



**HAL**  
open science

# Étude des propriétés mécaniques de la paroi thoracique chez les patients traumatisés thoraciques sévères sous ventilation mécanique

Karim Bouchdoug

► **To cite this version:**

Karim Bouchdoug. Étude des propriétés mécaniques de la paroi thoracique chez les patients traumatisés thoraciques sévères sous ventilation mécanique. Human health and pathology. 2021. dumas-03457253

**HAL Id: dumas-03457253**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03457253>**

Submitted on 30 Nov 2021

**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 - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

UNIVERSITE DE MONTPELLIER  
FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

**THESE**

Pour obtenir le titre de  
**DOCTEUR EN MEDECINE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**BOUCHDOUG KARIM**

LE 20/10/2021

TITRE :

Étude des propriétés mécaniques de la paroi thoracique chez les patients  
traumatisés thoraciques sévères sous ventilation mécanique

**Directeur de thèse :** Monsieur le Docteur Jonathan CHARBIT

JURY

**Président :** Monsieur le Professeur Xavier CAPDEVILA

**Asseseurs :**

Monsieur le Professeur Samir JABER

Monsieur le Professeur Gerald CHANQUES

Monsieur le Docteur Jonathan CHARBIT

UNIVERSITE DE MONTPELLIER  
FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

**THESE**

Pour obtenir le titre de  
**DOCTEUR EN MEDECINE**

Présentée et soutenue publiquement  
Par  
**BOUCHDOUG KARIM**

LE 20/10/2021

TITRE :

Étude des propriétés mécaniques de la paroi thoracique chez les patients  
traumatisés thoraciques sévères sous ventilation mécanique

**Directeur de thèse :** Monsieur le Docteur Jonathan CHARBIT

JURY

**Président :** Monsieur le Professeur Xavier CAPDEVILA

**Assesseurs :**

Monsieur le Professeur Samir JABER

Monsieur le Professeur Gerald CHANQUES

Monsieur le Docteur Jonathan CHARBIT

## ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

### PERSONNEL ENSEIGNANT

#### Professeurs Honoraires

ALBAT Bernard	BRUNEL Michel	HUMEAU Claude	MIRO Luis
ALLIEU Yves	CANAUD Bernard	JAFFIOL Claude	NAVARRO Maurice
ALRIC Robert	CHAPTAL Paul-André	JANBON Charles	NAVRATIL Henri
ARNAUD Bernard	CIURANA Albert-Jean	JANBON François	OTHONIEL Jacques
ASENCIO Gérard	CLOT Jacques	JARRY Daniel	PAGES Michel
ASTRUC Jacques	COSTA Pierre	JOURDAN Jacques	PEGURET Claude
AUSSILLOUX Charles	D'ATHIS Françoise	KLEIN Bernard	PELISSIER Jacques
AVEROUS Michel	DEMAILLE Jacques	LAFFARGUE François	PETIT Pierre
AYRAL Guy	DESCOMPS Bernard	LALLEMANT Jean Gabriel	POUGET Régis
BAILLAT Xavier	DIMEGLIO Alain	LAMARQUE Jean-Louis	PUJOL Henri
BALDET Pierre	DUBOIS Jean Bernard	LAPEYRIE Henri	RABISCHONG Pierre
BALDY-MOULINIER Michel	DUJOLS Pierre	LEROUX Jean-Louis	RAMUZ Michel
BALMES Jean-Louis	DUMAS Robert	LESBROS Daniel	REBOUL Jean
BANSARD Nicole	DUMAZER Romain	LOPEZ François Michel	RIEU Daniel
BAYLET René	ECHENNE Bernard	LORIOT Jean	ROCHEFORT Henri
BILLIARD Michel	FABRE Serge	LOUBATIERES Marie Madeleine	ROUANET DE VIGNE LAVIT Jean Pierre
BLARD Jean-Marie	FREREBEAU Philippe	MAGNAN DE BORNIER Bernard	SAINT AUBERT Bernard
BLAYAC Jean Pierre	GALIFER René Benoît	MARTY ANE Charles	SANCHO-GARNIER Héléne
BLOTMAN Francis	GODLEWSKI Guilhem	MARY Henri	SANY Jacques
BONNEL François	GRASSET Daniel	MATHIEU-DAUDE Pierre	SEGNARBIEUX François
BOURGEOIS Jean-Marie	GUILHOU Jean-Jacques	MEYNADIER Jean	SENAC Jean-Paul
BOUSQUET Jean	GUI TER Pierre	MICHEL François-Bernard	SERRE Arlette
BRUEL Jean Michel	HEDON berbard	MION Charles	SOLASSOL Claude
BUREAU Jean-Paul	HERTAULT Jean	MION Henri	VIDAL Jacques
			VISI ER Jean Pierre

### **Professeurs Emérites**

ARTUS Jean-Claude	LE QUELLEC Alain
BLANC François	MARES Pierre
BONAFE Alain	MAUDELONDE Thierry
BOULENGER Jean-Philippe	MAURY Michèle
BOURREL Gérard	MESSNER Patrick
BRINGER Jacques	MILLAT Bertrand
CLAUSTRES Mireille	MONNIER Louis
DAURES Jean-Pierre	MOURAD Georges
DAUZAT Michel	PREFAUT Christian
DAVY Jean-Marc	PUJOL Rémy
DEDET Jean-Pierre	RIBSTEIN Jean
ELEDJAM Jean-Jacques	SCHVED Jean-François
GROLLEAU RAOUX Robert	SULTAN Charles
GUERRIER Bernard	TOUCHON Jacques
GUILLOT Bernard	UZIEL Alain
JONQUET Oliver	VOISIN Michel
LANDAIS Paul	ZANCA Michel
LARREY Dominique	

### **Docteurs Emérites**

PRAT Dominique  
PUJOL Joseph

## ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

### PERSONNEL ENSEIGNANT

---

#### Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

---

##### **PU-PH de classe exceptionnelle**

ALRIC Pierre	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
BACCINO Eric	Médecine légale et droit de la santé
BASTIEN Patrick	Parasitologie et mycologie
BEREGI Jean-Paul	Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
BOULOT Pierre	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CAPDEVILA Xavier	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CHAMMAS Michel	Chirurgie orthopédique et traumatologique
COLSON Pascal	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
COMBE Bernard	Rhumatologie
COSTES Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
COTTALORDA Jérôme	Chirurgie infantile
COUBES Philippe	Neurochirurgie
COURTET Philippe	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
CRAMPETTE Louis	Oto-rhino-laryngologie
CRISTOL Jean Paul	Biochimie et biologie moléculaire
CYTEVAL Catherine	Radiologie et imagerie médicale
DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel	Médecine d'urgence
DE WAZIERES Benoît	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DELAPORTE Eric	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal	Pneumologie ; addictologie



DUFFAU Hugues	Neurochirurgie
ELIAOU Jean François	Immunologie
FABRE Jean Michel	Chirurgie viscérale et digestive
FRAPIER Jean-Marc	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HAMAMAH Samir	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
HERISSON Christian	Médecine physique et de réadaptation
JABER Samir	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
JEANDEL Claude	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JORGENSEN Christian	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOTZKI Pierre Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
LABAUGE Pierre	Neurologie
LEFRANT Jean-Yves	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
LEHMANN Sylvain	Biochimie et biologie moléculaire
LUMBROSO Serge	Biochimie et Biologie moléculaire
MERCIER Jacques	Physiologie
MEUNIER Laurent	Dermato-vénéréologie
MONDAIN Michel	Oto-rhino-laryngologie
MORIN Denis	Pédiatrie
PAGEAUX Georges-Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PUJOL Pascal	Biologie cellulaire
QUERE Isabelle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
RENARD Eric	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques	Maladies infectieuses, maladies tropicales
RIPART Jacques	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
ROUANET Philippe	Cancérologie ; radiothérapie
SOTTO Albert	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TAOUREL Patrice	Radiologie et imagerie médicale

TOUITOU Isabelle

Génétique

VANDE PERRE Philippe

Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

YCHOU Marc

Cancérologie ; radiothérapie

### **PU-PH de 1<sup>re</sup> classe**

AGUILAR MARTINEZ Patricia

Hématologie ; transfusion

ASSENAT Éric

Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

AVIGNON Antoine

Nutrition

AZRIA David

Cancérologie ; radiothérapie

BAGHDADLI Amaria

Pédopsychiatrie ; addictologie

BLANC Pierre

Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

BORIE Frédéric

Chirurgie viscérale et digestive

BOURDIN Arnaud

Pneumologie ; addictologie

CAMBONIE Gilles

Pédiatrie

CAMU William

Neurologie

CANOVAS François

Anatomie

CAPTIER Guillaume

Anatomie

CARTRON Guillaume

Hématologie ; transfusion

CAYLA Guillaume

Cardiologie

CHANQUES Gérald

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

CORBEAU Pierre

Immunologie

COULET Bertrand

Chirurgie orthopédique et traumatologique

CUVILLON Philippe

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DADURE Christophe

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DAUVILLIERS Yves

Physiologie

DE TAYRAC Renaud

Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale

DE VOS John

Histologie, embryologie et cytogénétique

DEMARIA Roland	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier	Dermatologie - vénéréologie
DROUPY Stéphane	Urologie
DUCROS Anne	Neurologie
DUPEYRON Arnaud	Médecine physique et de réadaptation
FESLER Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GARREL Renaud	Oto-rhino-laryngologie
GENEVIEVE David	Génétique
GUILLAUME Sébastien	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
GUIU Boris	Radiologie et imagerie médicale
HAYOT Maurice	Physiologie
HOUEDE Nadine	Cancérologie ; radiothérapie
KLOUCHE Kada	Médecine intensive-réanimation
KOENIG Michel	Génétique
KOUYOUMDJIAN Pascal	Chirurgie orthopédique et traumatologique
LAFFONT Isabelle	Médecine physique et de réadaptation
LAVABRE-BERTRAND Thierry	Histologie, embryologie et cytogénétique
LAVIGNE Jean-Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LE MOING Vincent	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
LECLERCQ Florence	Cardiologie
MARIANO-GOULART Denis	Biophysique et médecine nucléaire
MATECKI Stéfan	Physiologie
MORANNE Olivier	Néphrologie
MOREL Jacques	Rhumatologie
NAVARRO Francis	Chirurgie viscérale et digestive
NOCCA David	Chirurgie viscérale et digestive
PASQUIE Jean-Luc	Cardiologie

Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie

PRUDHOMME Michel

Anatomie

PUJOL Jean Louis

Pneumologie ; addictologie

PURPER-OUAKIL Diane

Pédopsychiatrie ; addictologie

ROGER Pascal

Anatomie et cytologie pathologiques

TRAN Tu-Anh

Pédiatrie

VERNHET Hélène

Radiologie et imagerie médicale

### **PU-PH de 2ème classe**

BOURGIER Céline

Cancérologie; radiothérapie

CANAUD Ludovic

Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)

CAPDEVIELLE Delphine

Psychiatrie d'Adultes ; addictologie

CLARET Pierre-Géraud

Médecine d'urgence

COLOMBO Pierre-Emmanuel

Cancérologie ; radiothérapie

COSTALAT Vincent

Radiologie et imagerie médicale

DAIEN Vincent

Ophtalmologie

DORANDEU Anne

Médecine légale et droit de la santé

FAILLIE Jean-Luc

Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

FUCHS Florent

Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

GABELLE DELOUSTAL Audrey

Neurologie

GAUJOUX Viala Cécile

Rhumatologie

GODREUIL Sylvain

Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

GUILPAIN Philippe

Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie

HERLIN Christian

Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie

IMMEDIATO DAIEN Claire

Rhumatologie

JACOT William

Cancérologie ; Radiothérapie

JEZIORSKI Eric

Pédiatrie

JUNG Boris	Médecine intensive-réanimation
KALFA Nicolas	Chirurgie infantile
LACHAUD Laurence	Parasitologie et mycologie
LALLEMANT Benjamin	Oto-rhino-laryngologie
LE QUINTREC DONNETTE Moglie	Néphrologie
LETOUZEY Vincent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas	Neurochirurgie
LOPEZ CASTROMAN Jorge	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric	Rhumatologie
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas	Radiologie et imagerie médicale
MILLET Ingrid	Radiologie et imagerie médicale
MURA Thibault	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NAGOT Nicolas	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie	Psychiatrie d'adultes; addictologie
PANARO Fabrizio	Chirurgie viscérale et digestive
PARIS Françoise	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PELLESTOR Franck	Histologie, embryologie et cytogénétique
PEREZ MARTIN Antonia	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
POUDEROUX Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François	Pédiatrie
ROSSI Jean François	Hématologie ; transfusion
ROUBILLE François	Cardiologie
SEBBANE Mustapha	Médecine d'urgence
SIRVENT Nicolas	Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme	Biologie cellulaire
STOEBNER Pierre	Dermato-vénéréologie

SULTAN Ariane	Nutrition
THOUVENOT Éric	Neurologie
THURET Rodolphe	Urologie
TUAILLON Edouard	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
VENAIL Frédéric	Oto-rhino-laryngologie
VILLAIN Max	Ophtalmologie
VINCENT Denis	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
VINCENT Thierry	Immunologie
WOJTUSCISZYN Anne	Endocrinologie-diabétologie-nutrition

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES**

1<sup>re</sup> classe :

---

COLINGE Jacques (Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes)

LAOUJ CHENIVESSE Dalila (Biochimie et biologie moléculaire)

VISIER Laurent (Sociologie, démographie)

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale**

1<sup>re</sup> classe :

---

LAMBERT Philippe

AMOUYAL Michel

### **PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale**

CLARY Bernard

DAVID Michel

GARCIA Marc

## **PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine**

BESSIS Didier (Dermato-vénérologie)

MEUNIER Isabelle (Ophtalmologie)

MULLER Laurent (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

PERRIGAULT Pierre-François (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

QUANTIN Xavier (Pneumologie)

ROUBERTIE Agathe (Pédiatrie)

VIEL Eric (Soins palliatifs et traitement de la douleur)

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021**  
**PERSONNEL ENSEIGNANT**

---

**Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers**

**MCU-PH Hors classe - Echelon Exceptionnel**

RICHARD Bruno	Médecine palliative
SEGONDY Michel	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

**MCU-PH Hors classe**

BADIOU Stéphanie	Biochimie et biologie moléculaire
BOULLE Nathalie	Biologie cellulaire
CACHEUX-RATABOUL Valère	Génétique
CARRIERE Christian	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
CHARACHON Sylvie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
FABBRO-PERAY Pascale	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GIANSILY-BLAIZOT Muriel	Hématologie ; transfusion

**MCU-PH de 1<sup>re</sup> classe**

BERTRAND Martin	Anatomie
BOUDOUSQ Vincent	Biophysique et médecine nucléaire
BRET Caroline	Hématologie biologique
BROUILLET Sophie	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
COSSEE Mireille	Génétique
GIRARDET-BESSIS Anne	Biochimie et biologie moléculaire
LAVIGNE Géraldine	Hématologie ; transfusion
LESAGE François-Xavier	Médecine et Santé au Travail
MARTRILLE Laurent	Médecine légale et droit de la santé
MATHIEU Olivier	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

MOUZAT Kévin

Biochimie et biologie moléculaire

PANABIÈRES Catherine

Biologie cellulaire

RAVEL Christophe

Parasitologie et mycologie

SCHUSTER-BECK Iris

Physiologie

STERKERS Yvon

Parasitologie et mycologie

THEVENIN-RENE Céline

Immunologie

**MCU-PH de 2<sup>ème</sup> classe**

BERGOUX Anne

Génétique

CHIRIAC Anca

Immunologie

DE JONG Audrey

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DU THANH Aurélie

Dermato-vénéréologie

FITENI Frédéric

Cancérologie ; radiothérapie

GOUZI Farès

Physiologie

HERRERO Astrid

Chirurgie viscérale et digestive

HUBERLANT Stéphanie

Gynécologie-obstétrique ; Gynécologie médicale

KUSTER Nils

Biochimie et biologie moléculaire

MAKINSON Alain

Maladies infectieuses, Maladies tropicales

PANTEL Alix

Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

PERS Yves-Marie

Thérapeutique; addictologie

ROUBILLE Camille

Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie

SZABLEWSKY

Anatomie et cytologie pathologiques

## **Maîtres de Conférences des Universités - Médecine Générale**

### **MCU-MG de 1<sup>re</sup> classe**

COSTA David

OUDE ENGBERINK Agnès

### **MCU-MG de 2<sup>ème</sup> classe**

FOLCO-LOGNOS Béatrice

CARBONNEL François

## **Maîtres de Conférences associés - Médecine Générale**

CAMPAGNAC Jérôme

LOPEZ Antonio

MILLION Elodie

PAVAGEAU Sylvain

REBOUL Marie-Catherine

SERAYET Philippe

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021**

---

PERSONNEL ENSEIGNANT

## **Maitres de Conférences des Universités**

### Mâîtres de Conférences hors classe

BADIA Eric	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
CHAZAL Nathalie	Biologie cellulaire

