

COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES DE DÉGRADATION PULMONAIRE FACE AU *BLAST*

Ariane Martin ^a, Federica Daghia ^a, Emmanuel Baranger ^a, Christophe Cluzel ^a

^a Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS,

LMT - Laboratoire de Mécanique et Technologie,

4 avenue des Sciences, 91190, Gif-sur-Yvette, France.

ariane.martin@ens-paris-saclay.fr, federica.daghia@ens-paris-saclay.fr,

emmanuel.baranger@ens-paris-saclay.fr, christophe.cluzel@ens-paris-saclay.fr ;

Mots-clés: Lésions pulmonaires, Mécanismes de dégradation, Multi-échelle, Blast

Résumé

Les blessures pulmonaires représentent la première cause de mortalité face à un blast. Dans un but de protection, il est primordial de comprendre les causes de ces dégradations. Cependant, les effets de l'onde de choc sur les poumons ne sont pour l'instant que très mal décrits. En effet, dans les modèles de comportement globaux des poumons de la littérature, la présence de dégradation est associée à des indicateurs globaux tels que la surpression intra-pulmonaire ou la vitesse de la cage thoracique. Or, les critères globaux associés ne s'appuient pas sur des mécanismes physiques. L'objectif de cette étude est de construire un critère local de dégradation s'appuyant sur un mécanisme décrit à l'échelle de la micro-structure. Cela implique un calcul de structure pour faire le lien entre la dégradation définie localement et le chargement extérieur, global, dû au blast.

1 Introduction

Les modèles globaux décrivant les effets de la sollicitation des poumons par l'onde de choc décrivent principalement l'évolution de la pression intra-pulmonaire. Cependant deux communautés se distinguent, l'une ne prenant en compte que la transmission de l'onde de surpression aux poumons, l'autre s'intéressant à l'écrasement des poumons par le déplacement induit de la cage thoracique. Cela reflète la difficulté à décrire mécaniquement les effets d'une onde de choc sur les poumons. De plus les différents modèles et critères globaux de dégradation utilisés dans la littérature ne reposent pas sur des mécanismes physiques. Il est donc primordial de réaliser une étude des mécanismes de dégradation pulmonaires face à un *blast*. Pour cela, nous allons faire un tri des mécanismes de dégradations possibles à l'échelle microscopique en nous appuyant sur des observations principalement macroscopiques de blessures. Cette étude sera ensuite couplée à une étude des chargements macroscopiques et de leurs effets sur les poumons via un calcul de structure en dynamique.

2 Mécanismes de dégradation de la micro-structure

Dans un premier temps, nous nous intéressons aux dégradations de la micro-structure des poumons. En raison du manque d'information sur les mécanismes, nous avons étudié les blessures pulmonaires pouvant se produire lors de différentes situations telles que les accidents de plongée ou lors d'efforts intenses. Nous pouvons classer ces blessures suivant différentes catégories en fonction des causes microscopiques de dégradation ainsi que de leurs conséquences à l'échelle macroscopique. Les blessures pulmonaires dues au *blast* conduisant à une hémorragie, nous ne nous intéresserons qu'aux causes de blessures menant à des saignements. Deux scénarii de blessures peuvent mener à de telles dégradations : une importante augmentation de pression dans les capillaires qui peut conduire à une rupture de ces derniers, ou une elongation de la paroi alvéolaire pouvant amener à rupture [1]. Nous pouvons imaginer que, dans le cas d'une explosion, les dégradations des poumons sont induites par un ou plusieurs de ces scénarii. Une étude des chargements macroscopiques et de leurs effets permettrait de retrouver une extension locale du parenchyme et donc de faire un lien avec ces scénarii de blessures.

