-4,6-2,3)	NA	0,9
Ventilation invasive ou non invasive	1 (1,2%)	0 (0%)	1,2 (-2,3-4,7)	NA	0,9
SDRA	1 (1,2%)	1 (1,2%)	0,01 (-3,3-3,3)	1,01% (0,06%-15,91%)	0,9
Embolie pulmonaire	2 (2,4%)	0 (0%)	2,4 (-2,1-6,8)	NA	0,5
Complications digestives					
Saignement gastro-intestinal	0 (0%)	0 (0%)	NA	NA	NA
Ischémie digestive	0 (0%)	0 (0%)	NA	NA	NA
Iléus réflexe	12 (14%)	7 (8,2%)	6,2 (-4,5-17)	1,76% (0,73%-4,24%)	0,3
Complications rénales					
Insuffisance rénale aigue ^d	13 (15%)	13 (15%)	0,36 (-11-12)	1,02% (0,5%-2,08%)	0,9
Complications infectieuses					
Infection urinaire	1 (1,2%)	2 (2,4%)	-1,1 (-6,3-4,1)	0,52% (0,05%-5,61%)	0,9
Infection du site opératoire	13 (16%)	13 (15%)	0,57 (-11-12)	1,04% (0,51%-2,1%)	0,9
Sepsis	2 (2,5%)	0 (0%)	2,5 (-2,1-7,1)	NA	0,5
Pneumopathie nosocomiale	4 (4,9%)	2 (2,4%)	2,6 (-4,4-9,5)	2,07% (0,39%-11,01%)	0,6
Choc septique	2 (2,5%)	4 (4,8%)	-2,3 (-9,2-4,6)	0,52% (0,1%-2,75%)	0,7

<i>Complications hémorragiques</i>					
Saignement post-opératoire	2 (2,5%)	4 (4,9%)	-2,4 (-9,4-4,6)	0,51% (0,1%-2,69%)	0,7
Coagulation Intravasculaire Disséminée	1 (1,2%)	0 (0%)	1,2 (-2,4-4,9)	NA	0,9
Transfusion en dérivés sanguins	7 (8,6%)	9 (11%)	-2,3 (-13-8)	0,79% (0,31%-2,01%)	0,8
<i>Complications neurologiques</i>					
Confusion	3 (3,6%)	3 (3,5%)	0,04 (-56-5,7)	1,01% (0,21%-4,87%)	0,9 NA
AVC	0 (0%)	0 (0%)	NA	NA	

IV. DISCUSSION

Dans cette analyse intermédiaire d'un essai contrôlé randomisé, nous n'avons pas mis en évidence de différence d'incidence de complications postopératoires chez les patients ayant bénéficié d'une chirurgie majeure non cardiaque entre les groupes « échographie pulmonaire » et « prise en charge habituelle ».

L'évaluation hémodynamique per-opératoire est primordiale et un défi permanent. De nombreux outils évaluant le débit cardiaque et la précharge dépendance sont utilisés de nos jours, mais leur précision reste modeste (7). Chaque technique de monitoring et de mesure d'indice comporte ces propres avantages et inconvénients (27). Enfin, l'adhésion ou la faible compliance au protocole d'optimisation hémodynamique impliqué par ces méthodes, sont source de variabilité et montrent la nécessité de trouver des indices basés sur des outils déjà bien connus des praticiens (28). L'échographie pulmonaire, quant à elle, offre de nombreux avantages : elle est non irradiante, non invasive, et présente une courbe d'apprentissage rapide (21). Elle peut donc potentiellement être utilisée en routine pour éviter une surcharge liquidienne per opératoire et ainsi la survenue de complications pulmonaires post-opératoires. Rappelons que les lignes B sont absentes chez les patients euvolémiques et apparaissent avant les symptômes cliniques ou les signes de surcharge hydrique (19). L'échographie pulmonaire peut donc permettre une surveillance continue des lignes B dès leur apparition ainsi que des réévaluations dynamiques de l'état volémique du patient. Par ailleurs, son faible coût et le développement d'appareils portables la rendent désormais disponible dans de nombreuses salles d'opération. Elle se révèle être un outil prometteur, simple d'utilisation, d'autant plus que la reproductibilité inter-observateur est bonne (20,29).