### Mâîtres de Conférences de classe normale

BECAMEL Carine	Neurosciences
BERNEX Florence	Physiologie
CHAUMONT-DUBEL Séverine	Sciences du médicament et des autres produits de santé
DELABY Constance	Biochimie et biologie moléculaire
GUGLIELMI Laurence	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HERBET Guillaume	Neurosciences
LADRET Véronique	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
LAINE Sébastien	Sciences du Médicament et autres produits de santé
LE GALLIC Lionel	Sciences du médicament et autres produits de santé
LOZZA Catherine	Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques
MAIMOUN Laurent	Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé
MOREAUX Jérôme	Science biologiques, fondamentales et cliniques
MORITZ-GASSER Sylvie	Neurosciences
MOUTOT Gilles	Philosophie
PASSERIEUX Emilie	Physiologie
RAMIREZ Jean-Marie	Histologie
RAYNAUD Fabrice	Sciences du Médicament et autres produits de santé
TAULAN Magali	Biologie Cellulaire

## ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

### PERSONNEL ENSEIGNANT

---

#### Praticiens Hospitaliers Universitaires

BARATEAU Lucie	Physiologie
BASTIDE Sophie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
CAZAUBON Yoann	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAGNEAUX Louis	Chirurgie orthopédique et traumatologique
DUFLOS Claire	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
GOULABCHAND Radjiv	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
LATTUCA Benoit	Cardiologie
MARIA Alexandre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MIOT Stéphanie	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SARRABAY Guillaume	Génétique
SOUCHE François-Régis	Chirurgie viscérale et digestive

## ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

### PERSONNEL ENSEIGNANT

#### PH chargés d'enseignements

ABOUKRAT Patrick	BLANCHET Catherine	COROIAN Flavia-Oana	GINIES Patrick
AKKARI Mohamed	BLATIERE Véronique	COUDRAY Sarah	GRECO Frédéric
ALRIC Jérôme	BOBBIA Xavier	CRANSAC Frédéric	GUEDJ Anne Marie
AMEDRO Pascal	BOGE Gudrun	CUNTZ Danielle	GUYON Gaël
AMOUROUX Cyril	BOURRAIN Jean Luc	DARDALHON Brigitte	HENRY Vincent
ANTOINE Valéry	BOUYABRINE Hassan	DAVID Aurore	JAMMET Patrick
ARQUIZAN Caroline	BRINGER-DEUTSCH Sophie	DE BOUTRAY Marie	JEDRYKA François
ATTALIN Vincent	BRINGUIER BRANCHEREAU Sophie	DE LA TRIBONNIÈRE Xavier	JREIGE Riad
AYRIGNAC Xavier	BRISOT Dominique	DEBIEN Blaise	KINNE Mélanie
BADR Maliha	BRONER Jonathan	DELPONT Marion	LABARIAS Coralie
BAIS Céline	CADE Stéphane	DENIS Hélène	LACAMBRE Mathieu
BARBAR Saber Davide	CAIMMI Davide Paolo	DEVILLE de PERIERE Gilles	LANG Philippe
BASSET Didier	CARR Julie	DJANIKIAN Flora	LAZERGES Cyril
BATIFOL Dominique	CARTIER César	DONNADIEU-RIGOLE Hélène	LE GUILLOU Cédric
BATTISTELLA Pascal	CASPER Thierry	FAIDHERBE Jacques	LEGLISE Marie Suzanne
BAUCHET Luc	CASSINOTTO Christophe	FATTON Brigitte	LOPEZ Régis
BENEZECH Jean-Pierre	CATHALA Philippe	FAUCHERRE Vincent	LUQUIENS Amandine
BENNYS Karim	CAZABAN Michel	FILLERON Anne	MANZANERA Cyril
BERNARD Nathalie	CHARBIT Jonathan	FITENI Frédéric	MARGUERITTE Emmanuel
BERTCHANSKY Ivan	CHEVALLIER Thierry	FOURNIER Philippe	MARTIN Lucille
BIBOULET Philippe	CHEVALLIER-MICHAUD Josyane	GAILLARD Nicolas	MATTATIA Laurent
BIRON-ANDREANI Christine	COLIN Olivier	GALMICHE Sophie	MEROUEH Fadi
BLANC Brigitte	CONSEIL Mathieu	GENY Christian	MEYER Pierre
BLANCHARD Sylvie	CORBEAU Catherine	GERONIMI Laetitia	MILESI Christophe

MORAU Estelle	SEGURET Fabienne
MOSER Camille	SENESSE Pierre
MOUSTY Eve	SKALLI El Medhi
MOUTERDE Gaël	SOLA Christelle
PANSARD Nicole	SOULLIER Camille
PERNIN Vincent	STOEBNER DELBARRE Anne
PERRIGAULT Pierre François	TEOT Luc
PEYRON Pierre-Antoine	THIRION Marina
PICARD Eric	VACHIERY-LAHAYE Florence
PICOT Marie Christine	VERNES Eric
PIERONI Laurence	VINCENT Laure
POQUET Hélène	WAGNER Laurent
PUJOL Sarah-Lise	ZERKOWSKI Laetitia
PUPIER Florence	SCHULDINER Sophie
QUANTIN Xavier	
RAFFARD Laurence	
RAPIDO Francesca	
RIBRAULT Alice	
RICHAUD-MOREL Brigitte	
RIDOLFO Jérôme	
RIPART Sylvie	
RONGIERES Michel	
ROULET Agnès	
RUBENOVITCH Josh	
SANTONI Fannie	
SASSO Milène	

# Remerciements

## *Aux membres du jury*

**A Monsieur le Professeur Xavier CAPDEVILA**, vous me faites l'honneur de présider ce jury. Merci d'être un modèle d'implication et de réussite pour tous les jeunes anesthésistes-réanimateurs. J'admire votre expertise et votre raison. Merci pour votre implication dans notre formation et pour votre transmission de connaissances. Merci pour votre militantisme et vos rappels que nous sommes réanimateurs ET anesthésistes ET médecins péri-opératoire et qu'il faut s'enrichir de cette complémentarité pour mieux prendre en charge nos patients. Et enfin, merci de la confiance que vous m'accordez en m'acceptant au sein de votre département. J'espère être à la hauteur des attentes du service.

**A Monsieur le Professeur Samir JABER**, merci de me faire l'honneur de faire partie de mon jury de thèse. Mes passages dans votre service en tant qu'externe, puis interne, m'ont appris rigueur de travail et exigence envers moi-même. Ce que je pensais initialement uniquement utile à ne pas prendre un « jet » à la visite, a au final été pour moi le véritable moteur de ma progression. Merci pour votre : « la médecine, c'est simple » qui m'a permis de me concentrer sur l'essentiel lorsque cela semblait complexe. Bien que vous m'appeliez affectueusement « le traître », vous avez toujours été attentionné envers moi et à l'écoute lorsque besoin se faisait malgré votre emploi du temps chargé. Je vous fais part de mon immense respect et de mon admiration, autant pour vos travaux et votre leadership, que pour votre personne et votre grande proximité avec les équipes.

**A Monsieur le Professeur Gerald CHANQUES**, je suis honoré de votre présence dans ce jury. Merci de m'avoir donné l'envie et convaincu de choisir cette spécialité durant mon externat. Merci pour votre enthousiasme à toute épreuve qui montre que lorsqu'on est passionné, on trouve toujours le temps pour la médecine, la recherche, les étudiants, la fac, l'histoire, ...etc. Merci de m'avoir transmis votre obsession de toujours chercher à améliorer le confort des patients. Merci pour votre : « un patient qui pisse est un patient qui va bien », très utile à 4h du matin. Merci pour votre pédagogie et votre bienveillance envers les jeunes internes qui m'ont permis de gagner en assurance et en confiance en moi.

**A Monsieur le Docteur Jonathan CHARBIT** merci de d'avoir dirigé cette thèse. Merci pour ta disponibilité de tout instant y compris lorsque je me présente à l'improviste. Merci pour ton regard différent sur de nombreux concepts qui m'ont poussé à réfléchir et à approfondir de nombreux sujets que je pensais acquis. Merci pour ta vision millimétrée du déchoquage et tes protocoles, très rassurants pour les premières gardes séniors. Merci pour ton honnêteté et ton absence d'hésitation à pointer mes erreurs dans le but que je m'améliore. Merci d'être toujours partant pour une discussion physiopath ou « management strategy » y compris à 3h du mat. Merci pour les « KEEEEEEEEERIM KEEEEEEEEERIM ! » qu'on entend depuis l'autre bout du couloir. Merci d'avoir adopté à ma « potion caca » pour déboucher les patients. Merci pour la confiance que tu m'accordes. J'espère pouvoir apporter au service autant qu'il m'a apporté.

**A Severin**, merci de m'avoir confié ton projet. Cette thèse est aussi la tienne. Merci pour ta disponibilité de tout instant malgré les nombreux projets menés de front. Merci pour ton partage de connaissances et tes points littérature dont tu m'as fait profiter tout le long de mon internat. Merci pour ta passion de la médecine, exemplaire à mes yeux, qui te pousse à ne jamais te reposer sur tes lauriers. Merci pour ton mental à ne rien jamais rien lâcher, je pense que tu as trouvé un sport en accord avec ta personnalité. Merci pour ta bienveillance et ton amitié sans faille. Je te souhaite plein de bonheur.

*Aux médecins du département d'anesthésie réanimation Lapeyronie*

**A Pauline**, merci de m'avoir appris la rigueur dans la prise en charge des patients graves et de m'avoir poussé à progresser tous les jours. Merci de ta bienveillance et ton écoute lors de mon internat et mes gardes séniorsés.

**A Camille**, merci pour ton pep's et ta bonne humeur. Ton engagement pour les patients est une source de motivation.

**A Oriane**, merci pour ta douceur et ton humour. Travailler avec toi est un régal. Merci de m'avoir transmis tes connaissances et je l'espère, une part de ton sang-froid.

**A Elie**, merci de m'avoir inspiré par ton efficacité, ta discrétion et ton abnégation à soigner les patients. Merci d'avoir été toujours partant à me filer un coup de main pour les mesures de cette thèse

**A Geoffrey**, merci pour ton aide dans cette étude et tes conseils durant mon internat. J'ai hâte de travailler avec toi.

**A Mehdi**, que de bons souvenirs en tant que cointernes au DAR B. Merci pour ton humour, il me tarde de rebosser avec toi.

**A Hugues**, ensemble depuis le début de l'externat, nous voilà co-chefs. Hâte que tu puisses me faire profiter tout ce que tu as appris depuis.

**A Olivier R**, merci pour toutes ces gardes passées ensemble. Tu es un modèle de polyvalence de savoir et d'efficacité. Plus loquace avec moi qu'à l'accoutumé, c'est un honneur d'avoir travaillé avec toi. Reviens quand tu veux à la boxe ;)

**A Nathalie, Philippe, Christian, Olivier C, Olivier M**, merci de votre bienveillance et de votre temps. Merci de m'avoir fait sentir chez moi dans ce bloc et de m'avoir appris l'autonomie. Je vous estime tous énormément.

**A Fabien**, ton expertise et ton savoir sont à la hauteur de ton humilité et de ta gentillesse. Tu as toujours considéré les internes comme tes égaux (alors que c'est loin d'être le cas, en terme de médecine du moins) ce qui m'a fait prendre confiance en moi. Tout ça avec un sourire permanent sans jamais hausser le ton. Merci

*A toutes les personnes qui ont participé à ma formation durant ces cinq années d'internat*

**A Fouad**, merci pour ton accueil en premier semestre et les « WA FEEN A MOHAMMEDIA !» qui m'ont fait sentir comme à la maison. Merci pour tout ce que tu m'as appris et pour ta complicité même si on ne se voit pas souvent. Rak 3aref biîna 3ziz 3lia bezaf.

**A Audrey D. J.**, merci d'être aussi proche des internes. Merci pour toutes les presses faites sur du BOOBA. Merci pour toutes ces soirées où on a bien rigolé avant ta retraite spirituelle. Merci d'avoir pris des 'jets ' à notre place pour nous protéger alors qu'on avait fait un boulot de merde. Et surtout merci pour toutes les connaissances que tu m'as transmises.

**A Anne**, merci de m'avoir pris sous ton aile lors de mon premier semestre d'anesthésie et de m'avoir enseigné des bases solides auxquelles je me réfère encore. Merci pour ta douceur et ton attention qui m'ont d'emblée mis en confiance dans la spécialité.

**A Séverine**, tu m'as appris les premiers gestes d'anesthésie et surtout la rigueur absolue au bloc opératoire sans jamais avoir un mot plus haut que l'autre et en t'enquérant tout le temps de mon bien-être et de mes difficultés. Une main de fer dans un gant de velours. J'espère un jour atteindre ton niveau d'exigence envers soi au bloc.

**A Delphine**, toujours souriante et de bonne humeur. Tu as toujours été très présente pour moi en stage et t'es investie pour m'autonomiser très tôt dans notre cursus afin de connaître les conditions réelles de travail. Pour tout cela, merci

*A mes amis d'internat*

**A Nico**, on est les mêmes (avec des moins beaux cheveux pour moi quand même...), mêmes délires, même vision, je me suis tout de suite senti proche de toi dans notre promo bien qu'on ne se connaissait pas bien durant l'externat. Tellement de bons moments passés ensemble. On rigole toujours autant à chaque fois même quand nos rencontres se font plus rares. J'espère garder cette complicité et cette amitié très longtemps...

**A LAUMOOON**, ensemble depuis le premier semestre, on a progressé et grandi ensemble. Dès le début j'ai su passer au-delà de l'air sérieux que tu dégages et ai trouvé un grand déconneur qui deviendra mon ami. Je te félicite pour le talentueux médecin que tu es devenu. Je te souhaite tout le meilleur.

**A Arthur**, quel plaisir de bosser et surtout refaire le monde avec toi que ce soit au bloc ou pendant 2 h dans un couloir. T'es vraiment le collègue et le pote que tout le monde souhaiterait avoir. Plein de bonheur à vous 3.

**A Hugo**, le boss. Sous tes airs nonchalants de champion de slackline, j'ai de suite capté que tu étais un mec extrêmement brillant et même un peu trop facile des fois (c'est énervant) mais surtout qui ne se prend pas au sérieux et tellement bon délire. J'espère te voir souvent mec, même lorsque tu iras conquérir des contrées lointaines.

**A Aurélien**, merci d'être aussi sympa et toujours dispo pour les autres. Je suis vraiment impressionné par le médecin que tu es devenu et vous souhaite que du bonheur à 3.

**A Timothée**, tout comme moi tu vas te lancer dans le grand bain après une année de master extrêmement constructive... Ton smile et ton humour mordant font vraiment du bien. Ne change rien bro.

**A Romain**, certain pourrait croire que tu es coach sportif ou encore maitre-nageur à Lapeyronie mais tu es belle et bien l'un des jeunes anesthésistes les plus compétents que j'ai croisé, toujours à l'affût des nouveautés. Ta sympathie et ta personnalité dénuée de stress sont vraiment un bonheur.

**A Adeline**, supers stages ensemble, toujours le smile depuis l'externat, une bonté incroyable et surtout une anesth très douée. Change rien t'es une machine.

**A Blandine**, une main de fer dans un gant de velours, toujours motivée pour filer un coup de main ou venir boire un coup, j'ai hâte de faire partie de ta team.

**A Mathieu C.**, merci pour ta simplicité et tes bons délires. Merci d'être tout le temps OKLM. Ton humilité et à la hauteur de tes compétences. C'est toujours un plaisir de taffer avec toi.

