

Laboratoire de rattachement	LBMC
Titre de la thèse en français	Prédiction du risque lésionnel lors d'impacts avec des drones
Titre de la thèse en anglais	Injury risk prediction in case of impact with a drone
Disciplines de la thèse	Mécanique, biomécanique
Localisation	LBMC, Bron
École doctorale (prévision)	ED162 MEGA
Etablissement d'inscription (prévision)	Université Lyon 1
Directeur (et codirecteur) prévus	Philippe BEILLAS (DR, <a href="mailto:philippe.beillas@univ-eiffel.fr">philippe.beillas@univ-eiffel.fr</a> ), François BERMOND (CR, <a href="mailto:françois.bermond@univ-eiffel.fr">françois.bermond@univ-eiffel.fr</a> ), Université Gustave Eiffel
Financement	Sur contrat (signé en 2020)
Employeur du doctorant	Université Gustave Eiffel
Commentaires	Début de thèse en septembre ou octobre 2021

#### Contexte

L'industrie des drones civils (professionnels et de loisirs) est en forte croissance [1]. La multiplication des drones en vol pourrait conduire à une augmentation du nombre d'impacts avec des personnes au sol suite à des pertes de contrôle ou des chutes. Un premier cas de fracture de crâne a été rapporté dans la littérature [2]. Les drones actuels ont des architectures variées, avec des masses pouvant atteindre plusieurs kilogrammes et, pour certains, des vitesses en vol supérieures à 25 m/s (90 km/h). La question de la prédiction du risque lésionnel en fonction de ces caractéristiques se pose (ex : [3]) et de nouvelles réglementations apparaissent afin d'encadrer les pratiques [4].

Au LBMC, une étude expérimentale a été récemment conduite en collaboration avec l'Onera et avec un financement de la Direction Générale de l'Aviation Civile). Les essais conduits sur mannequin de choc automobile n'ont pas permis d'écarter un risque de fracture de crâne [5], même avec un drone de moins de 900 grammes qui pourrait être autorisé à voler au-dessus de personnes. Toutefois, des questions posent sur l'adéquation des méthodologies utilisées car elles ont initialement été développées pour le choc automobile. Dans la continuité, une nouvelle phase de travaux comprenant cette thèse a débuté fin 2020.

#### Objectifs :

Les principaux objectifs de la thèse seront d'évaluer la pertinence des critères lésionnels actuels et du mannequin de choc pour des impacts avec drones, de réduire les incertitudes sur la prédiction du risque, et, *in fine*, **de développer des prédicteurs de risque permettant d'évaluer la dangerosité d'impact de type drones**. Ces prédicteurs devront prendre en compte la variabilité de la population et être applicable à la diversité des conditions d'impact rencontrées. Les travaux combineront des **approches numériques et expérimentales** afin d'acquérir de nouvelles connaissances, d'évaluer la pertinence des outils actuels, et éventuellement d'en proposer de nouveaux. La thèse étudiera principalement les lésions à la tête et les fractures de crâne.

#### Approche :

La simulation numérique jouera un rôle essentiel afin de décrire la variabilité de la population et d'étudier diverses conditions d'impact. Les travaux seront conduits en parallèle avec un doctorant à l'Onera qui travaillera sur la caractérisation des drones, leur modélisation et leur comportement. Ceci aidera à définir les scénarios d'impact.

Des modèles humains déformables en éléments finis permettant d'étudier les déformations osseuses seront utilisés [6]. Leur validité pour des impacts de type drone sera d'abord étudiée en comparant leur réponse à des données expérimentales disponibles. Puis, la validation sera raffinée grâce à de nouveaux essais sur sujet d'anatomie adultes qui seront réalisés dans le cadre de la thèse. Des simulations personnalisées de ces essais (grâce à des données d'imagerie médicale) permettront d'évaluer plus finement les hypothèses de modélisation et d'améliorer les modèles.

La diversité de la population (en termes de taille, âge, propriétés osseuses, etc.) sera ensuite décrite grâce à des familles de modèles dérivées des modèles de base. Ceci s'appuiera sur des méthodes de morphing couplées à de la modélisation

statistique de forme et des données de la littérature. De telles méthodologies ont déjà été utilisées pour d'autres problèmes (ex : [7]).

Ensuite, ces familles seront soumises à des conditions d'impact définies en collaboration avec l'Onera afin de mettre en évidence des critères lésionnels issus de la simulation et des paramètres de dangerosité sur les drones. La comparaison avec les mêmes chargements sur mannequin permettra d'évaluer la pertinence du mannequin et des critères existants, et de mettre au point si possible des critères améliorés basés sur les modèles humains mais mesurables sur le mannequin.

#### **Résultats attendus :**

Les résultats finaux seront une meilleure compréhension des mécanismes de chargement et des critères lésionnels améliorés, ce qui permettra à terme d'améliorer la sécurité lors d'impact de drones. Ceci sera basé sur de nouvelles connaissances sur la réponse humaine (essais), l'amélioration de modèles humains, et la mise en œuvre d'une modélisation statistique.

Les différents résultats (mécanismes et critères, résultats expérimentaux, amélioration de modèle, modélisation statistique) pourront faire l'objet de publications scientifiques séparées. Les modèles statistiques (ex : modèle statistiques de forme) et les améliorations du modèle enfant seront publiés sous licence open source.

Les travaux permettront au doctorant d'acquérir des compétences en simulation avec des modèles humains, en modélisation du matériau osseux (y compris fracture), en modélisation statistique de forme à partir d'imagerie médicale, en prédiction de risques, en expérimentation sur matériaux biologiques, et en simulation éléments finis dans un code de calcul industriel. Ces compétences sont très largement utilisées dans de nombreux domaines de la biomécanique et de la mécanique.