Les complications respiratoires postopératoires après une chirurgie abdominale majeure sont fréquentes et responsables d'une morbidité et d'une mortalité élevées. Notre précédente étude retrouvait d'ailleurs une association entre le delta de lignes B final et l'incidence des complications respiratoires postopératoires (20). Une récente étude s'est également intéressée à l'identification précoce des patients à risque de complications respiratoires à l'aide d'un score échographique pulmonaire (Lung Ultrasound Score) (30). Elle a démontré qu'un score élevé au premier jour postopératoire était associé à la survenue de complications respiratoires après une chirurgie abdominale majeure. L'identification précoce des patients à risque de complications pulmonaires par échographie pourrait donc permettre la mise en œuvre de stratégies préventives.

En dépit de ces avantages et de ces résultats, nous n'avons pas pu montrer qu'un algorithme de GDT intégrant l'échographie pulmonaire améliorerait la morbi-mortalité postopératoire. Néanmoins, nos résultats restent dans la même lignée que ceux des dernières études randomisées concernant la thématique de la GDT (31–33).

Plusieurs éléments peuvent expliquer ces résultats. Premièrement, l'optimisation du débit cardiaque et de la pression artérielle en peropératoire, qui étaient jusqu'alors les principaux leviers de l'optimisation hémodynamique moderne, ne sont peut-être pas les principaux déterminants de l'incidence des complications post-opératoires (34–36). Une récente méta-analyse a révélé que la GDT pouvait réduire la mortalité et raccourcir la durée de séjour hospitalier mais avec un bas niveau de preuve dû à une large hétérogénéité des populations, une grande variabilité des moyens de monitoring et des cibles physiologiques (37). En effet, l'hétérogénéité des pratiques entourant le concept de GDT rend plus difficile l'établissement d'une base de preuves solide pour confirmer son efficacité globale (38). Les dernières études randomisées montrent des différences notables entre elles en ce qui concerne le type de monitoring hémodynamique, la durée d'optimisation péri opératoire et ses objectifs (27,39). D'autre part, la contribution d'une dysfonction microcirculatoire ou mitochondriale jouerait aussi un rôle clé dans la pathogénèse des complications périopératoires (40,41).

Deuxièmement, nous pouvons discuter de la capacité de l'apparition des lignes B à détecter précocement la survenue d'une précharge indépendance. Comme nous l'avons constaté, la fréquence de l'événement « delta-B-line supérieur ou égal à 2 » est rare et la principale conséquence pourrait en être un remplissage vasculaire poursuivi à tort. En effet, nous retrouvons des quantités de remplissage vasculaire pouvant être caractérisées comme « libérales » au sein du groupe échographie pulmonaire, mais également au sein du groupe contrôle (42). Par ailleurs, il a été démontré qu'une stratégie de remplissage « libérale » était associée à des valeurs plus élevées de débit cardiaque (43). Or, nous avons constaté que les valeurs de delta-B-line, tout comme celles du débit cardiaque, étaient maximales dans les 60 minutes suivant le début de la chirurgie. Cela laisse donc supposer que le remplissage vasculaire était apporté de façon plus importante précocement au sein du groupe « échographie pulmonaire ». Cette cinétique d'augmentation parallèle du delta-B-line et du débit cardiaque au cours de la chirurgie permettrait de démontrer la capacité de l'apparition des lignes B à détecter la survenue d'une précharge indépendance avec une bonne sensibilité comme cela avait déjà été publié (20).

Enfin, le seuil diagnostique d'une absence de réponse au remplissage vasculaire peut sembler faible (apparition d'un total de 2 lignes B dans les 4 zones prédéfinies) en considérant les connaissances actuelles qui suggèrent un nombre de lignes B supérieur ou égal à 3 pour le diagnostic d'œdème pulmonaire (13). Nous pouvons expliquer ce seuil bas par le fait que l'anesthésiste en charge du patient était présent pour détecter l'œdème interstitiel à un stade très précoce alors que les patients ayant un œdème pulmonaire sont souvent explorés à un stade plus avancé. Ainsi, l'excès de fluide interstitiel peut envahir un ou deux septas interlobulaires sous-pleuraux, qu'il est possible de détecter en temps quasi-réel, laissant les autres septas vides. Une étude précédente a montré que les « fusées pleurales » (2 lignes B) pouvait indiquer un stade précoce d'œdème pulmonaire (11).