**A Alex**, on se suit depuis la P1. Tu es devenu un médecin impressionnant. Continue comme ça mec.

**A Jacques**, gros tu me fais tellement délirer. T'es vraiment dans le top des collègues que je kifferais avoir, efficace et sans prise de tête.

**A Yann B.**, trop content d'avoir bientôt un collègue de travail sympa et aidant comme toi.

**A mes cointernes de PROMO, Siham, Charlotte, Martin, Helene** super promo sans embrouilles de pacotilles. Je me suis régalez de bosser avec vous. Bonne continuation à tous.

**A Beber**, t'es une perle bro. Toujours prêt à rendre service et à déconner avec les collègues. Le gars qu'il faut dans une équipe.

**A Julien P.**, on attendait de bosser ensemble depuis longtemps. Ça fait tellement du bien d'être entouré de gars comme toi pour travailler dans la bonne humeur. J'ai hâte qu'on continue à se taquiner dans les couloirs de Lapeyronie.

**A Benjamin M.**, que ce soit au travail ou en dehors, c'est toujours un régal de te côtoyer et discuter avec toi. Je pense qu'on partage pas mal de points de vus. Hâte de te rejoindre à Lapeyronie.

**A Kevin C.**, toujours très bienveillant envers les plus jeunes, ton savoir et ta polyvalence m'ont impressionné. Reste comme tu es bro.

**A Charlotte D.**, t'es clairement la meilleure d'entre nous bien que tu ne le fasses jamais ressentir. Merci pour ta gentillesse, ton aptitude à vouloir aider tes collègues et ton humilité.

**A Ludo**, que de barres avec toi, on est tellement en raccord sur les délires que des fois l'impression que t'es une version sport de moi mdr. Ne changes rien bro, on se voit dans le Jacuzzi.

**A Chloe la blonde**, toujours souriante et de bonne humeur, tout le monde t'apprécie et j'ai compris pourquoi. Profondément gentille, très compétente et adorable avec tes collègues tu es

l'élément que tout le monde aimerait avoir dans sa team. Fais toi confiance et tu seras la best  
+++

**A Chloe la brune**, impressionnante, tu sais ce que tu veux et où tu vas. Toujours prête à aider les copains pour les décharger. Toujours souriante et pas la dernière à la fiesta. C'était vraiment un pur plaisir de passer ce semestre avec toi. Plain de bonheur.

**A Cyprien**, frerot t'es l'avenir, j'ai vraiment été impressionné par tes qualités médicales et humaines. Continues comme ça et tu deviendras le top de ce qui peut se faire dans notre spécialité.

**A Lucas**, trop agréable de bosser avec toi qui te donnes à fond pour tes collègues et tes patients. Tonton est fière de ta progression et t'attends avec impatience.

**A Joris**, toujours un plaisir de papoter avec toi que ce soit médical ou autre. J'ai découvert un mec brillant, humble et curieux de progresser. Keep going bro

**A Léa**, trop bon semestre avec toi. Tu t'intéresses à tout même hors de ton domaine de prédilection et ça, ça fait vraiment plaisir. Tout ça avec un sourire et une humilité qui me font douter sur ton choix de spécialité...

**A Eve**, super rencontre. Derrière ta carapace et tes prises en charge impeccables, j'ai rencontré une personne sensible et pleine d'humour. Profites bien dans les îles ;)

**A Marc**, merci pour ce DU qui restera dans les annales. Tu fais plaisir gros.

**A Yassir**, le BOSS, would casa, rak 3aref ch7al 3ziz. Alf chokran, tاتفakarni flbled kola mara tan hadrou binatna. J'admire ta capacité de travail et tes solides connaissances, ton humilité et surtout ta main tendue et ton aide aux plus jeunes que ce soit pour les conseiller ou les faire progresser. Je ne sais pas comment il est possible de gérer autant de choses à la fois. J'espère que vas t'épanouir pleinement dans tes nouveaux projets mais qu'on pourra quand même se voir souvent a zine. Longue vie à votre merveilleux couple avec **Fanny**.

*A mes collègues de stage du DAR A*

Merci pour les fous rires quotidiens, merci pour les tours de sieste à respecter, merci pour les battles de chronos à la relève dont je suis fier de détenir le record (16 min 40 s), merci pour les « moi dans tous les cas à 18h j'ai muscu », merci pour les « 2 heuuuures quimdi ! », merci pour cette bataille d'eau légendaire dont le plafond se souvient.

**A MATTEEEEEEEEEOOOOO**, COMO VA LA MAAAMAAAAA ! Merci pour tout, vraiment. Toujours prêt à m'aider de ton plein gré même quand je ne le demandais pas. Merci pour ta ponctualité légendaire. Tu es juste un fraté et un super médecin. Félicitations pour ta thèse. Je te souhaite tout le bonheur que tu mérites dans ta future vie azurée.

**A DEMOL**, tu ne liras certainement pas ce message mais sache que c'est rare de bosser avec quelqu'un comme toi, toujours prêt à partager le taff pour nous soulager. Merci pour la garde de Noel, apparemment quelqu'un devrait t'envoyer un Lydia... Que de barres tapées ensemble. Je t'attends au pot de thèse même si tu es un peu en retard comme au pot de fin de stage.

**A PHIL**, on n'a pas le même maillot (DAR B pour toi) mais on a exactement la même vision des choses et les mêmes délires. Merci frerot de toujours venir bosser en rigolant. Merci pour ta voix rauque un peu agaçante quand on a un accent du bled ... Merci pour toutes les soirées passées ensemble. Merci pour les discussions hautement philosophiques sans fin dans le bureau des internes, autour d'un 18eme caf. Merci de décomposer le prénom des assistantes sociales. Merci pour les voyages en taxi, if you know what I meeeeannn. Jte kiffe bro

**A Vald et Niska**, merci pour votre soutien tout au long du stage...

**A Trajectoire**, ... je ne peux pas dire ce que je pense ici.

**A tous les fêtards du samedi soir n'ayant pas trouvé de SAM**, merci pour votre malheureuse participation à ma formation. J'espère vous avoir rendu autant que vous m'avez appris et espère ne plus jamais vous recroiser au travail.

**A toute l'équipe paramédicale**, merci de m'avoir accueilli comme un des vôtres. On s'est vraiment senti chez nous durant ce semestre. J'espère que cela continuera longtemps.

**A Marina et Zouzou**, merci d'être toujours aussi attentionnées et à l'écoute. Merci de toujours prendre des nouvelles du petit. Vos compétences et votre professionnalisme sont à la hauteur de votre générosité. Hâte de retravailler avec vous.

**Et surtout à ARTHUR...** #QLF

*A toute ma bande de frerots*

**A Oliv**, frerot dès le premier jour de la P2 j'ai de suite su qu'on serait inséparables. De la colocation aux stages d'externat, on a tout traversé ensemble. Des soirées à l'IDB, aux fin fond des manades, tous ces souvenirs sont à jamais gravé dans mon esprit. Merci pour toutes les fois où tu as eu « peur ». Je suis admiratif de ta capacité à renverser la « peur ». Je suis extrêmement fier de te voir épanoui dans ton travail et ta magnifique vie de famillénavec **Hélo**. J'ai trop hâte pour les II. On sera là pour vous si vous avez besoin de quoi que ce soit.

**A Rémy**, dès l'intégration notre humour similaire nous a rapprochés jusqu'à devenir l'un amis les plus proches. Merci pour tous ces bons moments passés ensembles de Prague à Varsovie, de la ligne médiane à l'embut, du canap à la méridienne, au cargo ... Merci à ton coiffeur d'avoir été fermé pendant tout l'externat. Merci d'être un homme de valeurs, j'ai compris que l'amitié dans ta bouche n'était pas un vain mot et tu peux compter sur moi pour ne pas te décevoir. Merci à **Margaux** et L., vous êtes magnifiques.

**A Marc Lavoine**, merci.

**A Simon**, merci pour toutes ces aventures rugbystiques et festives. Merci de m'avoir donné l'envie de mettre des coups de tronche dans des frigos pour les copains. Merci pour notre projet futur de « peach bar ». Merci d'être aussi fidèle en amitié et de ne jamais t'échapper, sur le terrain comme dans en dehors. J'espère être à la hauteur de l'amitié que tu me portes. Prends soins de **Sabine** et J., vous formez une famille formidable. Et encore désolé pour les chaussures, mais en vrai elles étaient pas ouf ...

**A Thomas**, merci infiniment pour ta taquinerie qui a rythmé notre externat et qui m'a mis le smile tous les jours. Merci pour ton drop aiguisé et ta résistance à l'alcool. Comme tu le dis si souvent « c'est ça la vie, c'est les vrais amis ! » et je suis vraiment fière de faire partie des tiens. Merci à **Margaux** de te supporter avec tant de gentillesse. Trop hâte de rencontrer le mini.

**A Baptiste**, merci d'être le leader naturel de notre groupe. Toi seul sais canaliser le leadership de Remy. Tellement gentil, honnête et présent pour tes potes, sache que c'est un privilège pour moi de t'avoir en ami. Kiffez bien avec **Diane** à la réunion. YOLO

**A Jules**, merci pour ta classe internationale et tous ces fous rires que tu m'as donné. Continues à nous faire rire avec ton humour décalé dont je suis un grand fan et à ne pas te prendre au sérieux. J'ai hâte que vous reveniez dans le sud pour passer plus de temps avec vous.

**A Michel, fils de Michel**, merci pour l'ensemble de ton œuvre que l'on ne peut réduire à un seul ouvrage. Merci d'être toujours égal à toi-même sans te soucier de ce que pense les autres. Merci de nous rappeler à tous que, quand même, on n'est jamais mieux que dans notre plus simple appareil. Merci de toujours être là pour les copains. Je suis fier de te compter parmi mes frérots.

**A Patou**, merci pour toutes les aventures passées ensemble. C'est toujours une régalade de te retrouver à chaque fois. Tu es quelqu'un de profondément humble et gentil. Merci de représenter la « Fink » dans le monde entier.

**A Julien S.**, merci pour ton extrême gentillesse et ta fidélité. Merci d'avoir toujours rattraper nos intés pendant les matchs en abattant des gars qui étaient juste venu passer un bon moment. Merci pour tes rocs endiablés et ton enthousiasme débordant en soirée. Tu as décidé de te ranger lorsque tu t'es rendu compte que tu ne savais pas voler. Cela t'as permis de trouver l'amour te le bonheur à 3.

**A Gauthier C.** merci de ne pas avoir peur de faire le boulot que personne n'aime faire sur le terrain et d'être un ami exemplaire.

**A Serge**, merci pour toutes ces années d'enseignement qui m'ont donné gout au rugby. Merci pour ta patience légendaire devant nos concours de drops et nos pizzas 4 fromages après 1 heure de révision de touche. On espère avoir compenser en envie ce qui nous faisait défaut en technique. Merci pour ces souvenirs mémorables et ces 3 titres de champions de France acquis avec les copains qui a mes yeux valent bien plus que tous les titres du monde.

**Aux coulisses**, merci de m'avoir fait découvrir la gastronomie du sud-ouest. Merci de garder au chaud notre bien le plus précieux, « LE BRENNUS OVALU ».

**Aux autres potos du rugby, Olivier B., Gauthier D., Julien, Clément ...**, merci pour tous ces bons moments, on se retrouvera dans une contrée galloise ou irlandaise ...

**A tous merci pour ces années de Coulisses, Fizz, B...**

**A Chelmi**, tu es certainement le mec le plus intelligent et vif d'esprit que j'ai côtoyé. Merci de savoir mettre cela bien loin de coté en soirée. Merci d'être authentique et tout donner pour tes potes sans jamais hésiter ni réfléchir. Je suis honorer de ton amitié. Désolé de ne pas m'être très bien intégré dans ta promotion de Marseille, je pense qu'ils avaient une dent

contre moi ... Merci de conduire Juliette jusqu'à qu'elle ait l'âge de passer le permis. J'espère que vous trouverez votre petit coin de paradis dans la montagne ....

**A YOUSSEF TRIGUIIIIIII LALALALALALALALA**, merci pour ta générosité, ton altruisme et tes blagues de haut vol durant toutes ces heures passées ensemble. Merci pour ta gestion millimétrée des comptes de l'ASMM. Désolé pour Marlboro dont l'action a chuté de 80% depuis 2 ans. J'admire ton intelligence et ta fidélité en amitié. Les patients ont vraiment de la chance de t'avoir comme médecin et moi comme ami.

**A Benjamin A**, du temps est passé depuis notre rencontre sur une place de Thaïlande, tu es maintenant devenu un véritable ami. Merci pour ton humour et tes petites taquineries qui nous régalaient. Merci pour tes histoires de cœur qu'on suit avec passion. Merci d'être toujours aux petits soins pour nous et Adamsson. Merci pour les promos sur la gamme Tex. Plein de bonheur fréro.

**A Victor**, merci pour tous ces voyages et soirées mémorables, ton humour sarcastique dont je suis fan et ta maîtrise exceptionnelle du robot. J'ai toujours été impressionné par ton intelligence et ton assurance, qui ont fait leur preuve durant nos études. J'ai l'impression que tu as trouvé le bonheur en la personne de J. et j'en suis extrêmement heureux.

**A Marine Blyweert**, merci.

**A Matthieu G.**, merci fréro pour ton amitié sans faille et ton calme olympien. Faire découvrir mon pays d'enfance à un grand ami comme toi a été pour moi une immense fierté. Je te souhaite que du bonheur avec **Claire** à Toulouse.

**Au grand Seb**, merci pour ta simplicité et ta générosité. On m'avait dit que les gens du nord étaient très chaleureux et tu ne déroges pas à la règle. Merci pour ton valisage hebdomadaire et tes péripéties qui me vont toujours autant rire.

**A Gauthier D.**, merci d'être aussi marrant et toujours partant pour la fiesta. C'est un plaisir à chaque fois qu'on se revoit. Vivement ton retour dans le sud aussi.

**A Dalia**, merci d'être comme tu es, gentille, généreuse et de bon conseil. Ne change rien.

**Au Diag**, on s'est connu grâce à Tom et Chelmi et il faut dire que les chats ne traînent pas avec des chiens. On est sur la même longueur d'onde et c'est un immense plaisir de délirer avec toi à chaque fois.

**A tous les frérots je n'ai qu'une chose à dire : Satellisons-nous !**

*A mes amis du Maroc*

**A Zyko, Akram et Bouclette**, je sais déjà que vous allez râler de ne pas avoir une ligne chacun. Mais comment vous dissocier ? Avant de vous rencontrer il y a 14 ans je n'avais JAMAIS vu une fraternité comme celle qui vous lie. Vous êtes comme les chiots d'une même portée. Merci de m'avoir intégré dans votre famille comme si j'étais là depuis le début. En tout cas moi je vous considère comme des frères que je n'ai pas eus.

**Zyko**, devenus inséparables depuis notre arrivée à Montpellier loin de nos familles il n'y a personne sur qui j'ai pu plus compter. Nos années d'études ensemble (enfin moi d'études et toi de ...) ont été les meilleures de notre jeunesse. Ton potentiel en soirée me manque.

**Akram**, tu es la définition même de l'amitié. Je peux te demander n'importe quoi pour moi ou mes proches et tu le feras sans poser de questions aucunes. Saches que c'est réciproque. Toujours chaud et motivé pour tout, et prenant quasi quotidiennement des nouvelles de moi, j'ai énormément de chance de t'avoir comme ami. Par contre arrête un peu d'être trop beaugoss ça peut agacer les gens à la fin.

**Bouclette**, venus ensemble du Maroc, tu es le mec le plus gentil que je n'ai jamais rencontré. Avoir dans ces amis des gens comme toi est une bénédiction. Je ne vous souhaite que du bonheur avec **Selma et NEYNEY**.

**A Wled lbled, Daddy, Paul**, bientôt la prochaine session incha allah

**A Jeff**, reste comme tu es a zine, tu me fais tellement rire. Tes péripéties nous régale. Content que tu reviennes près de chez nous pour délirer.

**A Yann**, une belle rencontre et une amitié qui est née récemment. Ça fait du bien d'avoir quelqu'un qui nous rappelle chez soi et qui partage les mêmes passions. Merci bro.