**Profil idéal du candidat :** un diplôme en mécanique avec de bonnes bases en méthodes numériques, avec un intérêt pour la biomécanique numérique et expérimentale.

**Mots-clés :** Drone impact, risque lésionnel, fracture, modèle humain, éléments finis, expérimentation, modélisation statistique

#### **Context**

The civilian drone industry (for professional and recreational use) is growing rapidly [1]. The proliferation of drones in the air could lead to an increase in the number of impacts with people on the ground following loss of control or falls. A first case of skull fracture has been reported in the literature [2]. Current drones have diverse architectures, with masses that can reach several kilograms and, for some, flight speeds greater than 25 m/s (90 km/h). This raises the question of the injury risk prediction depending on these characteristics arises (e.g. [3]) and new regulations are appearing to regulate the drone use [4].

At LBMC, an experimental study was recently conducted in collaboration with Onera and with funding from the French Civil Aviation Authority. Tests on an automobile crash dummy failed to rule out a risk of skull fracture [5], even with a drone weighing less than 900 grams which could be cleared to fly over people. However, questions arise regarding the adequacy of the methodologies used as these were initially developed for the car crashes. As a continuation, a new phase of work including this thesis began at the end of 2020.

#### **Objectives:**

The main objectives of the thesis will be to evaluate the relevance of current injury criteria and dummies for impacts with drones, to reduce the uncertainties on the risk prediction, and, ultimately, to **develop risk predictors allowing to assess the aggressivity of drones**. These predictors should consider the variability of the population and be applicable to the diversity of impact conditions encountered with drones. The work will combine numerical and experimental approaches in order to acquire new knowledge, assess the relevance of current tools, and possibly propose new ones. The thesis will mainly focus on head injuries and skull fractures.

#### **Approach:**

Numerical simulation will play a key role in describing population variability and studying various impact conditions. The work will be carried out in parallel with a doctoral student at Onera who will work on the characterization of drones, their modeling and their behavior. This will help define the impact scenarios.

Deformable finite element human models able to study bone strains will be used [6]. Their validity for drone-type impacts will first be studied by comparing their response to available experimental data. Then, the validation will be refined thanks to new tests on anatomical specimen which will be carried out as part of the thesis. Subject specific simulations of these tests (using medical imaging data) will allow for more detailed assessment of modeling assumptions and drive improve models.

The diversity of the population (in terms of size, age, bone properties, etc.) will then be described using families of models derived from the baseline models. This will be based on model morphing coupled with statistical shape modeling and data from the literature. Such methodologies have already been used for other problems (e.g. [7]).

Then, these families will be subjected to impact conditions defined in collaboration with Onera in order to develop simulation-based injury criteria and aggressivity parameters for the drones. The comparison with paired impacts on dummies will allow to assess the suitability of the dummies and existing criteria, and if possible to develop improved criteria based on human models but that be measured on a dummy.

**Expected results:**

The end results will be a better understanding of loading mechanisms and improved injury criteria, which will ultimately improve effective safety during drone impact. This will require new knowledge on the human response (new tests), the improvement of human models, and the implementation of statistical modeling techniques.

The different results (mechanisms and criteria, experimental results, model improvement, statistical models) may be the subject of separate scientific publications. Statistical models (e.g.: statistical shape model) and improvements to the child model will be released under an open source license.

The work will allow the doctoral student to acquire skills in simulation with human models, modeling of bone material (including fracture), statistical shape modeling from medical imaging, risk prediction, experiments using biological materials, and finite element simulation in an industrial solver. These skills are widely used in many areas of biomechanics and mechanics.

**Expected profile:**

Ideally, the candidate will have a degree in mechanics with a solid background in numerical methods, with an interest in numerical and experimental biomechanics.

**Keywords:**

Drone impact, risk of injury, fracture, human model, finite elements, experimentation, statistical modeling

## References

- [1] ex : Drone market outlook in 2021. Business Insider Article <https://www.businessinsider.com/drone-industry-analysis-market-trends-growth-forecasts>
- [2] Chung et al. (2017). Skull fracture with effacement of the superior sagittal sinus following drone impact: a case report. *Child's nervous system*, 33(9), 1609-1611.
- [3] Stark, D.B., (2019). Human Response and Injury Resulting from Head Impacts with Unmanned Aircraft Systems. *Stapp Car Crash J* 63, 29–64.
- [4] Avec des évolutions récentes aux États-Unis (<https://www.faa.gov/uas/>) et en Europe (<https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas>)
- [5] Berthe, J., Coussa, F., Beillas, P., and Bermond, F. (2019). Drone impact on human beings : Experimental investigation with sUAS. In Conference ASIDIC - Aerospace Structural Impact Dynamics International, (MADRID, Spain). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02344606/>
- [6] un modèle adulte du GH BMC ([www.ghbmc.com](http://www.ghbmc.com)) et un modèle enfant (PIPER, [www.piper-project.org](http://www.piper-project.org)) sont présentés, tous deux sous le code de calcul industriel Lsdyna (<https://www.lstc.com/>)
- [7] pour illustrer les méthodologies, on peut citer par exemple Hu et al. (2017) sur la réponse au choc du thorax (<http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc17/pdf-files/85.pdf>) ou Danckaers et al. (2017) pour la modélisation statistique de forme de la tête ([https://www.researchgate.net/publication/318179251\\_A\\_Combined\\_Statistical\\_Shape\\_Model\\_of\\_the\\_Scalp\\_and\\_Skull\\_of\\_the\\_Human\\_Head](https://www.researchgate.net/publication/318179251_A_Combined_Statistical_Shape_Model_of_the_Scalp_and_Skull_of_the_Human_Head)).