Notre étude comporte plusieurs points forts. Le premier est l'utilisation d'un protocole de stratégie d'optimisation hémodynamique pour les deux groupes. Ensuite, nous avons utilisé des critères d'inclusions précis pour sélectionner les patients particulièrement à risque de complications après une chirurgie majeure (39). Enfin, aucun patient inclus n'a été perdu de vue pour l'analyse du critère de jugement principal qui a été défini selon des recommandations européennes (25).

Cette étude présentait plusieurs limites. Premièrement, elle n'a pas pu être réalisée en aveugle. Le risque de biais est néanmoins minimisé par la randomisation en ligne qui assure la dissimulation de l'assignation au groupe, par la nature simple et reproductible du critère de jugement principal, et par le fait que les soignants recueillant les données post-opératoires ne connaissaient pas l'assignation des patients.

Une autre limite existe dans l'interprétation de l'apparition des lignes B au cours de la chirurgie. Afin de limiter l'apparition de faux positifs, nous avons prévenus les atelectasies qui surviendraient au cours de l'intervention, grâce à des manœuvres de recrutement. Nous avons été contraints de retirer les patients présentant une maladie pulmonaire aiguë suspectée ou avérée, ou une maladie pulmonaire interstitielle chronique. En effet, la présence fréquente, chez ces patients, de nombreuses lignes B initiales pouvait rendre difficile la prise en compte de l'apparition de nouvelles lignes B.

Enfin, nous devons garder à l'esprit qu'un patient bien que précharge dépendant, peut être intolérant à l'administration de fluides. La mesure du delta de lignes B au cours de l'intervention est donc un marqueur de tolérance à l'administration de fluides peropératoires. A

l'avenir, des études complémentaires devront être réalisées en tenant compte de ce critère d'évaluation.

V. CONCLUSION

Cette analyse intermédiaire d'un essai contrôlé randomisé, n'a pas mis en évidence de différence d'incidence de complications postopératoires chez les patients ayant bénéficié d'une chirurgie majeure non cardiaque entre les groupes « échographie pulmonaire » et « prise en charge habituelle ». Les résultats de l'analyse finale seront nécessaires pour démontrer l'intérêt d'intégrer l'échographie pulmonaire au sein d'un algorithme de prise en charge hémodynamique au bloc opératoire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Phan TD, Ismail H, Heriot AG, Ho KM. Improving perioperative outcomes: fluid optimization with the esophageal Doppler monitor, a metaanalysis and review. *J Am Coll Surg.* déc 2008;207(6):935-41.
2. Donati A, Loggi S, Preiser JC, 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.* 9 mai 2018;19(1):273.
4. Optimisation hémodynamique périopératoire - Adulte dont obstétrique [Internet]. Société Française d'Anesthésie et de Réanimation. [cité 2 mai 2024]. Disponible sur: <https://sfar.org/download/optimisation-hemodynamique-perioperatoire-adulte-dont-obstetrique/>
5. Vallet B, Blanloeil Y, Cholley B, Orliaguet G, Pierre S, Tavernier B, et al. [Guidelines for perioperative haemodynamic optimization. Société française d'anesthésie et de réanimation]. *Ann Fr Anesth Reanim.* juin 2013;32(6):454-62.
6. 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: POEMAS Study (PeriOperative goal-directed thErapy in Major Abdominal Surgery). *Anesth Analg.* sept 2014;119(3):579-87.
7. Joosten A, Desebbe O, Suehiro K, Murphy LSL, 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.
8. 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.

9. 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.* 20 déc 2016;6:39426.
10. 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.
11. Ferré A, Guillot M, Lichtenstein D, Mezière G, Richard C, Teboul JL, et al. Lung ultrasound allows the diagnosis of weaning-induced pulmonary oedema. *Intensive Care Med.* mai 2019;45(5):601-8.
12. Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* nov 1997;156(5):1640-6.
13. 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.* avr 2012;38(4):577-91.
14. Soldati G, Inchingolo R, Smargiassi A, Sher S, Nenna R, Inchingolo CD, et al. Ex vivo lung sonography: morphologic-ultrasound relationship. *Ultrasound Med Biol.* juill 2012;38(7):1169-79.
15. Lichtenstein D. FALLS-protocol: lung ultrasound in hemodynamic assessment of shock. *Heart Lung Vessels.* 2013;5(3):142-7.
16. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest.* juin 2015;147(6):1659-70.
17. Picano E, Scali MC. The lung water cascade in heart failure. *Echocardiogr Mt Kisco N.* oct 2017;34(10):1503-7.
18. Gargani L, Lionetti V, Di Cristofano C, Bevilacqua G, Recchia FA, Picano E. Early detection of acute lung injury uncoupled to hypoxemia in pigs using ultrasound lung comets. *Crit Care Med.* déc 2007;35(12):2769-74.
19. Trezzi M, Torzillo D, Ceriani E, Costantino G, Caruso S, Damavandi PT, et al. Lung ultrasonography for the assessment of rapid extravascular water variation: evidence from hemodialysis patients. *Intern Emerg Med.* août 2013;8(5):409-15.

