



Laboratoire de
Biomécanique
Appliquée

UMR T24



ÉCOLE DE
TECHNOLOGIE
SUPÉRIEURE
Université du Québec



LBMC

Biomécanique de l'impact en électromobilité



Séminaire du département TS2
07/06/2023

Nicolas Bailly



Université
Gustave Eiffel

Les enjeux



→ **Développement fulgurant des pratiques vélos et trottinettes**
(+ de 200 millions de trajets recensés par la société Lime)

→ **Associé à une forte accidentologie**

Vélo : + 24 X | plus de blessés/million de km VS voitures ¹
Trottinette : + 167 X

+ de 20% des accidentés dans le Rhône en 2019 ²

50% des accidentés étaient touchés à la tête

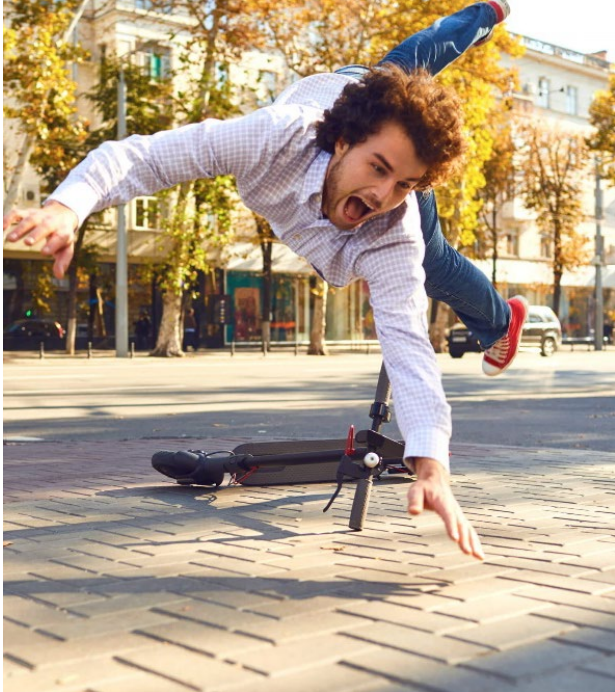
¹ Dewan et al. 2018

² Global status report on road safety 2018

³ ITS 2018

→ Forts enjeux de prévention de l'accident et de **protection du corps en cas d'accident**

Les enjeux



Le casque

→ Une certaine efficacité épidémiologique

→ En vélo : le port du casque réduit le risque de traumatismes crâniens⁵

→ Toutes les lésions cérébrales ne sont pas protégées

→ Pas d'évaluation/normes spécifiques aux vélos électriques et trottinettes

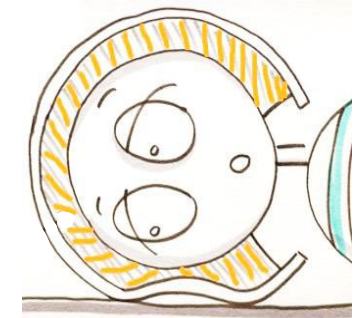
Le casque :



=



+



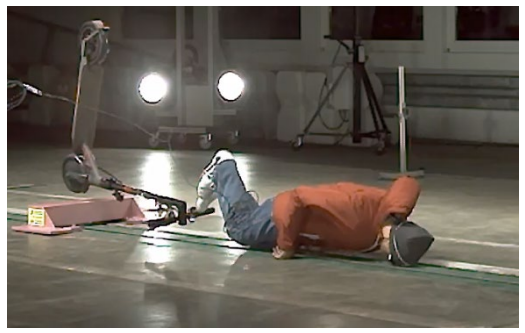
Coque

Empêche les pénétrations

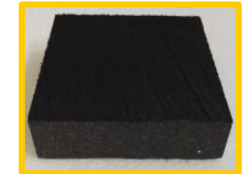
Mousse du liner

Déforme et absorbe l'énergie

Quelle mousse?



Mousse trop dur

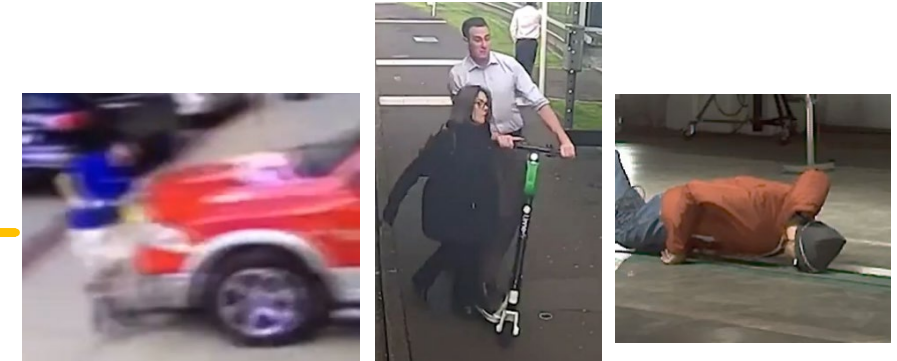


Pas de déformation
= Pas d'absorption d'énergie

Mousse trop molle



Déformation trop rapide
= L'énergie est transmise



Pour un impact donné

*Grande variabilité d'impacts
(surfaces impactés / vitesses d'impact)*

Le casque :