#### *A mes amis d'enfance*

**A LA FAMEEEEEEE**, Le U, ould Mo7a, lkhot, 3chiriya, ch7al douwouzna btlata, que dire à part qu'on est comme les 3 doigts de la main ... tout nous a réuni depuis le début, de l'école au hand, du surf aux soirées, des sables à oubaha, sans oublier LPOOON, de toulouse à hossegor, de la rivière au bakwa, jusqu'à inventer notre propre langage si bien qu'il faudrait un dictionnaire pour nous comprendre ... ch7al man « WAAASH A MICHA ? WASH A L3AWD ! KAYNA LA HOUSSE ? ITUB ITUBE, DEMARRREEE, YEEEEWWW, YEAHYOUUU, TA CHOU LBOWL, WA NIIIIIIIVEAU, LA VISIOOOON, WA JWIIII3A COUSIN, DRAB LA MASS, CHI LA TIESTE ? TTREMPA LIA CERVEAU, FOORMA C PAS VRAAIII, NIIII, GABARI, MZZZZZIAAA, NYYYEAAAAA3333 DEGEULBEEF, CHADDA DIAL LALLEMANE, SPICIALA, IMPOLICE, IL NYA PAAAAA SAA, DISK M999A, ANTIESTA, TSKILIFON, LA BIBIIIIINE, AVA AVA SOUNDELAND, NOURMAAAL ». Même si on a toujours rêvé d'être italiens (#Raffaello), j'espère qu'on n'arrêta jamais de parler THAI. Peu importe l'endroit, que ce soit en vendant des merguez à la centrale, en dormant clandestinement dans un jardin ou à trois dans un break, je me sens chez moi quand je suis avec vous. Saches que je vous considère comme mes frères et, comme on dit chez nous, même si on n'a pas le même sang, au moins on a le même sens.

*\* Certains passages sont rédigés en ex-yougoslave, toute compréhension est fortuite pour les non-initiés. Risque de strabisme, dyspraxie voire comitalité.*

**A Ugo**, ensemble depuis nos 3 ans, on se connaît sur le bout des doigts. Notre passion du hand que tu as poussée au plus haut niveau m'a rendu extrêmement fier de toi. J'admire ton courage et ton humilité qui t'on conduit à reprendre les études. Je serai toujours là pour toi quel qu'en soit les conséquences.

**A Nadir**, rak 3aref li kayn, bla man katrou flhadra bezzaf, rak b7al khouya. Merci pour tous ces fous rires au bord de l'asphyxie et toutes ces heures à t'attendre avec Ugo. Je te souhaite tout le bonheur que tu mérites avec **Nono**, c'est une fille formidable. Je serai toujours là pour vous quel qu'en soit les conséquences.

**A Amnay**, merci d'avoir été un grand frère pour moi. Tellement de journées aux sablottes, tellement de soirées au café la3bine goalvazer, tellement de dwirat fla BM, je savais même plus si j'habitais chez toi ou chez moi. Je te souhaite tout le bonheur que tu mérites avec **Mathilde**.

**A Ourtane**, même si on ne voit pas souvent, on se connaît depuis tellement longtemps que tu es comme une sœur pour moi. Ta générosité et ta gentillesse sont sans limites avec tes amis. Trop content que tu te sois rapprochée de nous. Je te souhaite plein de bonheur à 2. Je t'attends pour tourner au JJB.

### *A ma belle famille*

Merci d'avoir fait le déplacement, je suis très touché. Merci à tous de m'avoir accepté parmi vous. Vous êtes une famille en or et je suis extrêmement heureux d'en faire partie. Merci de m'avoir transmis vos valeurs et de m'avoir rendu meilleur.

**A Fatiha**, Merci de m'avoir accueilli comme un fils et de toujours vous enquérir de mon bien être, voir même plus que de celui de votre fille. Merci d'être une mwima formidable pour Adam. J'ai vraiment de la chance de vous avoir comme belle-mère.

**A Nace**, merci pour ta gentillesse. Merci de toujours faire passer les autres avant toi malgré tes difficultés. Et surtout merci pour tes tiramisus ...

**A Damien**, merci. Tu as hérité de la gentillesse et du gout du partage de ta mère. Tu es une personne en or qui sait ce qu'elle veut et donne tout pour y arriver. Surtout ne change pas.

**A Lilou et Franck**, merci pour vos valeurs humaines incroyables et votre gentillesse. Tellement généreux et bienveillants, c'est un honneur pour moi de vous côtoyer. Merci, Lilou de la part de l'hôpital de Montpellier dont tu représentes la moitié du chiffre d'affaire.

**A Clément**, merci car grâce à toi il y a toujours un plat de prêt quand on vient chez toi. T'es sur la bonne voie des études. Keep going ;)

**A Malika**, merci pour ta générosité et ta bonté incroyable. Merci d'être aussi attentionnée avec Adam. Tu es la meilleure tata YEYE.

**A Kheira et KEKE**, votre couple me fait rêver. Merci d'avoir le cœur sur la main, toujours avec le sourire et partants pour de nouvelles aventures. Que de bons moments passés ensemble à la montagne. On se refait ça quand vous voulez. **A Sarah, Mehdi, Ghalem** merci pour votre sympathie.

**A Tahar**, merci de m'avoir d'emblée accueilli comme un frère. A plus d'une reprise tu m'as prouvé pouvoir compter sur toi. Sache que c'est réciproque. Ton altruisme et ta générosité me touchent.

**A Alya**, merci d'être la meilleure cousine du monde. On, et surtout Adam, a beaucoup de chance de t'avoir. Ton nom est d'ailleurs le premier mot qu'il a su prononcer.

**A Rahma, Joel**, merci pour votre esprit festif et votre bonne humeur. On passe toujours de bons moments à vos côtés. Et merci pour les œufs frais du jardin.

**A Khatir**, merci de m'avoir confié votre fille avant de vous en aller. J'espère vous rendre fier et être à la hauteur de vos espérances. Reposez en paix

*A ma famille,*

**A Sofia**, malgré des centres d'intérêts très différents et ton caractère bien trempé on s'est toujours super bien entendu et je n'aurais pas pu avoir meilleure sœur. Merci d'être aussi entière. Quand tu n'aimes pas tu ne fais jamais semblant et les personnes comme toi se font très rares, ce qui, je pense, est très dommage. Grace à toi j'ai découvert ma passion pour le surf, en te suivant tous les jours à la plage. Merci d'avoir pris soin de moi, de m'avoir soutenu et de ne pas avoir douté de mes capacités durant cette sale première année de médecine. Merci pour les plats dans le micro-ondes quand je rentrais à 23h. Ton intelligence et on esprit d'analyse m'impressionnent. En vrai, qui peut lire, et surtout comprendre, un bouquin de Freud de 300 pages en 2 jours, et en plus devant la télé .... J'espère que vous serez heureux à 3 dans vos futurs projets.

**A Tarek**, c'est simple je ne te trouve pas de défaut et suis très fier que tu prennes soins de ma sœur comme tu le fais depuis de nombreuses années. Ton fond est trop bon et ton calme impressionnant. Je ne pouvais pas espérer meilleur beau-frère.

**A Ilyan**, mon petit soleil. Je souffre de ne pas te voir grandir et jouer avec Adam. Mais ne t'inquiètes pas, vous allez bientôt passer toutes les vacances ensemble pour devenir les meilleurs amis du monde.

**A Mamie**, du haut de tes 9 décennies et après avoir traversé des époques dont nous ne soupçonnerons jamais la difficulté, tu es toujours aussi rayonnante. Merci pour tous ces étés et tous ces noëls passés chez toi avec tous mes cousins qui resteront pour moi des moments inoubliables dans un cadre de jeu inégalable pour les enfants qu'ont été. Merci de nous avoir toujours gâtés, et même trop gâtés, vu que tu continues de le faire à chaque occasion simplement par plaisir d'offrir. Merci pour ton ouverture d'esprit et ta culture impressionnante que tu nous transmets à travers tes fameuses histoires. Merci pour ton affection sans limites que j'espère te rendre aussi bien...

**A Papi**, parti trop tôt, tu ne me laisseras que des bons souvenirs d'un homme fort et exemplaire avec une tendresse énorme pour ses petits-enfants. Repose en paix. J'espère que tu seras fier de moi ...

**A Brigitte E.**, femme forte et de conviction, je te remercie de nous avoir toujours chéris pendant notre enfance. Toujours partante pour les activités, tu m'as donné le goût de la débrouillardise et de la récup. Merci de ta présence rassurante au côté de Mamie et de tes attentions pour Adam qui me vont droit au cœur.

**A Geneviève et Ahmed**, vous représentez à vous seuls toute une partie de mon enfance, après toutes ces vacances et ces weekends passés ensemble de Tanger à la petite maison.

Merci de nous avoir toujours reçus et traités comme vos propres enfants. Je n'ai jamais perçu en vous une once de mauvais sentiments. J'admire votre côté soudé, votre bienveillance et votre sens du partage. J'espère vous voir plus souvent dans le futur...

**A Lilia**, la best des cousines. Ton énergie éclabousse toute la famille. Je me demande encore comment est-ce possible faire autant de trucs à la fois et d'être aussi bon dans sa vie professionnelle que personnelle. Merci de toujours prendre de nos nouvelles et d'être aussi attentionnée envers Adam, même à distance. Gros bisous à toute la fafa, **Adel, Mia, Malo et Fred**. On espère vous visiter bientôt, mais sérieusement cette fois 😊

**A Jad et Camil**, la proximité géographique et la complicité de nos mères a fait de nous les cousins les plus proches avec une relation quasi fraternelle dans l'enfance. J'aime votre côté peu loquace mais efficace. Pas mal de gens devraient prendre exemple sur vous. J'espère vraiment de tout mon cœur vous voir plus souvent car je sais que cette complicité ne disparaîtra jamais.

**A Jean-Michel et Viviane**, plus que des oncle et tante vous êtes devenus des amis. Ma liberté d'action et de parole à vos côtés me fait vraiment du bien. J M, tu as joué ton rôle de tonton drôle à merveille durant notre enfance si bien qu'on attendait toujours de te revoir avec impatience. **Eva** je suis impressionné par la femme que tu es devenue, je te souhaite de trouver ta voie et ton bonheur prochainement.

**Denis et Brigitte**, que des bons souvenirs avec vous, de la Mehari au Maroc. Merci pour nos discussions enflammées au petit dej ou en fin de soirée. **Léopaul**, je suis vraiment fier de l'homme que tu es devenu tant sur le plan physique qu'intellectuel. Je pense que tu as trouvé ta voie. Tu es passionné et il n'y a que comme ça qu'on réussit.

**A Anne et Jean-Marc**, merci pour tous ces bons moments passés de Metz à Gourchaud. Votre goût de l'aventure et du voyage m'a grandement inspiré, si bien que je ne m'arrête plus. **A Jeanne, Jules et Jacques**, bravo pour parcours respectifs et votre réussite.

**A ma famille au Maroc**, j'ai passé une enfance tellement heureuse avec vous. Que de bons souvenirs à la ferme. Vous m'avais fait découvrir les choses essentielles de la vie, la terre, la culture, l'élevage dans des conditions pas toujours faciles. Ce terrain de jeu était pour moi extraordinaire et mon épanouissement vous est en parti dû. Grâce à vous, je sais d'où je viens et je ne le perdrai jamais d'esprit. J'espère revenir très vite avec Adam.

**A Ali**, parti bien trop tôt de ce sale virus.

*A mon père,*

**Papa**, tu as toujours été un modèle pour moi, tant sur le plan personnel que professionnel. Au-delà de la ressemblance physique que tout le monde nous attribue, ta sérénité, ta simplicité et ta capacité à relativiser les problèmes non essentiels sont pour moi une source d'inspiration dont j'essaie de me rapprocher chaque jour. Bien que cela agace Maman parfois, je pense que tu es dans le vrai, et que tu es bien plus heureux (en faisant ton jardin) que les gens qui ont du mal à prendre du recul sur les choses superficielles. Tu m'as, sans peut-être t'en rendre compte, transmis le goût du travail. Comment aurait-il pu en être autrement lorsque tu vois ton père se lever très très tôt tous les jours ( y compris fériés)

depuis ta naissance, faire 900 km de route en une journée et repartir le lendemain, sans jamais se plaindre ne serait-ce qu'une fois. Ta réussite était loin d'être écrite lorsqu'on sait d'où tu viens, preuve que le travail et l'acharnement payent. Toujours attentionné envers Sofia et moi, tu n'oubliais jamais de nous ramener une petite attention en rentrant et je me rends compte aujourd'hui à quel point on a de la chance. J'espère être un aussi bon père pour Adam que tu ne l'as été pour moi. Pour tout ce que tu m'as transmis sans même le verbaliser, Merci. J'espère te le rendre au centuple lorsque besoin se fera...

*A ma mère,*

**Maman**, merci pour tout l'amour et l'éducation que tu m'as apportée. Merci d'avoir fait de moi quelqu'un d'ouvert d'esprit par mon enfance et ma double culture qui est pour moi l'une de mes plus grande force. Tu as toujours mis un point d'honneur à nous divertir et à stimuler notre esprit et notre corps à travers les activités extérieures, le sport, les livres, les reportages. C'est encore toi qui, connaissant ton fils, m'a ouvert les yeux sur ce que je voulais vraiment faire de ma vie avec cette phrase dont je me rappellerai toujours « T'es sûre que tu veux bosser dans un bureau ... ». Merci d'être le bras organisateur du foyer et d'être aussi complémentaire avec Papa. Merci de m'avoir montré par l'exemple que, dans la vie, il faut travailler dur pour réussir, toi qui des fois cumulait deux boulots. Excuse mon arrogance des fois mal placée. Merci pour ton soutien permanent dans les moments les plus durs de mon parcours universitaire et personnel, même si ce n'est pas évident de rassurer un enfant à 3000 km de distance. Ma petite réussite, je te la dois. J'ose espérer te rendre tout ce que tu m'as apporté.

**A vous deux**, merci de m'avoir toujours soutenu moralement et financièrement dans mes choix sans jamais poser de questions et de m'avoir permis d'aller faire mes études loin de vous pour mon bien personnel. Ma reconnaissance est à la hauteur de votre dévouement, c'est-à-dire infinie. Vous pourrez toujours compter sur moi vous le savez bien ...

*A ma fiancée,*

**Anissa**, je ne remercierai jamais assez le destin de t'avoir mis sur mon chemin. Merci pour tout l'amour que tu me portes chaque jour. Merci de toujours rire à mes blagues, même lorsque c'est la 150eme de la journée et qu'en vrai, elle est pas ouf...Merci d'avoir toujours cru en moi-même lorsque je postule à la NASA. Merci de me garder les pieds sur terre et de calmer mon arrogance lorsqu'il le faut. Merci pour le ménage (ça va les femens, je rigole). Merci de m'avoir donné le plus merveilleux des fils et merci pour ta dévotion infinie qui fait passer notre famille avant tout. Conscient de ne pas être le plus démonstratif, du fait d'être le croisement d'un chel7 et d'une lorraine, je profite de ces quelques mots pour te dire que je t'aime et que tu vas malheureusement devoir me supporter jusqu'à la fin de nos jours...

*A mon fils,*

**Adam**, comment aurait-on pu espérer meilleur fils... merci pour ton sourire et tes rires permanents, même par 40 de fièvre. Merci d'avoir commencé à marcher à 13.5 kg, nos dos respectifs t'en sont reconnaissants... Merci de calmer Tokyo lorsqu'il prend un peu trop ses aises. Merci de me rappeler à quel point le bonheur est simple et que l'essentiel est bien d'être ensemble, à Montpellier, Mohammedia ou Tahiti. Merci de rendre si fier et heureux ton père... Je t'aime. Papa

*A mes deux pays le Maroc et la France que je porte indissociablement dans mon cœur et dans mon sang.*

# Table des matières

ABSTRACT.....	36
BACKGROUND .....	37
MATERIALS AND METHODS.....	38
<i>Study design</i> .....	38
<i>Inclusion Criteria</i> .....	39
<i>Patients' management</i> .....	39
<i>Study Protocol</i> .....	39
<i>Data collection</i> .....	40
<i>Study Definitions</i> .....	41
<i>Statistical analysis</i> .....	41
DISCUSSION.....	51
REFERENCES .....	55

# Chest wall mechanics and elastance course in severe chest trauma patients under mechanical ventilation

## ABSTRACT

**Background:** Chest trauma may modify thoracic stiffness and chest wall elastance, which makes airway pressures unreliable to reflect lung status. This study aimed to describe respiratory mechanics of chest wall and its influence on respiratory system elastance in severe chest trauma patients under mechanical ventilation within first days following trauma.