20. Bar S, Yee C, Lichtenstein D, Sellier M, Leviel F, Abou Arab O, et al. Assessment of fluid unresponsiveness guided by lung ultrasound in abdominal surgery: a prospective cohort study. *Sci Rep.* 25 janv 2022;12(1):1350.
21. Noble VE, Lamhaut L, Capp R, Bosson N, Liteplo A, Marx JS, et al. Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers. *BMC Med Educ.* 12 janv 2009;9:3.
22. 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. *Am J Cardiol.* 15 mai 2004;93(10):1265-70.
23. 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 Med Biol.* juin 2018;44(6):1212-6.
24. Arbelot C, Dexheimer Neto FL, Gao Y, Brisson H, Chunyao W, Lv J, et al. Lung Ultrasound in Emergency and Critically Ill Patients: Number of Supervised Exams to Reach Basic Competence. *Anesthesiology.* avr 2020;132(4):899-907.
25. 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: a statement from the ESA-ESICM joint taskforce on perioperative outcome measures. *Eur J Anaesthesiol.* févr 2015;32(2):88-105.
26. Grocott MPW, Browne JP, Van der Meulen J, Matejowsky C, Mutch M, Hamilton MA, et al. The Postoperative Morbidity Survey was validated and used to describe morbidity after major surgery. *J Clin Epidemiol.* sept 2007;60(9):919-28.
27. Watson X, Cecconi M. Haemodynamic monitoring in the peri-operative period: the past, the present and the future. *Anaesthesia.* janv 2017;72 Suppl 1:7-15.
28. Joosten A, Rinehart J, Cannesson M. Perioperative goal directed therapy: evidence and compliance are two sides of the same coin. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* avr 2015;62(4):181-3.
29. Platz E, Pivetta E, Merz AA, Peck J, Rivero J, Cheng S. Impact of device selection and clip duration on lung ultrasound assessment in patients with heart failure. *Am J Emerg Med.* nov 2015;33(11):1552-6.

30. Boussier J, Lemasle A, Hantala N, Scatton O, Vaillant JC, Paye F, et al. Lung Ultrasound Score on Postoperative Day 1 Is Predictive of the Occurrence of Pulmonary Complications after Major Abdominal Surgery: A Multicenter Prospective Observational Study. *Anesthesiology*. 1 mars 2024;140(3):417-29.
31. Ackland GL, Iqbal S, Paredes LG, Toner A, Lyness C, Jenkins N, et al. Individualised oxygen delivery targeted haemodynamic therapy in high-risk surgical patients: a multicentre, randomised, double-blind, controlled, mechanistic trial. *Lancet Respir Med*. janv 2015;3(1):33-41.
32. H N LK, Tripathy S, Das PK. Central Venous-to-Arterial CO₂ Difference-Assisted Goal-Directed Hemodynamic Management During Major Surgery-A Randomized Controlled Trial. *Anesth Analg*. 1 mai 2022;134(5):1010-20.
33. Cheng XQ, Zhang JY, Wu H, Zuo YM, Tang LL, Zhao Q, et al. Outcomes of individualized goal-directed therapy based on cerebral oxygen balance in high-risk patients undergoing cardiac surgery: A randomized controlled trial. *J Clin Anesth*. déc 2020;67:110032.
34. Bar S, Moussa MD, Descamps R, El Amine Y, Bouhemad B, Fischer MO, et al. Determinants of postoperative complications in high-risk noncardiac surgery patients optimized with hemodynamic treatment strategies: A post-hoc analysis of a randomized multicenter clinical trial. *J Clin Anesth*. mai 2024;93:111325.
35. Ripollés-Melchor J, Abad-Motos A, Cecconi M, Pearse R, Jaber S, Slim K, et al. Association between use of enhanced recovery after surgery protocols and postoperative complications in colorectal surgery in Europe: The EuroPOWER international observational study. *J Clin Anesth*. sept 2022;80:110752.
36. Xu C, Peng J, Liu S, Huang Y, Guo X, Xiao H, et al. Goal-directed fluid therapy versus conventional fluid therapy in colorectal surgery: A meta analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg Lond Engl*. août 2018;56:264-73.
37. Jessen MK, Vallentin MF, Holmberg MJ, Bolther M, Hansen FB, Holst JM, et al. Goal-directed haemodynamic therapy during general anaesthesia for noncardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth*. mars 2022;128(3):416-33.
38. Kaufmann T, Clement RP, Scheeren TWL, Saugel B, Keus F, van der Horst ICC. Perioperative goal-directed therapy: A systematic review without meta-analysis. *Acta Anaesthesiol Scand*. nov 2018;62(10):1340-55.