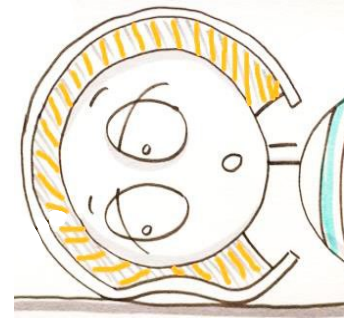
=



Coque

Empêche les pénétration

+

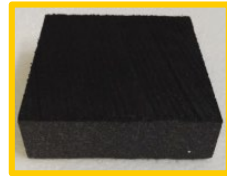


Mousse du liner

Déforme et absorbe l'énergie

Quelle mousse?

Mousse **trop dur**



Pas de déformation

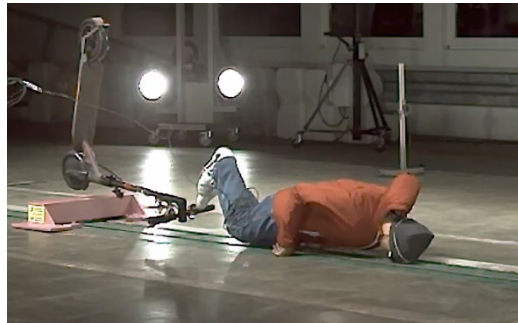
= Pas d'absorption d'énergie

Mousse **trop molle**



Déformation trop rapide

= L'énergie est transmise



Pour un impact donné



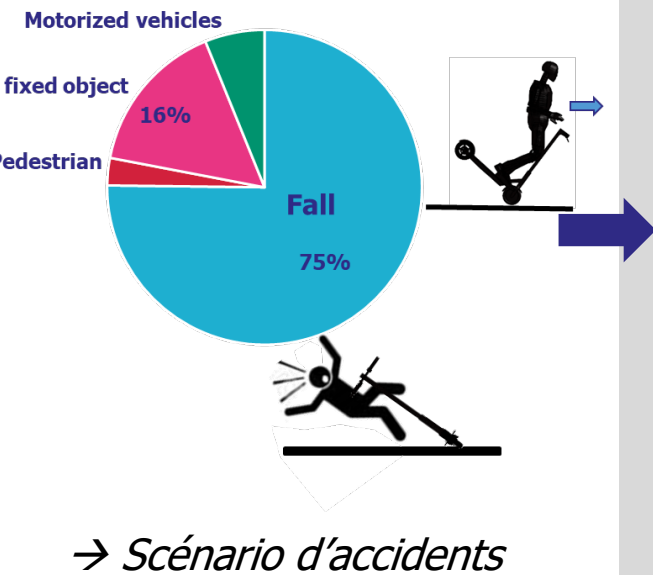
*Mécanismes lésionnels complexes
(accélération linéaire / rotationnelle)*

Question de recherches

- **Quel conditions d'impact de la tête lors de l'accident?**
- **Quels sont les mécanismes de blessures associés ?**
- **Quelle évaluation des dispositifs de protection actuels et quel besoin d'une norme spécifique ?**
- **Comment améliorer ces protections ?**