**Methods:** A monocentric prospective physiological study was carried out in the Montpellier Lapeyronie University Hospital from January 2019 to May 2021. Patients hospitalized with a severe chest trauma (AIS  $\geq 3$ ) and requiring a prolonged mechanical ventilation were included. An esophageal pressure monitoring was placed to distinguish chest wall and lung mechanical properties under mechanical ventilation and their evolution within 5 days. The chest wall /respiratory system elastance ratio ( $E_{CW}/E_{RS}$ ) was specifically studied.

**Results:** Forty-two patients with mechanical ventilation requirement were enrolled. Seventy-nine percent were male and the median age was 52 years [32– 60 years]. Fifty-five percent had chest flails and 36% had pulmonary contusions involving 3 lobes or more. Mean respiratory system driving pressure ( $\Delta P_{RS}$ ) on admission was  $10 \pm 2$  cmH<sub>2</sub>O with a respiratory system elastance ( $E_{RS}$ ) of 22 (SD 5) cmH<sub>2</sub>O/L. Chest wall driving pressure ( $\Delta P_{CW}$ ) on admission was 4 cmH<sub>2</sub>O (IQR 4–5 cmH<sub>2</sub>O), chest wall elastance ( $E_{CW}$ ) 10 cmH<sub>2</sub>O/L (IQR 8–13 cmH<sub>2</sub>O/L) and  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio 0.48 (IQR 0.34–0.60). No significant evolution was found in respiratory system and lung parameters.  $\Delta P_{CW}$  was found significantly increased over the first 5 days following trauma ( $P < 0.01$ ), while keeping physiological values.  $E_{CW}$  and  $E_{CW}/E_{RS}$  did not significantly vary in contrast ( $P = 0.25$  and  $P = 0.31$ , respectively).

**Conclusion:** Chest wall mechanical properties and  $E_{CW}$  remained stable and close to physiological ranges during first days following severe chest trauma with unmodified contribution to the total respiratory system elastance.

**Key words:** Thoracic trauma, Lung injury, Intensive care unit, Ventilator-induced lung injury, Driving pressure, Transpulmonary pressure, Esophageal pressure.

## BACKGROUND

Thoracic trauma may involve many kinds of injuries, mainly osseous (ribs, sternal fractures, chest flails), parenchymal (pulmonary contusions, pneumothoraces, pleural effusions), diaphragmatic or affecting the heart and great vessels. Mortality of ventilated patients with polytrauma involving thoracic injuries is up to 25% and dramatically increases to 42% in case of combined lung and chest wall injuries (1,2). Five to 8% of trauma related-death are directly imputable to a thoracic injury (3). Chest trauma patients often present respiratory failure and even ARDS with a need for mechanical ventilation in most critical cases (4–6). Twenty-four to 35 % of the chest trauma patients will develop ARDS (7,8). Severe injuries are usually associated with an important systemic inflammatory response that may worsen respiratory failure by protein-rich fluid extravasation related to increased vascular permeability and surfactant composition alteration (9).

Many mechanical ventilation strategies were proposed over the last decades in ARDS management in order to optimize gas exchange while limiting damage to the lung (10). Current guidelines for lung-protective ventilation recommend the use of limited tidal volumes ( $V_T$ ), significant levels of positive end-expiratory pressure (PEEP) and limited inspiratory plateau pressure ( $P_{PLAT}$ ) ( $< 30$  cm H<sub>2</sub>O) to prevent further lung damage from excessive stress and strain (11,12). In recent years, the variation in pressure level into the respiratory system during a ventilation cycle, also called “driving pressure” ( $\Delta P_{RS}$ ), was established as the most suitable determinant of ventilation induced lung injury (VILI) generation because it would represent dynamic stress applied to the lung parenchyma. Some studies indeed reported that a  $\Delta P_{RS}$  superior to 14 cmH<sub>2</sub>O threshold is associated with higher mortality in ARDS population, making it the main parameter to identify most severe patients under mechanical ventilation (13–18). Many experts recommend to guide trauma patients ventilation with  $\Delta P_{RS}$  according

to the guidelines (19). However, evidences in trauma setting are scarce since cohorts included a limited number of chest-trauma patients; 8% to 13% in most series (20).

From a physiological point of view,  $\Delta P_{RS}$  represents the addition of the pressure needed to inflate the lungs (transpulmonary or lung driving pressure [ $\Delta P_L$ ]) and the pressure needed to mobilize the chest wall (chest wall driving pressure [ $\Delta P_{CW}$ ]) (21). Consequently,  $\Delta P_{RS}$  value may reflect different situations of  $\Delta P_L$  according to the value of chest wall elastance ( $E_{CW}$ ). Thus, in chest trauma patients, osseous and pleural injuries may induce changes in thoracic stiffness, leading to  $E_{CW}$  and  $\Delta P_{CW}$  variations. In this setting,  $\Delta P_{RS}$  would not be reliable to determine the actual stress applied across the lung, making it a non-suitable parameter to guide mechanical ventilation (22–24). The use of esophageal pressure ( $P_{ES}$ ) monitoring, as a surrogate of pleural pressure, enables in contrast a distinction between  $\Delta P_L$  and  $\Delta P_{CW}$ , and consequently between lung and chest wall elastances.  $P_{ES}$  has experienced a growing interest in recent years since it allows to directly quantify the mechanical stress applied to the lung parenchyma (25). To our knowledge, no study investigated chest wall properties following a severe chest trauma using  $P_{ES}$  monitoring.

This study aimed to describe chest wall mechanical properties, especially  $E_{CW}$ , in severe chest trauma patients under mechanical ventilation and its evolution within first days. The influence of chest wall on respiratory system total elastance was particularly studied.

## **MATERIALS AND METHODS**

### ***Study design***

A monocentric prospective observational physiological study was carried out in the trauma intensive care unit (ICU) of Lapeyronie University Hospital (Level I Regional Trauma Center, Montpellier, France; Occitrauma network) from January 2019 to May 2021. In accordance with the declaration of Helsinki, the study protocol was approved by the ethics committee (Comité

de Protection des Personnes, Sud-Est IV, France, Mars 2018) and was prospectively registered in ClinicalTrials.gov (NCT03367442).

### ***Inclusion Criteria***

Patients admitted in Lapeyronie Hospital ICU were included in the present study within 24 hours after admission if they met the following criteria: (1) Hospitalization following severe chest trauma (AIS  $\geq 3$ ); (2) Mechanical ventilation requirement during the first 24 hours after trauma for an expected duration of at least 72 hours (3) Availability of P<sub>ES</sub> monitoring device. Minors, pregnant women, patients who had prior admission to another hospital, or those who presented contraindications to esophageal catheter use such as esophageal injury, ulcerations, tumors or bleeding varices were not included. Patients who died within the first 48h and patients ventilated for less than 48h were subsequently excluded. After inclusion, written informed consent was obtained from the patients or their relatives before intensive care unit discharge.

### ***Patients' management***

During the study period, a standardized management was applied for severe trauma patients according to international guidelines. Multimodal monitoring including electrocardiography, pulse oximetry, capnography, and invasive arterial blood pressure (ABP) was used to guide management. All patients were deeply sedated during initial phase and ventilated in volume-controlled mode using a lung-protective mechanical ventilation protocol according to the current guidelines (*i.e.*, limited (V<sub>T</sub>) between 6 and 8 ml/kg of ideal body weight, limited P<sub>PLAT</sub> and PEEP). Ventilator parameters were set to avoid intrinsic PEEP. In specific settings such as refractory hypoxemia, additional therapy to conventional mechanical ventilation could be used like prone positioning or veno-venous extracorporeal membrane oxygenation.

### ***Study Protocol***

In the first 24 hours after trauma, an esophageal catheter (47-9005, CooperSurgical, Inc., Trumbull, US) was placed into the lower esophagus by naso-esophageal approach for each patient included. Oro-esophageal approach was used in case of nasopharyngeal trauma or infection. Laryngoscopy could be used to help correct insertion in case of difficulties. Balloon correct placement was verified by chest X-ray after introduction and using Baydur maneuver before each measurements after non-stress minimal volume implementation (26,27). Following study protocol, inspiratory and expiratory esophageal pressures ( $P_{ES-I}$  and  $P_{ES-E}$ ) were recorded every day while applying respectively an inspiratory and an expiratory pause for at least 10 seconds after controlling the absence of spontaneous breathing. Thereafter, protocol was stopped after 5 days or earlier if the patient was switched to a spontaneous breathing ventilation mode. Physicians in charge of medical care were blinded to the measurements, which were carried out by a member of the research team. No modification of ventilation settings, patient positioning or drug administration was initiated by research team or based on study findings.

### ***Data collection***

Ventilation data from the first 5 days were collected each measurement phase: partial pressure of carbon dioxide and oxygen in arterial blood ( $PaCO_2$  and  $PaO_2$  respectively),  $FIO_2$ , respiratory rate (RR),  $V_T$ ,  $P_{PLAT}$ , PEEP, inspiratory and expiratory  $P_{ES}$  ( $P_{ES-I}$  and  $P_{ES-E}$ ) and neuromuscular blockade use.  $\Delta P_{RS}$  and  $\Delta P_{CW}$  were thus calculated, as well as inspiratory and expiratory transpulmonary pressures ( $P_{L-I}$  and  $P_{L-E}$ ) and  $\Delta P_L$ . Finally, elastances of the respiratory system ( $E_{RS}$ ), chest wall ( $E_{CW}$ ) and lung ( $E_L$ ) were determined and chest wall/respiratory system elastance ratio ( $E_{CW}/E_{RS}$ ) was calculated.

In addition, the following demographic, anthropometric and clinical data were extracted from medical records: age, sex, weight and height, mechanism and severity of injuries, organs failures, blood cells transfusion and initial operative management. Biological parameters at entry such as pH, base deficit, lactates and haemoglobin levels were also recorded. Data

concerning chest trauma were extracted from CT scans on admission and analysed by two independent radiologists. Injuries severity was assessed using the Abbreviated Injury Scale (AIS, from 1 to 6)(28). Severity scores such as SOFA, Simplified Acute Physiology Score II (SAPS II), Injury severity score (ISS) and Thoracic trauma severity score (TTS) were calculated (6,29,30). Finally, many endpoints were collected: ventilator-associated pneumonia occurrence, dialysis or tracheostomy need, mechanical ventilation duration, ICU and hospital length of stay.

### ***Study Definitions***

Injuries were considered as severe if  $AIS \geq 3$ . Hemothorax was considered as massive/compressive if it was estimated at 1 liter or more on the admission CT scan or if it had hemodynamic impact (hypotension, shock). Pneumothorax was considered as total/compressive if it covered 50% or more of the pleural cavity or if it had hemodynamic impact. Chest flail was defined as 3 or more successive broken ribs in at least 2 places.  $\Delta P_{RS}$  was obtained by subtracting PEEP from  $P_{PLAT}$ .  $\Delta P_{CW}$  was obtained by subtracting  $P_{ES-E}$  from  $P_{ES-I}$ .  $\Delta P_L$  was obtained by subtracting  $\Delta P_{CW}$  from  $\Delta P_{RS}$ .  $P_{L-I}$  and  $P_{L-E}$  were determined by subtracting  $P_{ES-I}$  from  $P_{PLAT}$ , and  $P_{ES-E}$  from PEEP, respectively.  $E_{RS}$ ,  $E_{CW}$  and  $E_L$  were defined as the quotients of  $\Delta P_{RS}$ ,  $\Delta P_{CW}$  and  $\Delta P_L$  on  $V_T$  (in liters), respectively.  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio was used as the global reflect of chest wall influence on total respiratory system elastance

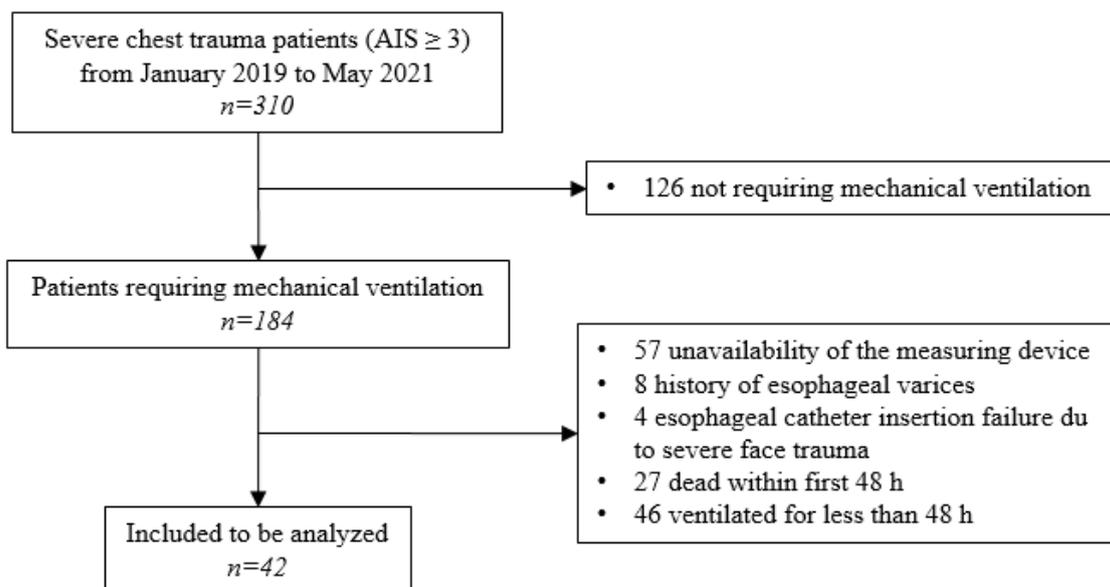
### ***Statistical analysis***

A descriptive analysis of the whole sample was first performed to present patients' characteristics. The population was then analysed according to chest wall mechanical proprieties using  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio at day 0 quartiles (Q) as it is recognized as the best marker of chest wall influence on global elastance (31,32). Three groups were *a priori* established as follows:  $E_{CW}/E_{RS} \leq Q1$ ;  $E_{CW}/E_{RS}$  between Q1 and Q3 and  $E_{CW}/E_{RS} \geq Q3$ . Quantitative variables were expressed as mean (standard deviation [SD]) or median (interquartile range [IQR], 25–

75%) and compared using analysis of variance (ANOVA) or Kruskal-Wallis test as appropriate for Gaussian or non-Gaussian variables respectively. Qualitative variables were expressed as numbers (%) and compared using Fisher test. Box-plots showing mean, median, interquartile 25–75% range and full range were used to expose the main parameters evolution during the first days following trauma. Mixed linear models were built to test the variation of repeated measurements over time for each ventilatory parameter. Models *P* values were integrated to the corresponding parameters box-plots. The statistical analysis was performed by KB using SAS statistical software (version 9.4; SAS Institute; Cary, NC).

## RESULTS

Of the 310 severe chest trauma patients admitted to our trauma ICU during the study period, 42 requiring prolonged mechanical ventilation were included. The flow chart of the study is presented in the **Figure 1**.



**Fig 1.** Study Flowchart

Among study population, 33 (79%) were male and the median age was 52 years (IQR, 32–60 years). Mean BMI was 25.4 (SD 3.9) kg/m<sup>2</sup> and 7 % had a BMI >30 kg/m<sup>2</sup>. Concerning severity scores, mean SOFA and SAPS were 9.3 (SD 3.9) and 46 (SD 16) respectively, while mean ISS and TTS were 54 (SD 19) and 14 (SD 5). Severe extrathoracic injuries were distributed as follows: head 38%, face 45 %, abdomen 31%, pelvis and extremities 74%, and skin and soft tissues 40%. Prevalence of chest injuries were: hemothoraces 67%, massive/compressive hemothoraces 7%, pneumothoraces 83%, total/compressive pneumothoraces 40%, ribs fracture 98%, chest flail 55 %, pulmonary contusions 86%, tree lobes or more contusions 36%. All patients' baseline characteristics are presented in **Table 1**. Median mechanical ventilation duration was 16 days (IQR 11–30 days) when mean mortality rate during the hospital stay was 12%. Four patients died within the first 28 days and 2 between 28 and 180 days after trauma. Mean worst PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio was 178 (SD 87) and 60% of the sample presented moderate to severe ARDS. Two patients received one session of prone positioning after 6 and 7 days of ventilation, and two required VV-ECMO assistance for refractory respiratory failure. All patients' endpoints are presented in **Table 2**.