39. Cecconi M, Corredor C, Arulkumaran N, Abuella G, Ball J, Grounds RM, et al. Clinical review: Goal-directed therapy-what is the evidence in surgical patients? The effect on different risk groups. *Crit Care Lond Engl*. 5 mars 2013;17(2):209.
40. Stens J, de Wolf SP, van der Zwan RJ, Koning NJ, Dekker NAM, Hering JP, et al. Microcirculatory perfusion during different perioperative hemodynamic strategies. *Microcirc N Y N* 1994. mai 2015;22(4):267-75.
41. Smilowitz NR, Redel-Traub G, Berger JS. Microvascular Disease and Perioperative Outcomes of Non-Cardiac Surgery. *Am J Cardiol*. 15 janv 2021;139:121-5.
42. Myles PS, Bellomo R, Corcoran T, Forbes A, Peyton P, Story D, et al. Restrictive versus Liberal Fluid Therapy for Major Abdominal Surgery. *N Engl J Med*. 14 juin 2018;378(24):2263-74.
43. Phan TD, Uda Y, Peyton PJ, Kluger R, Myles PS. Effect of fluid strategy on stroke volume, cardiac output, and fluid responsiveness in adult patients undergoing major abdominal surgery: a sub-study of the Restrictive versus Liberal Fluid Therapy in Major Abdominal Surgery (RELIEF) trial. *Br J Anaesth*. avr 2021;126(4):818-25.
44. Lichtenstein DA, Mezière GA, Lagoueyte JF, Biderman P, Goldstein I, Gepner A. A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest*. oct 2009;136(4):1014-20.
45. Loutradis C, Papadopoulos CE, Sachpekidis V, Ekart R, Krunic B, Karpetas A, et al. Lung Ultrasound-Guided Dry Weight Assessment and Echocardiographic Measures in Hypertensive Hemodialysis Patients: A Randomized Controlled Study. *Am J Kidney Dis Off J Natl Kidney Found*. janv 2020;75(1):11-20.
46. Volpicelli G, Skurzak S, Boero E, Carpinteri G, Tengattini M, Stefanone V, et al. Lung ultrasound predicts well extravascular lung water but is of limited usefulness in the prediction of wedge pressure. *Anesthesiology*. août 2014;121(2):320-7.
47. Gehlbach BK, Geppert E. The pulmonary manifestations of left heart failure. *Chest*. févr 2004;125(2):669-82.
48. Bihari S, Wiersema UF, Schembri D, De Pasquale CG, Dixon DL, Prakash S, et al. Bolus intravenous 0.9% saline, but not 4% albumin or 5% glucose, causes interstitial pulmonary edema in healthy subjects. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1 oct 2015;119(7):783-92.

49. Rabelink TJ, de Zeeuw D. The glycocalyx--linking albuminuria with renal and cardiovascular disease. *Nat Rev Nephrol.* nov 2015;11(11):667-76.

ANNEXES

Annexe 1 : Score SOFA

Calcul du score SOFA	0 point	1 point	2 points	3 points	4 points
PaO ₂ /FiO ₂	> 400	301-400	201-400	101-200 et VA	≤ 100 et VA
Plaquettes x10 ³ /mm ³	> 150	101-150	51-100	21-50	≤ 20
Bilirubine, mg/L (mmol/L)	< 12 (< 20)	12-19 (20-32)	20-59 (33-101)	60-119 (102-204)	> 120 (> 204)
Hypotension	PAM ≥ 70 mmHg	PAM < 70 mmHg	Dopamine ≤ 5 ou dobutamine (toute dose)	Dopamine > 5 ou adrénaline ≤ 0,1 ou noradrénaline ≤ 0,1	Dopamine > 15 ou adrénaline > 0,1 ou noradrénaline > 0,1
Score de Glasgow	15	13-14	10-12	6-9	< 6
Créatinine, mg/L (μmol/L) ou diurèse	< 12 (< 110)	12-19 (110-170)	20-34 (171-299)	35-49 (300-440) ou < 500 mL/j	> 50 (> 440) ou < 200 mL/j

VA : ventilation assistée. PAM : pression artérielle moyenne [estimée par PAS + 2 x PAD / 3]. Amines : dose en γ/kg/min.