Approche du LBA

Etude accidentologique

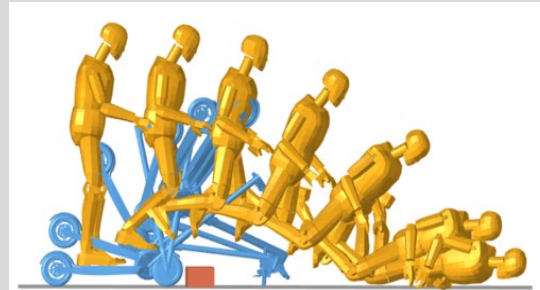


Etude de l'impact de la tête lors de ces accidents

Analyse vidéo

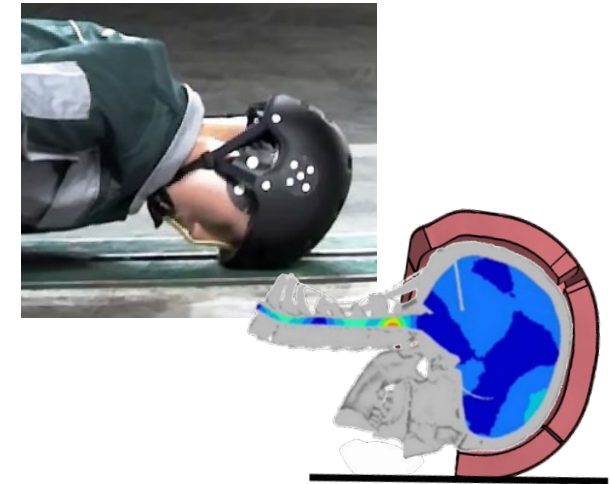


Reconstruction d'accidents



- Condition d'impact de la tête
- Principal mécanisme de blessure

Evaluation des protections



- Vers un meilleur design
- Vers de meilleur normes de protection

Exemple de la chute en trottinette

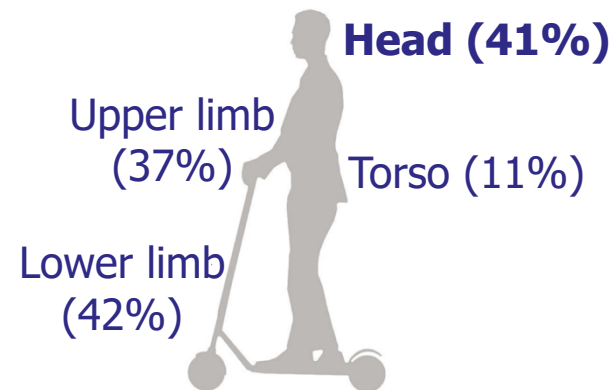
→ Quel scénario d'accident ?

Etude accidentologique et épidémiologique

→ Déterminer les accidents les plus courants et les plus dangereux

1. Données de la littérature

- Bases de données des services d'urgence, réseaux sociaux, rapports de police
- Manque de données concernant les scénarios d'accidents



(Uluk 2021, English et al., 2020, Bekhit et al., 2020)

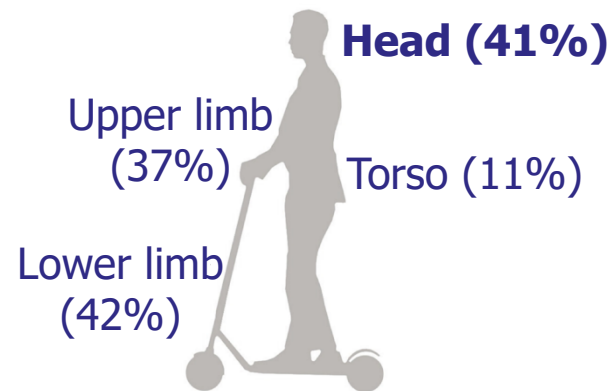
→ Quel scénario d'accident ? **OPTION VELO + TROTT**

Etude accidentologique et épidémiologique

→ Déterminer les accidents les plus courants et les plus dangereux

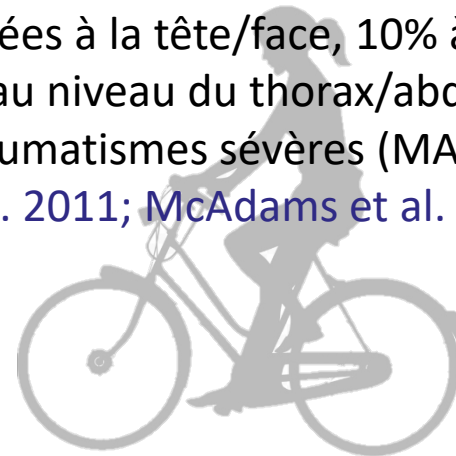
1. Données de la littérature

→ Bases de données des services d'urgence, réseaux sociaux, rapports de police



(Uluk 2021, English et al., 2020, Bekhit et al., 2020)

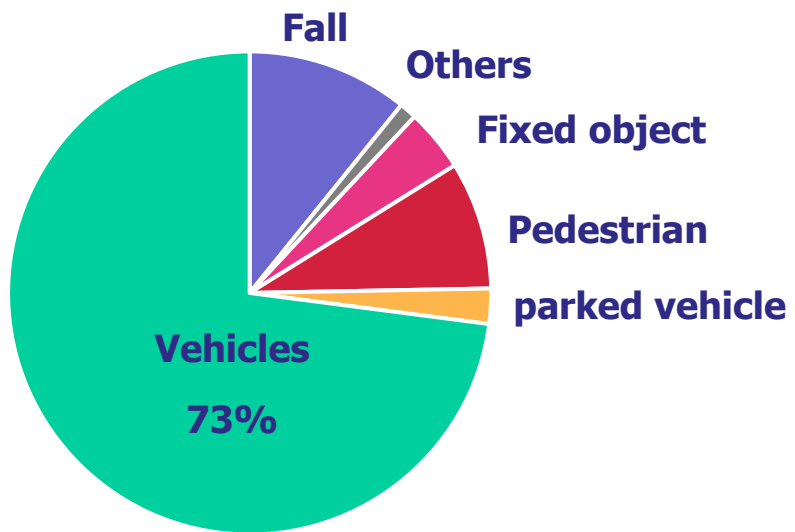
35 % étaient touchées à la tête/face, 10% à la colonne vertébrale et 13% au niveau du thorax/abdomen, zones les plus susceptibles de traumatismes sévères (MAIS3+) (Amoros et al. 2009; Amoros et al. 2011; McAdams et al. 2018; Blomberg et al. 2019)



→ Quel scénario d'accident ?