**Table 1.** Baseline patients' characteristics according to  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio ( $N=42$ )

Characteristics	Total ( $N=42$ )	$E_{CW}/E_{RS} < 0.38$ ( $n=11$ )	$0.38 \leq E_{CW}/E_{RS} \leq 0.6$ ( $n=20$ )	$E_{CW}/E_{RS} > 0.60$ ( $n=11$ )	<i>P</i> value
<b>Main characteristics</b>					
Male, <i>n</i> (%)	33 (79)	8 (73)	15 (75)	10 (91)	0.63 *
Age (years)	52 [32–60]	55 [35–77]	49 [28–57]	54 [32–63]	0.29 <i>ku</i>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.4 ±3.9	26.2 ±3.7	24.5 ±3.6	26 ±4.7	0.42 <sup>A</sup>
BMI ≥ 30 kg/m <sup>2</sup>	3 (7)	2 (18)	0 (0)	1 (9)	0.13 *
SOFA at baseline	9.3 ±3.9	9.9 ±4.7	9.7 ±3.7	8 ±3.4	0.45 <sup>A</sup>
SAPS II	46 ±16	49 ±17	41 ±14	51 ±15	0.14 <sup>A</sup>
Norepinephrine (mg/h)	1.9 [1–4]	4 [2–5]	1.6 [1–3.3]	1.5 [0.3–3]	0.17 <i>ku</i>
Norepinephrine > 0.1 µg/kg/min, <i>n</i> (%)	30 (71)	8 (72)	15 (75)	7 (63)	0.90 *
<b>Injuries severity</b>					
Head AIS ≥3, <i>n</i> (%)	16 (38)	3 (27)	10 (50)	3 (27)	0.36 *
Face AIS ≥3, <i>n</i> (%)	19 (45)	5 (45)	8 (40)	6 (55)	0.79 *
Abdomen AIS ≥3, <i>n</i> (%)	13 (31)	3 (27)	9 (45)	1 (9)	0.11 *
Extremities, pelvis AIS ≥3, <i>n</i> (%)	31 (74)	9 (82)	13 (65)	9 (82)	0.48 *
External AIS ≥3, <i>n</i> (%)	17 (40)	6 (55)	4 (20)	7 (64)	0.03 *
Thoracic AIS ≥ 5, <i>n</i> (%)	19 (45)	4 (36)	12 (60)	3 (27)	0.21 *
ISS	54 ±19	54 ±20	59 ±18	45 ±15	0.15 <sup>A</sup>
<b>Bleeding management</b>					
RBC transfusion < 6h (pellets)	2.7 ±4.8	3.6 ±5.1	3.2 ±5.6	1.1 ±2.1	0.64 <i>ku</i>
Total RBC transfusion (pellets)	4 [2–8]	7 [4–11]	5 [2–8]	3 [0–4]	0.04 <i>ku</i>
<b>Operative management</b>					
Laparotomy, <i>n</i> (%)	5 (12)	1 (9)	4 (20)	0 (0)	0.35 *
Thoracic surgery, <i>n</i> (%)	4 (10)	2 (18)	1 (5)	1 (9)	0.57 *
<b>Thoracic Injury details</b>					
Hemothorax, <i>n</i> (%)					0.48 *
unilateral	13 (31)	4 (36)	6 (30)	3 (27)	
bilateral	15 (36)	5 (45)	8 (40)	2 (18)	
Hemothorax, <i>n</i> (%)					1.00 *
mild	25 (60)	8 (73)	12 (60)	5 (45)	
massive/compressive	3 (7)	1 (9)	2 (10)	0 (0)	
Pneumothorax, <i>n</i> (%)					0.35 *
unilateral	20 (48)	7 (64)	9 (45)	4 (36)	
bilateral	15 (36)	3 (27)	9 (45)	3 (27)	
Pneumothorax, <i>n</i> (%)					0.06 *
mild	18 (43)	8 (73)	6 (30)	4 (36)	
total/compressive	17 (40)	2 (18)	12 (60)	3 (27)	
Ribs fracture, <i>n</i> (%)					0.17 *

Characteristics	Total (N=42)	E <sub>CW</sub> /E <sub>RS</sub> <0.38 (n=11)	0.38 ≤ E <sub>CW</sub> /E <sub>RS</sub> ≤ 0.6 (n=20)	E <sub>CW</sub> /E <sub>RS</sub> >0.60 (n=11)	P value
1 to 3 unilateral	3 (7)	1 (9)	1 (5)	1 (9)	
4 to 6 unilateral	6 (14)	2 (18)	1 (5)	3 (27)	
< 3 bilateral	9 (21)	4 (36)	2 (10)	3 (27)	
Flail chest	23 (55)	4 (36)	15 (75)	4 (36)	
Pulmonary contusions, n (%)					0.16 *
1 lobe	3 (7)	0 (0)	1 (5)	2 (18)	
2 lobes	18 (43)	6 (55)	5 (25)	7 (64)	
3 lobes	5 (12)	0 (0)	4 (20)	1 (9)	
4 or 5 lobes	10 (24)	3 (27)	6 (30)	1 (9)	
TTS score	14 ±5	14 ±5	14 ±5	12 ±5	0.59 <sup>A</sup>
<b>Arterial blood gas at entry</b>					
PAFI (mmHg)	208 [116–309]	116 [61–255]	259 [185–349]	211 [130–420]	0.10 <sup>ku</sup>
pH (mmHg)	7.29 ±0.13	7.24 ±0.19	7.30 ±0.09	7.32 ±0.10	0.30 <sup>A</sup>
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	103 [82–162]	85 [61–135]	120 [89–178]	95 [85–162]	0.39 <sup>ku</sup>
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	44 ±9	47 ±12	44 ±8	43 ±6	0.47 <sup>A</sup>
Lactates (mmol/l)	3 [2.3–3.6]	3.60 [2.3–7.1]	2.65 [2.2–3.3]	3 [2.3–3.5]	0.22 <sup>ku</sup>

Data are expressed as mean±SD for Gaussian variables, Median [Q1 – Q3] for non-Gaussian variables or as number of patients (percentage) as appropriate.

\* Fisher test

<sup>A</sup> ANOVA test

<sup>ku</sup> Kruskal-Wallis test

BMI, Body Mass Index; SOFA, Sequential Organ Failure Assessment; SAPS II, Simplified Acute Severity Score; AIS, Abbreviated Injury Scale; ISS, Injury Severity Score; RBC, Red Blood Cells; TTS, Thoracic Trauma Severity.

**Table 2.** Patients outcomes according to  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio ( $N=42$ )

Outcome	Total ( $N=42$ )	$E_{CW}/E_{RS} < 0.38$ ( $n=11$ )	$0.38 \leq E_{CW}/E_{RS} \leq 0.60$ ( $n=20$ )	$E_{CW}/E_{RS} > 0.60$ ( $n=11$ )	<i>P</i> Value
ARDS, <i>n</i> (%)					0.14 *
mild	13 (31)	2 (18)	7 (35)	4 (36)	
moderate	14 (33)	3 (27)	9 (45)	2 (18)	
severe	11 (26)	5 (45)	4 (20)	2 (18)	
Time to ARDS (days)	0 [0–1]	1 [0–4]	0 [0–2]	0 [0–1]	0.44 <sup>ku</sup>
Worst PaO <sub>2</sub> /FIO <sub>2</sub>	178 ±87	138 ±75	169 ±59	236 ±115	0.02 <sup>A</sup>
Prone positioning, <i>n</i> (%)	2 (5)	1 (9)	1 (5)	0 (0)	1.00 *
ECMO, <i>n</i> (%)	2 (5)	0 (0)	2 (10)	0 (0)	0.49 *
Ventilation duration (days)	16 [11–30]	23 [15–39]	13 [10–35]	15 [10–22]	0.26 <sup>ku</sup>
Ventilation Free Days at day 28	11 [0–17]	2 [0–13]	14 [0–18]	12 [0–18]	0.39 <sup>ku</sup>
Weaning failure, <i>n</i> (%)	10 (32)	4 (36)	4 (20)	2 (18)	0.64 *
Tracheostomy, <i>n</i> (%)	10 (24)	2 (18)	6 (30)	2 (18)	0.72 *
Ventilator-associated pneumonia, <i>n</i> (%)	36 (86)	9 (82)	18 (90)	9 (82)	0.63 *
Time to pneumonia (days)	5 [3–7]	4 [1–5]	6 [4–7]	6 [2–9]	0.28 <sup>ku</sup>
ICU stay (days)	33 ±18	40 ±21	32 ±18	26 ±15	0.29 <sup>A</sup>
Hospitalization after ICU, <i>n</i> (%)	29 (78)	8 (73)	13 (65)	8 (73)	0.37 *
Hospital stay (days)	45 [27–64]	61 [39–83]	45 [24–58]	38 [30–54]	0.39 <sup>ku</sup>
Hospital mortality, <i>n</i> (%)	5 (12)	2 (18)	1 (5)	2 (18)	0.42 *
Day 28 Mortality, <i>n</i> (%)	4 (10)	2 (18)	1 (5)	1 (9)	0.57 *
Day 180 Mortality, <i>n</i> (%)	6 (16)	2 (18)	2 (10)	2 (18)	0.61 *

Data are expressed as mean±SD for Gaussian variables, Median [Q1 – Q3] for non-Gaussian variables or as number of patients (percentage) as appropriate.

\* Fisher test

<sup>A</sup> ANOVA test

<sup>ku</sup> Kruskal-Wallis test

ARDS, Acute Respiratory Distress Syndrom; ECMO, Extra-Corporeal Membrane Oxygenation; ICU, intensive care unit.

On the first day of ventilation, mean  $P_{PLAT}$  was 18 (SD 3) cm H<sub>2</sub>O and median PEEP was 7 cmH<sub>2</sub>O (IQR, 6–9 cmH<sub>2</sub>O) when average  $\Delta P_{RS}$  was 10 (SD 2) cmH<sub>2</sub>O for a tidal volume of 6.5 (SD 0.5) ml/kg of predicted body weight.  $\Delta P_L$  remained in a safe range at 6 (SD 2) cmH<sub>2</sub>O while  $P_{L-E}$  was negative with a mean value of -0.5 (SD 3) cmH<sub>2</sub>O. Regarding chest wall dynamic properties, median  $\Delta P_{CW}$  on admission was 4 cmH<sub>2</sub>O (IQR, 4–5 cmH<sub>2</sub>O), which resulted in median  $E_{CW}$  of 10 cmH<sub>2</sub>O/L (IQR, 8–13 cmH<sub>2</sub>O/L) and a median  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio of 0.48 (IQR, 0.34–0.60).

When analyzing the population according to  $E_{CW}/E_{RS}$ , first and third quartiles boundaries were 0.38 and 0.60, respectively. Only peak pressure and massive/compressive

pneumothoraces incidence differed significantly between the three groups ( $P=0.05$  and  $P=0.06$ , respectively). All mechanical ventilation characteristics are presented in **Table 3**.

**Table 3: Respiratory characteristics at day 0 according to the  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio ( $n=42$ )**

Respiratory characteristics	Total ( $N=42$ )	$E_{CW}/E_{RS} < 0.38$ ( $n=11$ )	$0.38 \leq E_{CW}/E_{RS} \leq 0.6$ ( $n=20$ )	$E_{CW}/E_{RS} > 0.60$ ( $n=11$ )	<i>P</i> Value
FiO <sub>2</sub> (%)	38 [30–40]	40 [35–40]	38 [30–40]	30 [25–40]	0.63 <sup>ku</sup>
Tidal volume (ml/kg PBW)	6.5 ±0.5	6.5 ±0.5	6.4 ±0.6	6.4 ±0.5	0.92 <sup>A</sup>
Respiratory rate (/min)	21 ±4	21 ±6	21 ±3	22 ±3	0.85 <sup>A</sup>
P <sub>PEAK</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	26 ±5	28 ±3	27 ±5	23 ±4	0.05 <sup>A</sup>
P <sub>PLAT</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	18 ±3	18 ±4	18 ±3	17 ±3	0.40 <sup>A</sup>
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	7 [6–9]	7 [6–10]	8 [6–9]	7 [6–9]	0.84 <sup>ku</sup>
P <sub>ES-I</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	15 ±4	15 ±5	14 ±3	16 ±4	0.56 <sup>A</sup>
P <sub>ES-E</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	9 [8–11]	10 [8–12]	8 [8–10]	8 [7–14]	0.59 <sup>ku</sup>
P <sub>L-I</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	5 ±3	6 ±4	5 ±2	4 ±2	0.26 <sup>A</sup>
P <sub>L-E</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	-0.5 ±3	-0.1 ±2	-0.4 ±3	-0.9 ±4	0.86 <sup>A</sup>
ΔP <sub>RS</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	10 ±2	10 ±2	10 ±2	9 ±3	0.35 <sup>A</sup>
ΔP <sub>CW</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	4 [4–5]	3 [3–3]	4 [4–5]	5 [5–7]	< 0.01 <sup>ku</sup>
ΔP <sub>L</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	6 ±2	7 ±2	6 ±2	4 ±2	< 0.01 <sup>A</sup>
E <sub>RS</sub> (cmH <sub>2</sub> O/L)	22 ±5	24 ±6	22 ±4	19 ±6	0.13 <sup>A</sup>
E <sub>CW</sub> (cmH <sub>2</sub> O/L)	10 [8–13]	6 [6–8]	10 [9–12]	14 [11–17]	< 0.01 <sup>ku</sup>
E <sub>L</sub> (cmH <sub>2</sub> O/L)	13 ±5	17 ±5	13 ±4	7 ±2	< 0.01 <sup>A</sup>
$E_{CW}/E_{RS}$	0.48 [0.34–0.60]	0.29 [0.25–0.34]	0.48 [0.42–0.53]	0.68 [0.65–0.80]	< 0.01 <sup>ku</sup>

Data are expressed as mean±SD for Gaussian variables, Median [Q1 – Q3] for non-Gaussian variables or as number of patients (percentage) as appropriate.