3 Chargement macroscopique

Les seules informations, relatives aux blessures pulmonaires dues au *blast*, présentes dans la littérature étant données d'un point de vue macroscopiques, il est important de comprendre les chargements vus par les poumons

ainsi que leurs effets sur ces derniers. Une étude sur la position et l'étendue des dégradations du poumon du côté sollicité permet de se rendre compte que, sur réacteur biologique sollicité latéralement, les blessures apparaissent dans la partie du poumon pincée entre les côtes et le diaphragme (Figure 1a). Des simulations sur la maquette Thums [2], sollicitée frontalement, permettent de se rendre compte que dans le cas d'une onde de choc arrivant sur un thorax, la partie du parenchyme pulmonaire qui se trouve entre la cage thoracique et le diaphragme va être fortement allongée (Figure 1b). Nous avons vu précédemment que l'élongation des parois alvéolaires peut être un des mécanismes de dégradation des poumons menant à saignement. De plus, des évolutions de la micro-structure, associées à des élongations, du parenchyme ont été retrouvées dans des poumons de rat après leur exposition à une onde de choc [3]. L'hypothèse faite précédemment sur les mécanismes microscopiques de dégradations est donc cohérente avec les observations macroscopiques que nous pouvons faire.

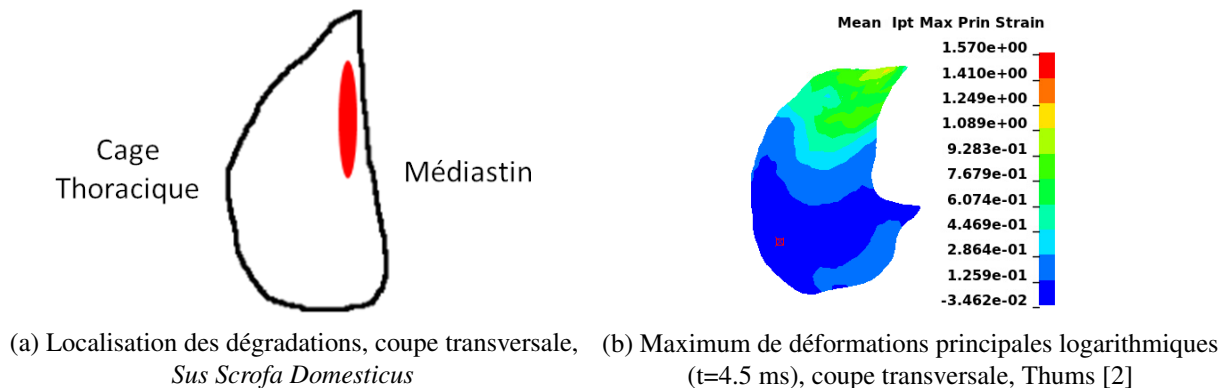


Figure 1: Localisation des dégradations (expérimentation sur réacteur biologique) et de l'allongement (simulation maquette Thums) dans le poumon droit

4 Conclusion

En raison du manque de compréhension des mécanismes de dégradation pulmonaires dus à une onde de choc, il est intéressant d'exploiter des dégradations provenant d'autres situations telles que les accidents de plongée. À la connaissance des auteurs, le rapprochement entre ces différents domaines n'a pas été étudié. Cette approche nous a permis de trier les mécanismes de dégradations pouvant mener à hémorragie. Une étude des effets d'une onde de choc nous a ensuite permis de remarquer la présence d'une forte élongation locale du parenchyme dans la zone d'initiation des blessures dues au *blast*. Cependant, un lien reste à clarifier entre la position de l'allongement et des zones dégradées. Ce lien permettrait de mieux comprendre les blessures pulmonaires ainsi que de définir des critères de blessures pertinents pour l'évaluation de protections. Cela permettrait également d'apporter de la compréhension dans différents domaines tels que la traumatologie liée à un impact où les mécanismes de dégradation sont également mal compris.

Remerciements

Ce travail est réalisé dans le cadre d'une thèse Direction Générale de l'Armement-Université Paris-Saclay en partenariat avec le Service de Santé des Armées.

References

- [1] Z. Fu, and al., High lung volume increases stress failure in pulmonary capillaries *Journal of Applied Physiology*, 73(1):123-133, 1992.
- [2] Toyota Motor Corporation and Toyota Central R&D Labs., INC., Documentation Thums AM50 V6.1, 2021
- [3] H. Arora, and al., Microstructural consequences of Blast lung injury characterized with Digital Volume correlation *Frontiers in Materials*, 4(41), 2017.