Etude accidentologique et épidémiologique

3. Base d'accidents corporels remplie par les forces de l'ordre

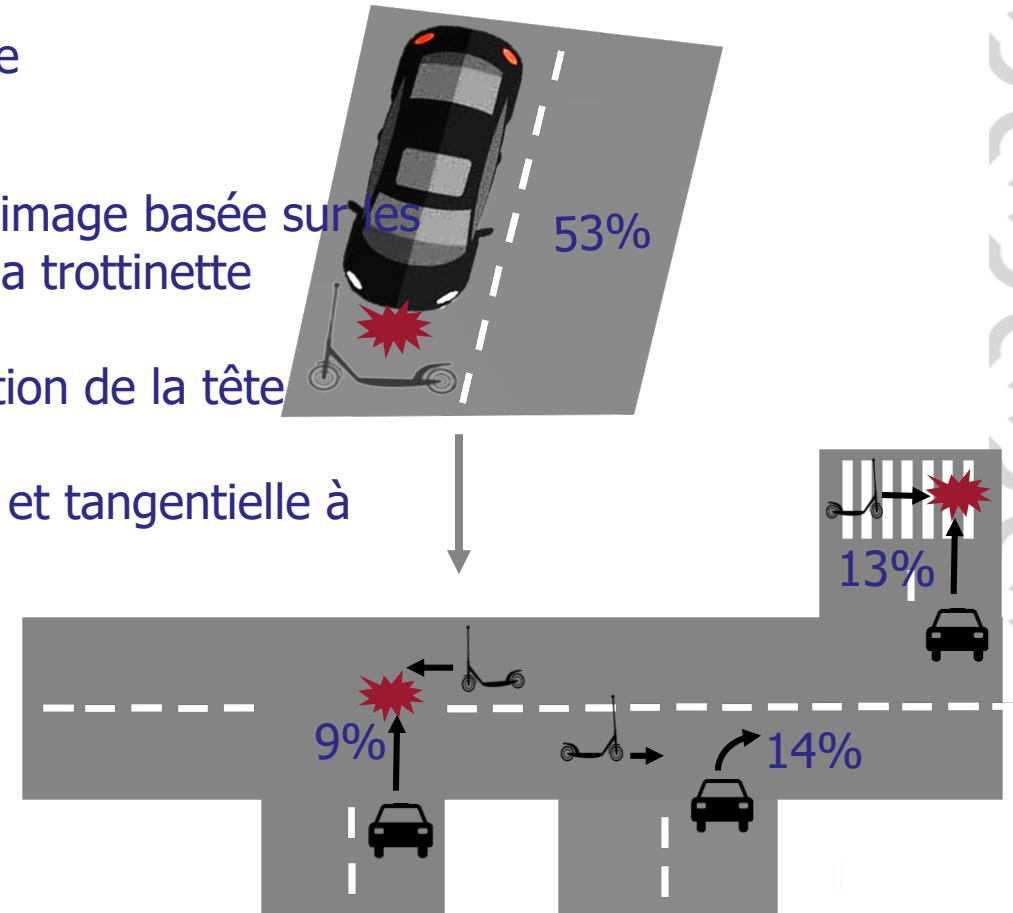


3 526 accidents à EDP issus de la base ONISR

→ Calibration de l'image basée sur les dimensions de la trottinette

→ Suivi de la position de la tête

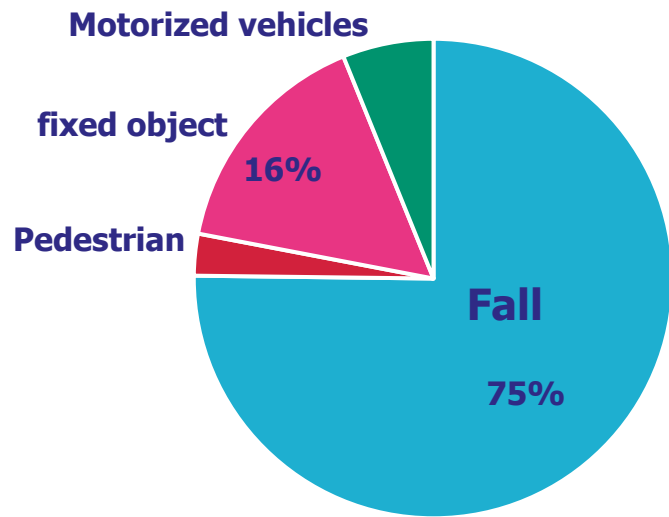
= vitesse normale et tangentielle à l'impact



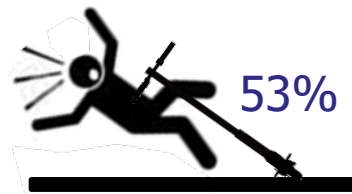
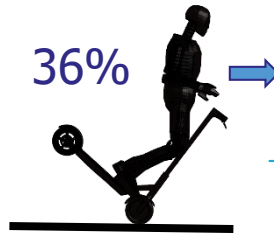
→ Quel scénario d'accident ?