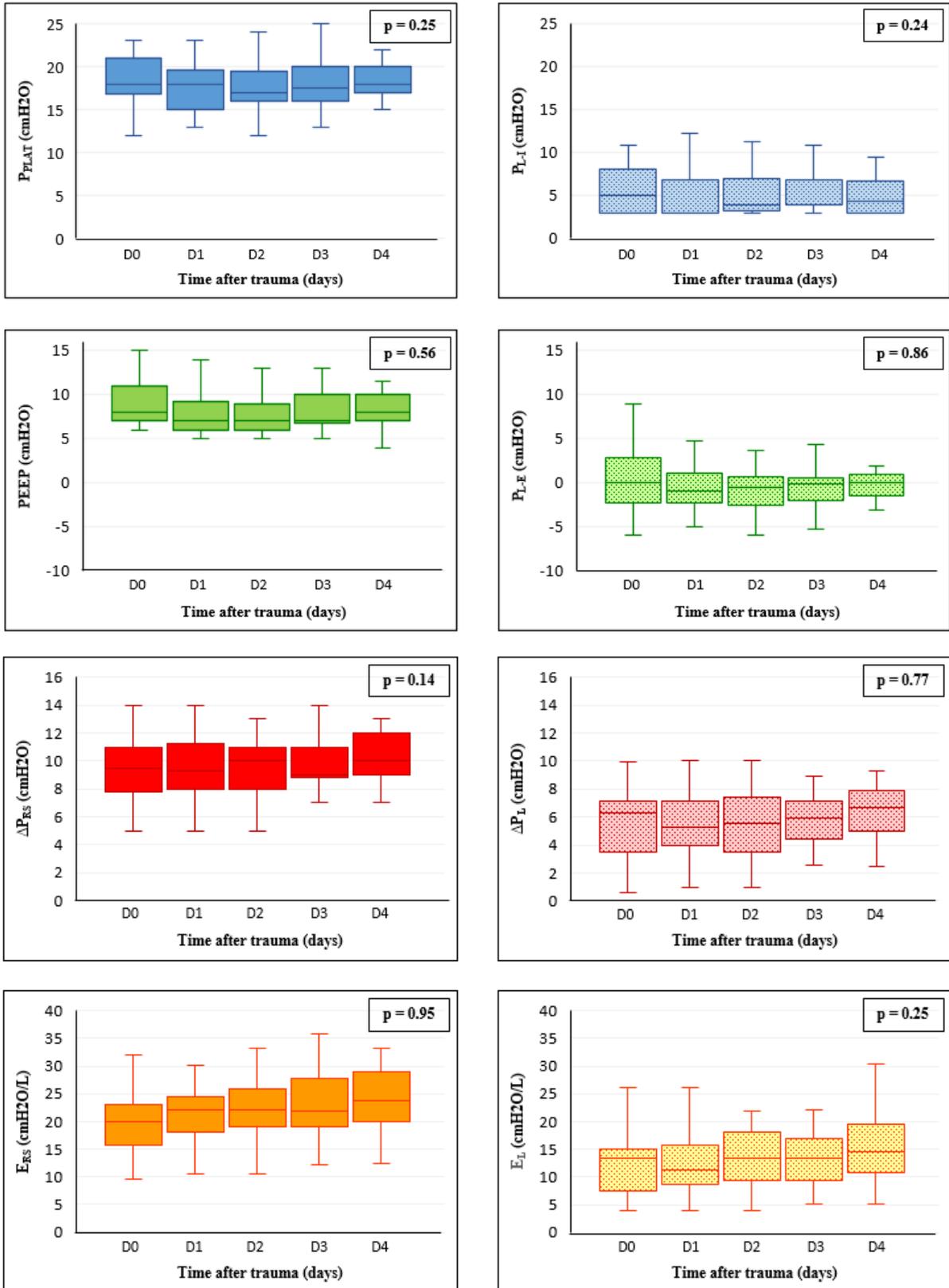
\* Fisher test

<sup>A</sup> ANOVA test

<sup>ku</sup> Kruskal-Wallis test

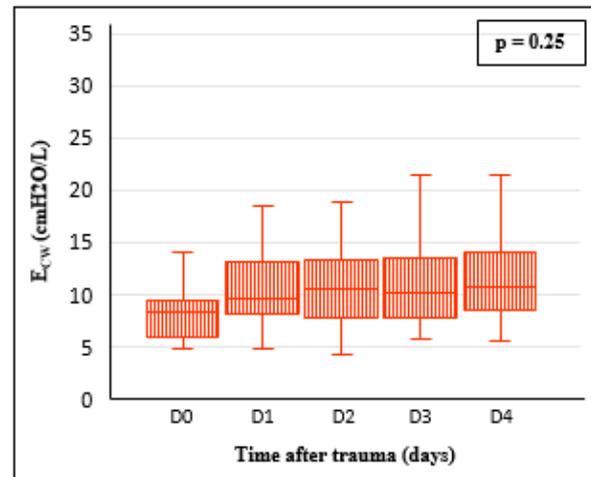
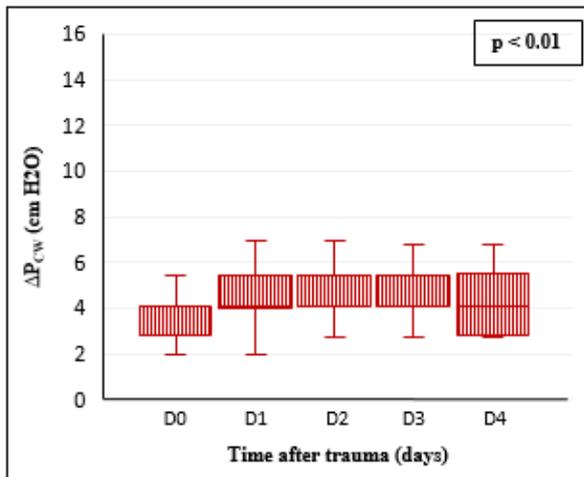
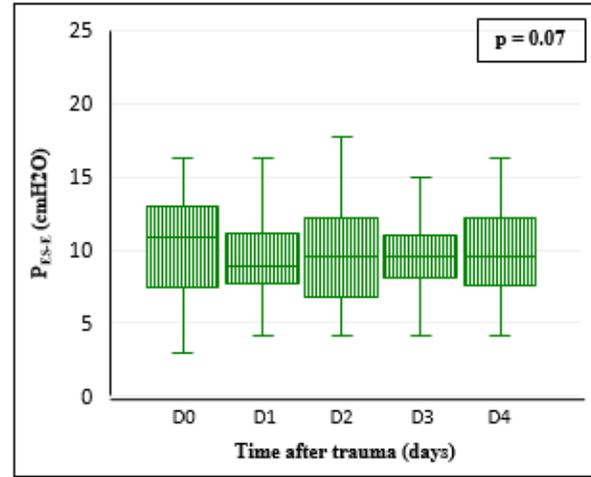
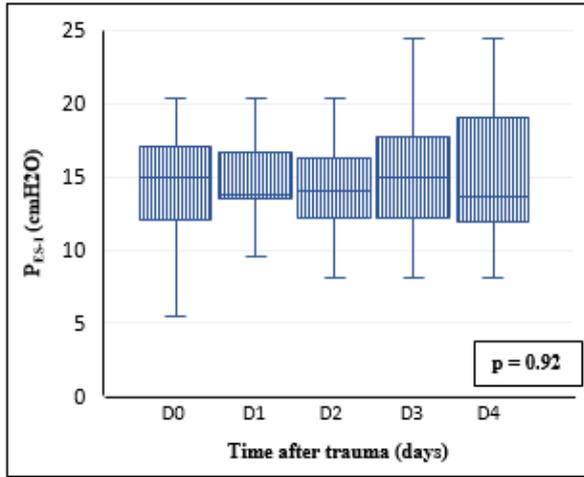
P<sub>PEAK</sub>, Peak Pressure; P<sub>PLAT</sub>, Plateau Pressure; PEEP, Positive End-Expiratory Pressure; P<sub>ES-I</sub>, Inspiratory Esophageal Pressure; P<sub>ES-E</sub>, Expiratory Esophageal Pressure; P<sub>L-I</sub>, Inspiratory Transpulmonary Pressure; P<sub>ES-E</sub>, Expiratory Transpulmonary Pressure; ΔP<sub>RS</sub>, Respiratory System Driving Pressure; ΔP<sub>CW</sub>, Chest Wall Driving Pressure; ΔP<sub>L</sub>, Lung Driving Pressure; E<sub>RS</sub>, Respiratory System Elastance; E<sub>CW</sub>, Chest Wall Elastance; E<sub>L</sub>, Lung Elastance;  $E_{CW}/E_{RS}$ , Chest Wall / Respiratory System Elastance Ratio;  $E_L/E_{RS}$ , Lung / Respiratory System Elastance Ratio.

No significant evolution was found for the main respiratory system and lung parameters over the first 5 days following trauma (**Fig. 2**). Regarding chest wall properties, only ΔP<sub>CW</sub> was found to increase significantly between day 0 and day 1 ( $P<0.01$ ). In contrast, E<sub>CW</sub> and  $E_{CW}/E_{RS}$  did not significantly vary over the first 5 days following trauma ( $P=0.25$  and  $P=0.31$ , respectively). Chest wall ventilation parameters evolution are presented as crude values in **Figure 3**, and as relative variation in comparison to day 0 in **Figure 4**.  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio evolution is detailed in **Figure 5**.



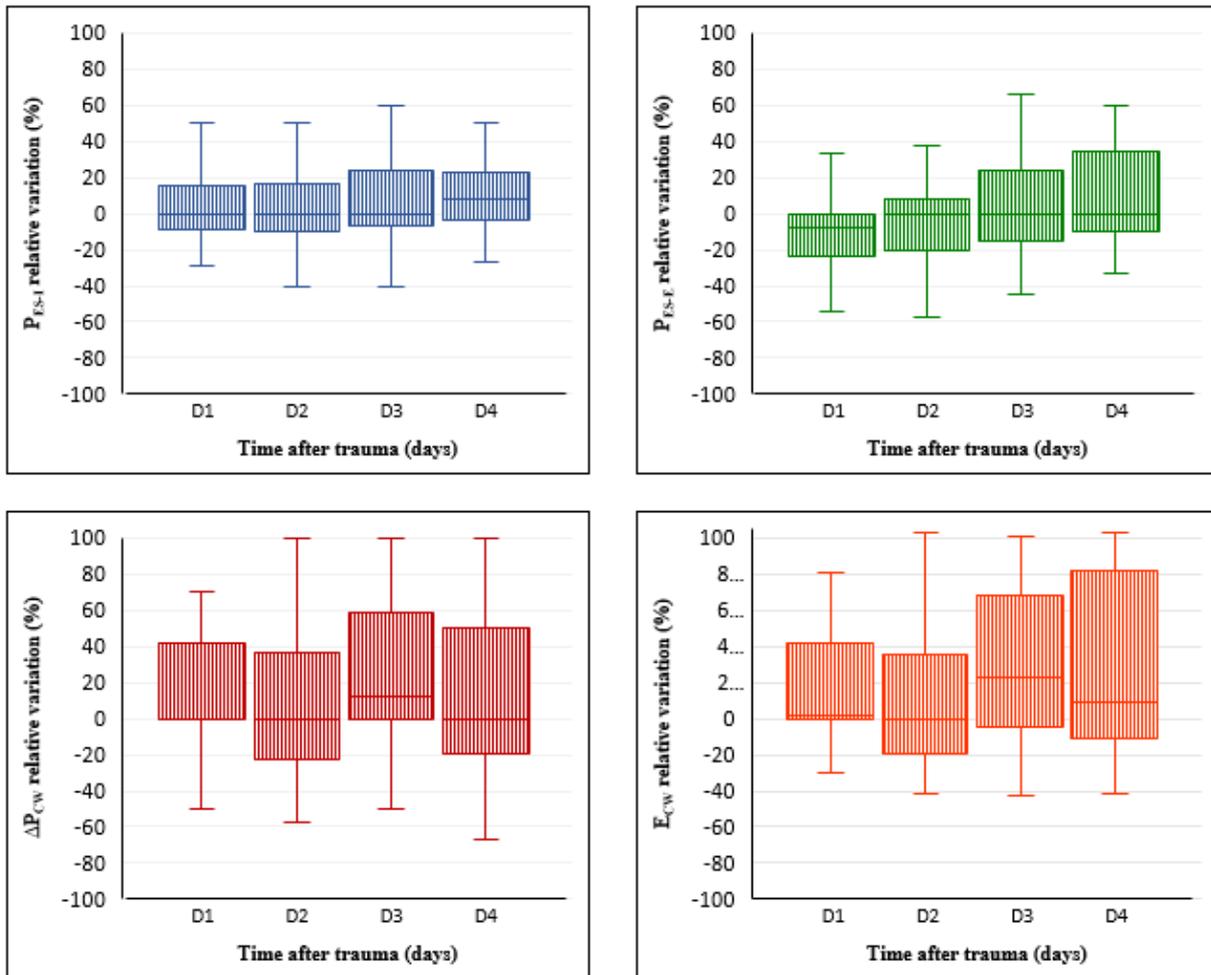
**Fig. 2** Respiratory system and lung ventilation parameters evolution over the first 5 days

\*Boxes represent median and interquartile range.



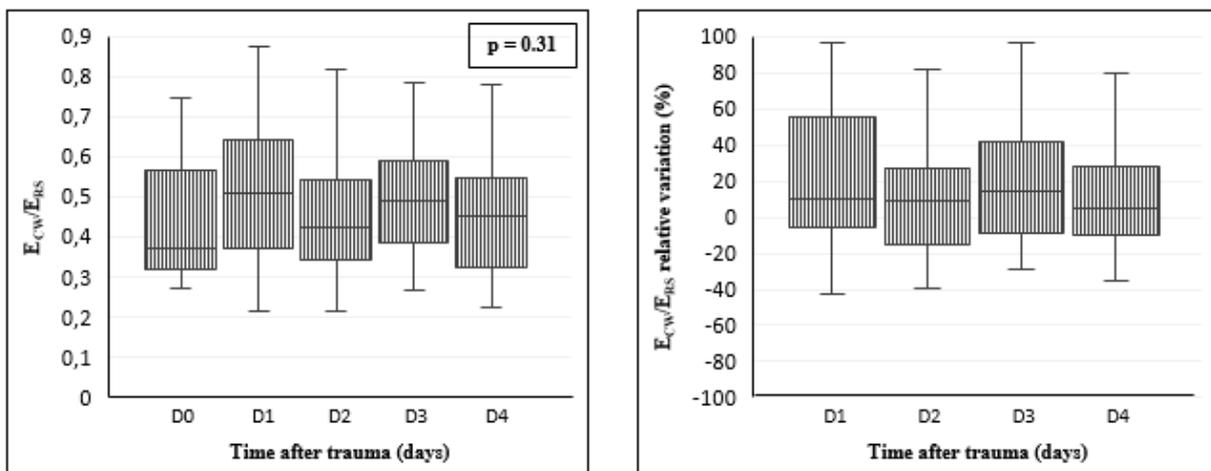
**Fig. 3 Chest wall ventilation parameters evolution over the first 5 days**

*\*Boxes represent median and interquartile range.*



**Fig. 4 Relative variation of chest wall ventilation parameters compared to day 0**

\*Boxes represent median and interquartile range.



**Fig. 5 Chest wall / Respiratory system elastance ratio evolution and relative variation compared to day 0**

\*Boxes represent median and interquartile range.

## DISCUSSION

This is the first study to evaluate chest wall mechanical proprieties by esophageal pressure monitoring in a specific population of severe chest trauma patients under mechanical ventilation. In present cohort, chest wall elastance was not increased compared to physiological values with a median  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio of 0.48 (IQR, 0.34–0.60). Chest wall ventilation parameters, including elastance, did not vary over the first 5 days after trauma, except  $\Delta P_{CW}$  that experienced non-clinically relevant changes.

Although post-traumatic intra-abdominal hypertension is well known to increase chest wall elastance by pressure transmission across the diaphragm, there is no evidence in the literature that thoracic traumatic injuries does the same, be it wall or lung injuries (33–35). The initial hypothesis of present study was therefore that a severe chest trauma, through heterogeneous injuries such as haemothoraces, pneumothoraces or chest flails, may change chest wall stiffness, meant by an increase of both  $E_{CW}$  and  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio. Many consequences would result from this mechanical alteration. First, pressures under mechanical ventilation, and especially  $\Delta P_{RS}$  would not be the sign of lung impairment or overdistension when they are increased (36);  $\Delta P_{RS}$  may indeed underestimate dynamic stress applied to the lung parenchyma in case of raised  $E_{CW}$ . Thus, although  $\Delta P_{RS}$  is the cornerstone to guide safely mechanical ventilation strategy, it could seem inappropriate in trauma situations. This rational was moreover reinforced by a recent retrospective study in a specific population of chest trauma patients, which demonstrated that  $\Delta P_{RS} \geq 14$  cmH<sub>2</sub>O was not significantly associated with mortality rate or ventilation duration (ref ...*on submission*). The unexpected absence of statistical association between  $\Delta P_{RS}$  and outcome could be directly related to a post-traumatic alteration of chest wall elastance. Second, an increased  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio may lead to negative end-expiratory transpulmonary pressures and alveolar derecruitment despite significant PEEP

levels, improving oxygenation and gas exchanges and worsening respiratory failure. The well-described secondary risks of lung inflammation or infection could worsen this process.