Annexe 2 : Classification AKIN

Niveau	Critères AKIN	
	Créatinine	Diurèse
1	Augmentation Créatinine x 1,5 ou créatinémie > 26,2 μmol/L	< 0,5 mL/kg/h (pendant 6h)
2	Augmentation Créatinine x 2	< 0,5 mL/kg/h (pendant 12h)
3	Augmentation Créatinine x 3 ou créatinémie > 44 μmol/L	< 0,3 mL/kg/h (pendant 24h)

Abstract:

Introduction: Lung ultrasound detects the appearance of B-lines after vascular filling, a sign of independent preload. The aim was to demonstrate that lung ultrasound-guided haemodynamic optimisation reduced the incidence of postoperative complications.

Materials and Methods: This single-centre randomised clinical trial, which began in April 2022, is an interim analysis at the mid-point of enrolment. 175 patients at high risk of complications undergoing major non-cardiac surgery lasting at least 2 hours were included. The usual care group was treated according to current recommendations. The lung ultrasound group benefited from an algorithm based on the appearance of B lines after vascular filling. The primary outcome was complications or death within 7 days post-operatively. Secondary outcomes were length of hospital stay, 30-day mortality and volume of intraoperative fluids.

Results: Out of 170 patients analysed, the primary outcome occurred in 44% of patients in the lung ultrasound group and in 40% of patients in the control group ($p = 0.7$). Mortality at 30 days (3.6% vs. 2.3% in the control group; $p = 0.9$), length of hospital stay (8 [4-13] vs. 7 [4-13] days; $p = 0.9$) and total volume of intraoperative fluids administered (3000 [2000-3625] mL vs. 2500 [2000-3500] mL; $p = 0.9$) did not differ between the two groups.

Conclusion: In major surgery, the use of lung ultrasound did not reduce the number of complications or deaths within 7 days postoperatively.

Key words: anesthesia, hemodynamic optimization, lung ultrasound, high-risk surgery

Résumé :

Introduction : L'échographie pulmonaire détecte l'apparition de lignes B après remplissage vasculaire, signe d'une précharge indépendance. L'objectif était de démontrer que l'optimisation hémodynamique guidée par échographie pulmonaire diminuait l'incidence des complications postopératoires.

Matériels et Méthodes : Cet essai clinique randomisé monocentrique, débuté en avril 2022, est une analyse intermédiaire à mi-parcours des inclusions. 175 patients à haut risque de complications bénéficiant d'une chirurgie majeure non cardiaque d'au moins 2 heures ont été inclus. Le groupe prise en charge habituelle était traité selon les recommandations actuelles. Le groupe échographie pulmonaire bénéficiait d'un algorithme basé sur l'apparition de lignes B après remplissage vasculaire. Le critère de jugement principal comprenait les complications ou le décès dans les 7 jours postopératoires. Les critères de jugement secondaires étaient la durée de séjour hospitalier, la mortalité à 30 jours et le volume de solutés apportés en peropératoire.

Résultats : Sur 170 patients analysés, le critère de jugement principal est survenu chez 44% des patients du groupe échographie pulmonaire et chez 40% des patients du groupe contrôle ($p = 0,7$). La mortalité à 30 jours (3,6% vs 2,3% dans le groupe contrôle ; $p = 0,9$), la durée de séjour à l'hôpital (8 [4-13] vs 7 [4-13] jours ; $p = 0,9$) et le volume total en solutés administrés en peropératoire (3000 [2000-3625] mL vs 2500 [2000-3500] mL ; $p = 0,9$) ne différaient pas entre les deux groupes.

Conclusion : En chirurgie majeure, l'utilisation de l'échographie pulmonaire n'a pas diminué le nombre de complications ou de décès dans les 7 jours postopératoires.

Mots clés : anesthésie, optimisation hémodynamique, échographie pulmonaire, chirurgie majeure