Etude accidentologique et épidémiologique

2. Analyse vidéo

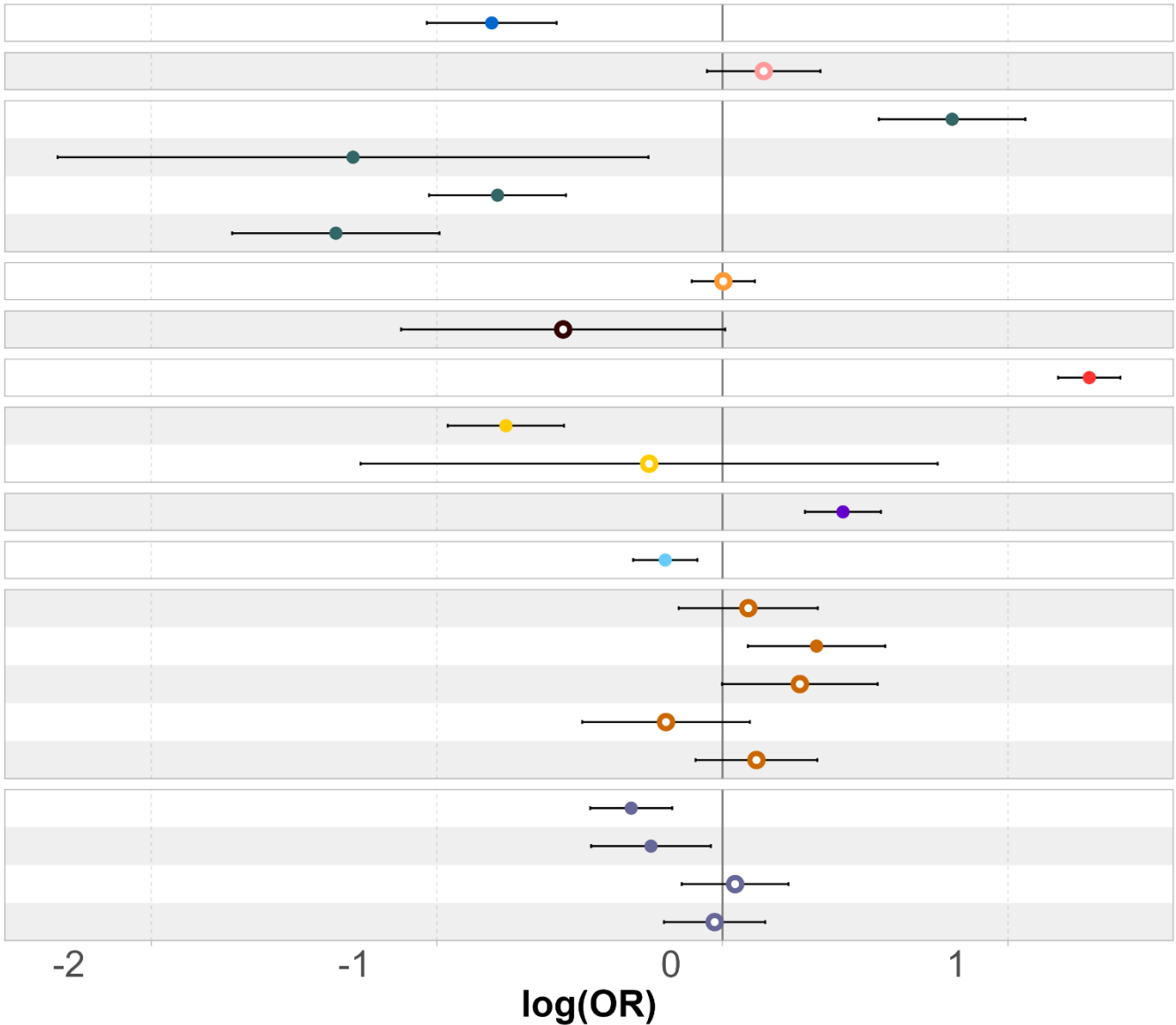


Analyse de 120 vidéos d'accidents
(Bailly et al., 2021)