Despite a strong rationale, our findings show no significant mechanical alteration of chest wall following a severe thoracic trauma.  $\Delta P_{CW}$  and  $E_{CW}$  remained indeed into physiological ranges. The contribution of chest wall in total  $E_{RS}$  was close to 50% ( $E_{CW}/E_{RS} = 0.48$ ), which is similar to physiological conditions as demonstrated by many experimental and physiological studies (21,32,37,38). Moreover, we found no clinically relevant evolution in chest wall mechanical properties during the first five days of mechanical ventilation, which suggests that chest wall injuries may not badly evolve in the first days. Finally, the identification of subgroups according to  $E_{CW}/E_{RS}$  ratio did seem to reveal any specific lesions that are likely to increase or decrease  $E_{CW}$ . The most likely explanation is that the thoracic structures flexibility is well conserved despite injuries. One other possibility is that wall-rigidifying lesions, such as muscle hematomas are compensated by wall-flexing lesions, for example ribs fractures.

To summarize, chest wall mechanical properties in severe chest trauma patients under mechanical ventilation have been studied for the first time through present study. Our findings suggest that, after emergency management and appropriate gas or fluid drainage of the pleural, thoracic injuries do not seem to impair chest wall elastance on admission and its evolution over the first days, even in case of flail chest. As a consequence, general ventilation guidelines and  $\Delta P_{RS}$  seem to be relevant to guide mechanical ventilation strategy and detect baby lung situation and overdistension risk. Nevertheless, the use of transpulmonary pressure rather than driving pressure could be of interest in revealing low-to-negative end-expiratory values leading us to set higher levels of PEEP to “open the lung and keep it opened” and predict lung collapse and intratidal recruitment/derecruitment. Further studies may should focus on spontaneous breathing and weaning periods where the reversal of the intrathoracic pressure pattern and the

negative inspiratory pleural pressures could represent a higher risk of chest wall mechanics impairment.

The present study has some limitations. Confusing variables may however limit our interpretations and interfere with  $E_{CW}$  measurements. Many chest trauma patients are indeed polytraumatized, and 55 % of them presented abdominal injuries in our series. These latter can be associated with an augmentation of intra-abdominal pressure due to bleeding (hemoperitoneum), peritonitis, posttraumatic ileus (gas and faeces stagnation) or fluid overload with abdominal third sector and digestive tractus oedema. It is now well documented that intra-abdominal hypertension is the main cause of reduced  $E_{CW}$  (22). Thereby, in case of association of chest trauma with abdominal injury, it is difficult to attribute  $E_{CW}$  modifications to either chest or abdominal trauma. Although this specific association may generate an interpretation bias, our population represents “real-life” conditions of admission in a trauma center. Intra-abdominal pressure monitoring would have been interesting in this case to dissociate these etiologies. Furthermore, obesity is also known to be associated with increased  $E_{CW}$ , generating another interpretation bias. However, only 7% of study population, which reduces the risk of confusion. Intra-thoracic pressures could also have been influenced by thoracic drainage system. In fact, after hemo-pneumothorax evacuation, negative pressure (-30 cmH<sub>2</sub>O) was maintained through the drain creating a pleural depression that may have impacted measures. Yet, as the aspiration was constant over the whole ventilation cycle, it should not have affected driving pressures and elastances. In addition, as shown by Pelosi and al,  $P_{ES}$  unfortunately remains an estimation of pleural pressure and does not reflect its absolute value, especially in apical and basal areas (39). However,  $P_{ES}$  gradient closely matches pleural pressure swing (26). According to this, variables involving pressure gradients like driving pressures and elastances may be considered correct. Another shortcoming was that we had very few patients with  $\Delta P_{RS} > 15$  cmH<sub>2</sub>O which limits the results interpretation to patients without respiratory system

elastance alteration. We can also notice the poor number of patients included over study period, explained by the drop of trauma admissions during COVID-19 world pandemic and logistical problems in the supply of  $P_{ES}$  monitoring device. This could potentially induce a selection bias questioning the exhaustivity of our results.

## **CONCLUSION**

Chest wall injuries do not seem to impair chest wall mechanical properties under mechanical ventilation, and especially chest wall elastance, over the first days following a severe chest trauma. Chest wall contribution to the total respiratory system elastance remains close to physiological situation and stable over the time, even in cases of major flail chest.

## REFERENCES

1. Pape H-C, Remmers D, Rice J, Ebisch M, Krettek C, Tscherne H. Appraisal of Early Evaluation of Blunt Chest Trauma: Development of a Standardized Scoring System for Initial Clinical Decision Making. *J Trauma Acute Care Surg.* 2000 Sep;49(3):496–504.
2. Clark GC, Schecter WP, Trunkey DD. Variables Affecting Outcome in Blunt Chest Trauma: Flail Chest vs. Pulmonary Contusion. *J Trauma Acute Care Surg.* 1988 Mar;28(3):298–304.
3. Richardson JD, Adams L, Flint LM. Selective management of flail chest and pulmonary contusion. *Ann Surg.* 1982 Oct;196(4):481–7.
4. Wanek S, Mayberry JC. Blunt thoracic trauma: flail chest, pulmonary contusion, and blast injury. *Crit Care Clin.* 2004 Jan;20(1):71–81.
5. Ullman EA, Donley LP, Brady WJ. Pulmonary trauma: Emergency department evaluation and management. *Emerg Med Clin North Am.* 2003 May 1;21(2):291–313.
6. Daurat A, Millet I, Roustan J-P, Maury C, Taourel P, Jaber S, et al. Thoracic Trauma Severity score on admission allows to determine the risk of delayed ARDS in trauma patients with pulmonary contusion. *Injury.* 2016 Jan 1;47(1):147–53.
7. Watkins TR, Nathens AB, Cooke CR, Psaty BM, Maier RV, Cuschieri J, et al. Acute Respiratory Distress Syndrome after Trauma: Development and Validation of a Predictive Model. *Crit Care Med.* 2012 Aug;40(8):2295–303.
8. Mohta M. What's new in emergencies, trauma and shock? Mechanical ventilation in trauma patients: A tight-rope walk! *J Emerg Trauma Shock.* 2014 Jan 1;7(1):1.
9. Aufmkolk M, Fischer R, Voggenreiter G, Kleinschmidt C, Schmit-Neuerburg K-P, Obertacke U. Local effect of lung contusion on lung surfactant composition in multiple trauma patients. *Crit Care Med.* 1999 Aug;27(8):1441–6.
10. Rico FR, Cheng JD, Gestring ML, Piotrowski ES. Mechanical Ventilation Strategies in Massive Chest Trauma. *Crit Care Clin.* 2007 Apr 1;23(2):299–315.
11. Briel M, Meade M, Mercat A, Brower RG, Talmor D, Walter SD, et al. Higher vs Lower Positive End-Expiratory Pressure in Patients With Acute Lung Injury and Acute Respiratory Distress Syndrome: Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA.* 2010 Mar 3;303(9):865–73.
12. Ventilation with Lower Tidal Volumes as Compared with Traditional Tidal Volumes for Acute Lung Injury and the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med.* 2000 May 4;342(18):1301–8.
13. Amato MBP, Meade MO, Slutsky AS, Brochard L, Costa ELV, Schoenfeld DA, et al. Driving Pressure and Survival in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med.* 2015 Feb 19;372(8):747–55.
14. Guérin C, Papazian L, Reignier J, Ayzac L, Loundou A, Forel J-M. Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized

- controlled trials. *Crit Care* [Internet]. 2016 Nov 29 [cited 2020 Feb 10];20. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5126997/>
15. Bellani G, Laffey JG, Pham T, Fan E, Brochard L, Esteban A, et al. Epidemiology, Patterns of Care, and Mortality for Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome in Intensive Care Units in 50 Countries. *JAMA*. 2016 Feb 23;315(8):788–800.
  16. Schmidt MFS, Amaral ACKB, Fan E, Rubenfeld GD. Driving Pressure and Hospital Mortality in Patients Without ARDS: A Cohort Study. *Chest*. 2018;153(1):46–54.
  17. Villar J, Martín-Rodríguez C, Domínguez-Berrot A, Fernández L, Ferrando C, Soler J, et al. A Quantile Analysis of Plateau and Driving Pressures: Effects on Mortality in Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome Receiving Lung-Protective Ventilation\*. *Crit Care Med*. 2017 May;45(5):843–50.
  18. Aoyama H, Pettenuzzo T, Aoyama K, Pinto R, Englesakis M, Fan E. Association of Driving Pressure With Mortality Among Ventilated Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis\*. *Crit Care Med*. 2018 Feb;46(2):300–6.
  19. Traumatisme thoracique : prise en charge des 48 premières heures - La SFAR [Internet]. Société Française d'Anesthésie et de Réanimation. 2015 [cited 2020 Mar 19]. Available from: <https://sfar.org/traumatisme-thoracique-prise-en-charge-des-48-premieres-heures/>
  20. Ramin S, Charbit J, Jaber S, Capdevila X. Acute respiratory distress syndrome after chest trauma: Epidemiology, specific physiopathology and ventilation strategies. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2019 Jun 1;38(3):265–76.
  21. Gattinoni L, Chiumello D, Carlesso E, Valenza F. Bench-to-bedside review: Chest wall elastance in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome patients. *Crit Care*. 2004;8(5):350–5.
  22. Cortes-Puentes GA, Gard KE, Adams AB, Faltsek KA, Anderson CP, Dries DJ, et al. Value and limitations of transpulmonary pressure calculations during intra-abdominal hypertension. *Crit Care Med*. 2013 Aug;41(8):1870–7.
  23. Cortes-Puentes GA, Keenan JC, Adams AB, Parker ED, Dries DJ, Marini JJ. Impact of Chest Wall Modifications and Lung Injury on the Correspondence Between Airway and Transpulmonary Driving Pressures. *Crit Care Med*. 2015 Aug;43(8):e287-295.
  24. Cohn SM, Zieg PM. Experimental Pulmonary Contusion: Review of the Literature and Description of a New Porcine Model. *J Trauma Acute Care Surg*. 1996 Sep;41(3):565–71.
  25. Akoumianaki E, Maggiore SM, Valenza F, Bellani G, Jubran A, Loring SH, et al. The Application of Esophageal Pressure Measurement in Patients with Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014 Mar 1;189(5):520–31.
  26. Baydur A, Behrakis PK, Zin WA, Jaeger M, Milic-Emili J. A Simple Method for Assessing the Validity of the Esophageal Balloon Technique<sup>1–2</sup>. *Am Rev Respir Dis* [Internet]. 2015 May 14 [cited 2021 Aug 19]; Available from: <https://www.atsjournals.org/doi/pdf/10.1164/arrd.1982.126.5.788>
  27. Mojoli F, Iotti GA, Torriglia F, Pozzi M, Volta CA, Bianzina S, et al. In vivo calibration of esophageal pressure in the mechanically ventilated patient makes measurements reliable. *Crit Care*. 2016;20:98.

28. Palmer CS, Gabbe BJ, Cameron PA. Defining major trauma using the 2008 Abbreviated Injury Scale. *Injury*. 2016 Jan 1;47(1):109–15.
29. Le Gall J-R, Lemeshow S, Saulnier F. A New Simplified Acute Physiology Score (SAPS II) Based on a European/North American Multicenter Study. *JAMA*. 1993 Dec 22;270(24):2957–63.
30. Baker SP, O’neill B, Haddon WJ, Long WB. THE INJURY SEVERITY SCORE: A METHOD FOR DESCRIBING PATIENTS WITH MULTIPLE INJURIES AND EVALUATING EMERGENCY CARE. *J Trauma Acute Care Surg*. 1974 Mar;14(3):187–96.
31. Diehl J-L, Talmor D. When could airway plateau pressure above 30 cmH<sub>2</sub>O be acceptable in ARDS patients? *Intensive Care Med*. 2021 Jul 8;1–4.
32. Yoshida T, Grieco DL, Brochard L. Guiding ventilation with transpulmonary pressure. *Intensive Care Med*. 2019 Apr 1;45(4):535–8.
33. Ladosky W, Botelho MA, Albuquerque JP. Chest mechanics in morbidly obese non-hypoventilated patients. *Respir Med*. 2001 Apr;95(4):281–6.
34. Gattinoni L, Pelosi P, Suter PM, Pedoto A, Vercesi P, Lissoni A. Acute Respiratory Distress Syndrome Caused by Pulmonary and Extrapulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998 Jul 1;158(1):3–11.
35. Ranieri VM, Brienza N, Santostasi S, Puntillo F, Mascia L, Vitale N, et al. Impairment of Lung and Chest Wall Mechanics in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997 Oct 1;156(4):1082–91.
36. Mauri T, Yoshida T, Bellani G, Goligher EC, Carteaux G, Rittayamai N, et al. Esophageal and transpulmonary pressure in the clinical setting: meaning, usefulness and perspectives. *Intensive Care Med*. 2016 Sep;42(9):1360–73.
37. Gattinoni L, Vagginelli F, Chiumello D, Taccone P, Carlesso E. Physiologic rationale for ventilator setting in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome patients. *Crit Care Med*. 2003 Apr;31(4 Suppl):S300-304.
38. Gattinoni L, Carlesso E, Cadringer P, Valenza F, Vagginelli F, Chiumello D. Physical and biological triggers of ventilator-induced lung injury and its prevention. *Eur Respir J*. 2003 Nov 16;22(47 suppl):15s–25s.
39. Pelosi P, Goldner M, McKIBBEN A, Adams A, Eccher G, Caironi P, et al. Recruitment and Derecruitment During Acute Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001 Jul 1;164(1):122–30.

## SERMENT

- *En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.*
- *Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*
- *Admis (e) dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*
- *Respectueux (se) et reconnaissant (e) envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert (e) d'opprobre et méprisé (e) de mes confrères si j'y manque.*

## RÉSUMÉ

**Contexte :** Chez les patients victimes de traumatismes thoraciques, les lésions osseuses et pleurales sont susceptibles de modifier la rigidité thoracique, entraînant une variation de l'élastance cette dernière. La pression motrice totale du système respiratoire ne serait alors pas un reflet fiable du stress appliqué au poumon dans cette situation, devenant un outil inadapté pour guider la ventilation. L'utilisation de la pression œsophagienne pourrait être intéressante pour déterminer directement les pression motrice transpulmonaire et celle de la paroi thoracique afin de mieux quantifier le stress appliqué au parenchyme. L'objectif principal de cette étude est de décrire les propriétés mécaniques du système respiratoire et de la paroi thoracique ainsi que son évolution sur les premiers jours chez les patients traumatisés thoraciques sévères sous ventilation mécanique.

**Matériels et méthodes :** Une étude physiologique monocentrique prospective a été réalisée au CHU Lapeyronie de Montpellier de janvier 2019 à mai 2021. Les patients hospitalisés suite à un traumatisme thoracique sévère nécessitant une ventilation mécanique prolongée ont été inclus. Une sonde œsophagienne était mise en place chez chaque patients inclus afin d'étudier les propriétés mécaniques de la paroi thoracique sous ventilation et son évolution sur 5 jours.

**Résultats :** Quarante-deux patients nécessitant une ventilation mécanique invasive ont été inclus. Soixante-dix-neuf pourcents étaient des hommes et l'âge médian était de 52 ans [32-60 ans]. Cinquante-cinq pourcents des patients présentaient un volet thoracique et 36 % des contusions pulmonaires concernant 3 lobes ou plus. Les pressions motrices moyenne totale et transpulmonaire était respectivement de  $10 \pm 2$  cmH<sub>2</sub>O et  $6 \pm 2$  cmH<sub>2</sub>O. La pression transpulmonaire de fin d'expiration était négative avec une valeur moyenne de  $-0,5 \pm 3$  cmH<sub>2</sub>O à l'admission. La pression motrice de la paroi thoracique à l'admission était de 4 [4 - 5] cmH<sub>2</sub>O, induisant une élastance pariétale de 10 [8 - 13] cmH<sub>2</sub>O/L et un rapport d'élastance pariétale sur élastance totale de 0,48 [0,34 - 0,60]. Aucune évolution significative n'a été constatée concernant les paramètres ventilatoire de la paroi thoracique et des poumons et des poumons au cours des 5 premiers jours suivant le traumatisme.

**Conclusion :** Les propriétés mécaniques de la paroi thoracique, et en particulier l'élastance pariétale, sont restés stables et proches des valeurs physiologiques pendant les premiers jours suivant un traumatisme thoracique grave.

**Mots clés :** Traumatisme thoracique, Lésions pulmonaires, Réanimation, Lésions induites par la ventilation mécanique, Pression motrice, Pression transpulmonaire, Pression œsophagienne.