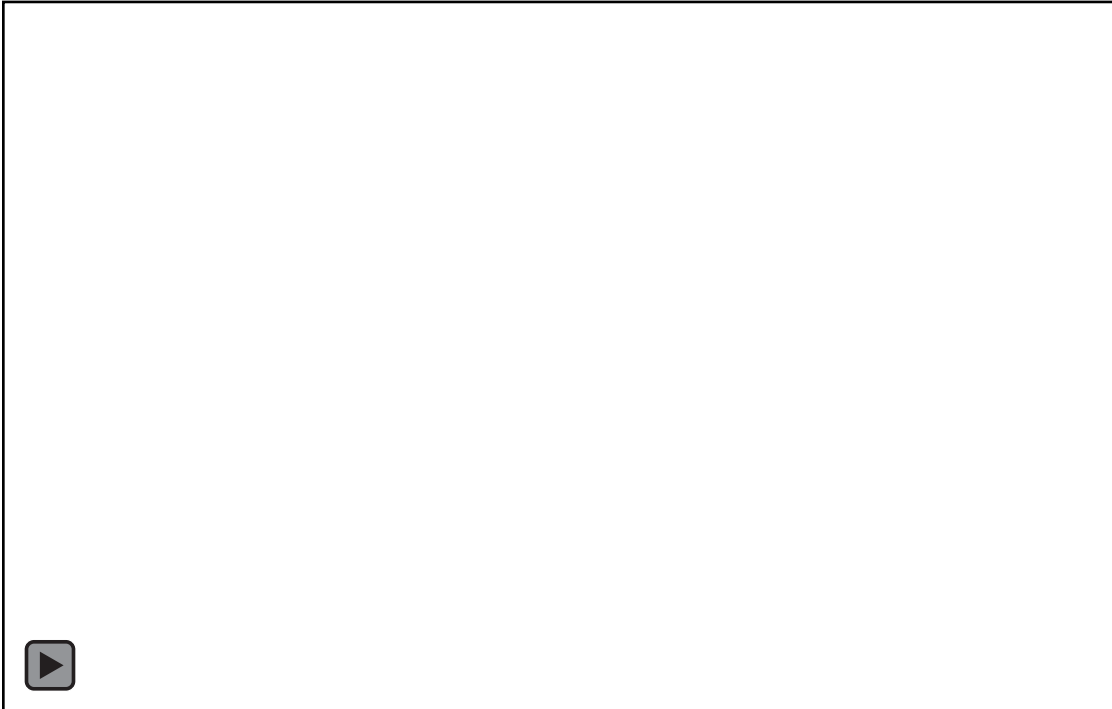
Soft mode type, ref: bicycle ----- PMD (***)
Motorization of soft mode, ref: human ----- Electric
Other involved user ref: car----- Truck/Bus (***)
PMD (*)
Motorcycle (***)
Bicycle (***)
Helmet use, ref: no ----- Yes
Passenger, ref: no ----- Yes
Type of road, ref: municipal road ----- Departmental/national road (***)
Localization, ref: on the roadway ----- On bicycle path (***)
On sidewalk
Road profil, ref: flat ----- Sloping (***)
Intersection, ref: no ----- Yes (***)
Impact, ref: frontal impact ----- Lateral impact
S.M. posterior, O.U. frontal (**)
S.M. frontal, O.U. lateral
S.M. frontal, O.U. posterior
S.M. lateral, O.U frontal
Maneuver, ref: without changing direction -O.U. change direction (***)
both change direction (*)
S.M. change direction
S.M. crossing the roadway



● p ≤ 0.05 ○ p > 0.05

→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

1. L'analyse vidéo



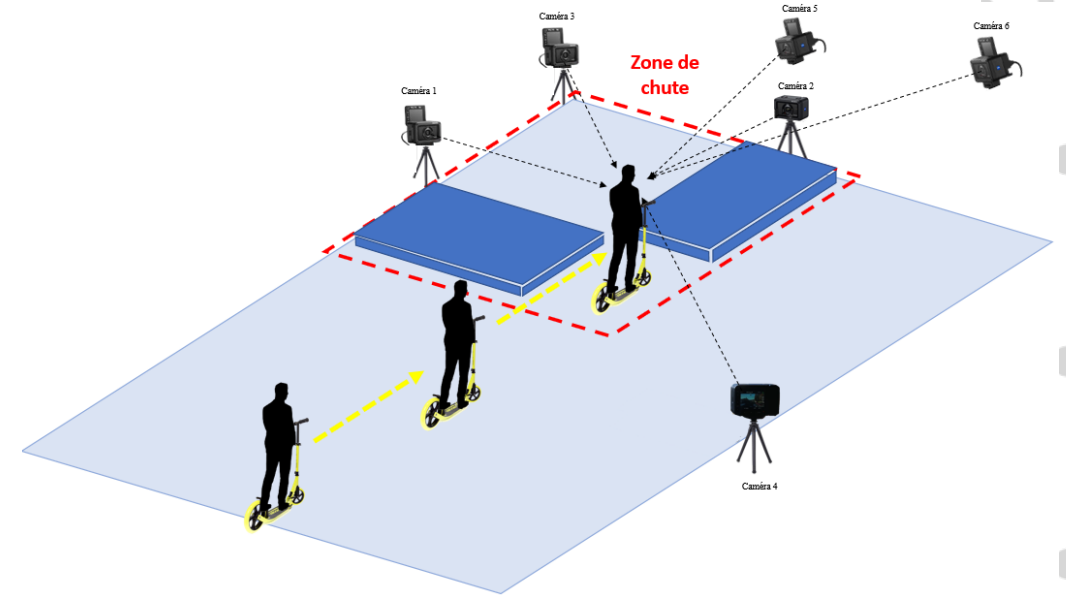
→ Calibration de l'image basée sur les dimensions de la trottinette

→ Suivi de la position de la tête

= vitesse normale et tangentielle à l'impact

→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

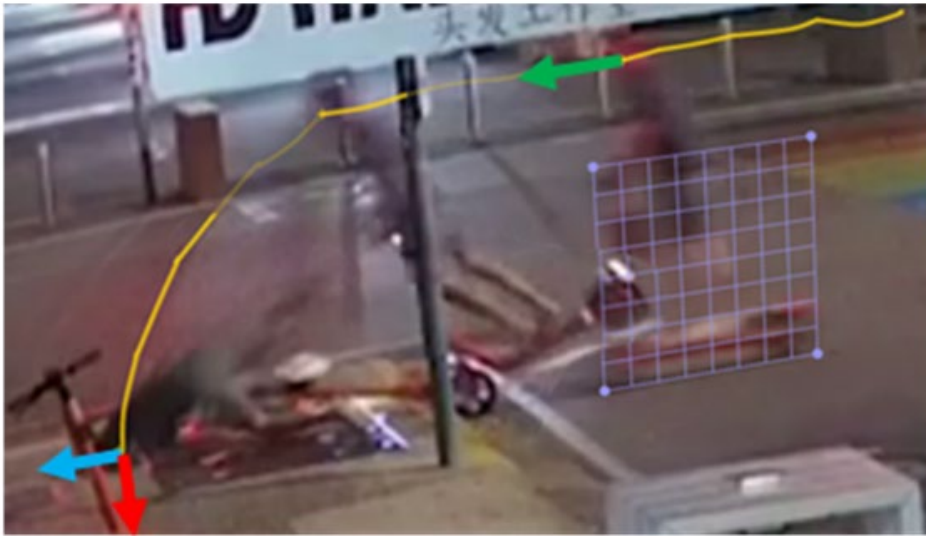
1. L'analyse vidéo



→ Méthode développée et évaluée lors de chutes volontaires
Comparaison des mesures de vitesse obtenue sur 1 caméra
aux données 3D obtenue via système optoélectronique (10 caméras)

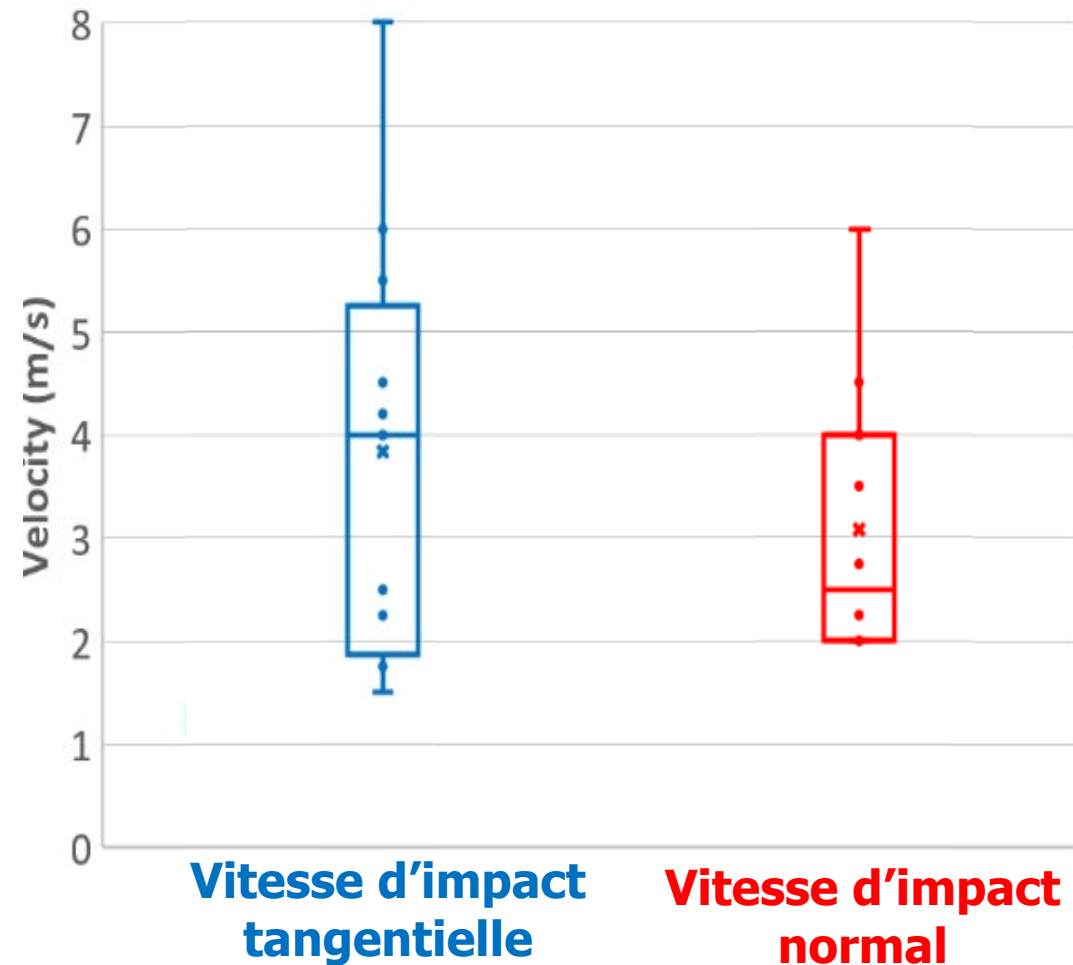
→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

1. L'analyse vidéo



Analyse de 12 chutes réelles

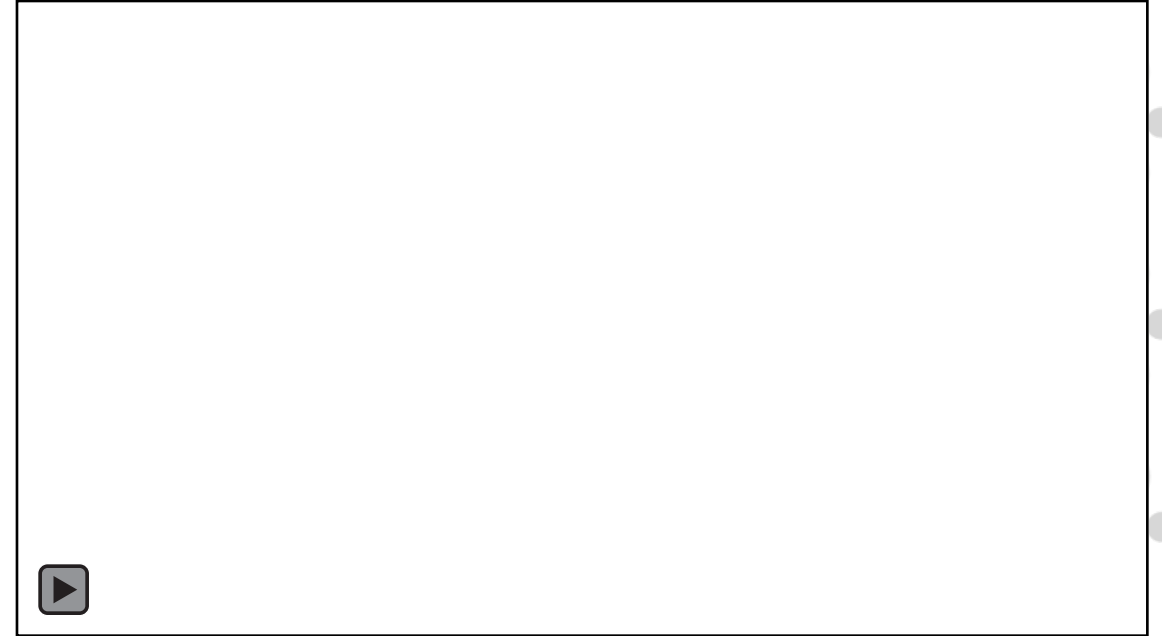
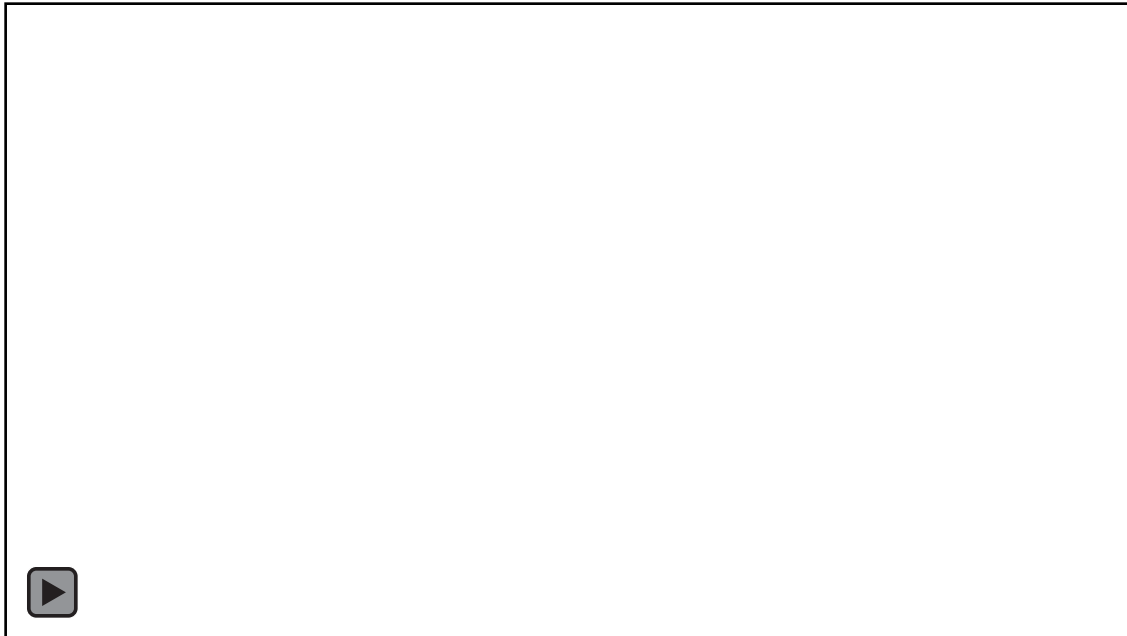
- + Vitesse d'impact réaliste
- = Incertitude de la mesure élevée
- Peu d'infos sur le mécanisme de blessure



→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

2. La reconstruction expérimentale d'accident

(dons de corps à la science / mannequins)



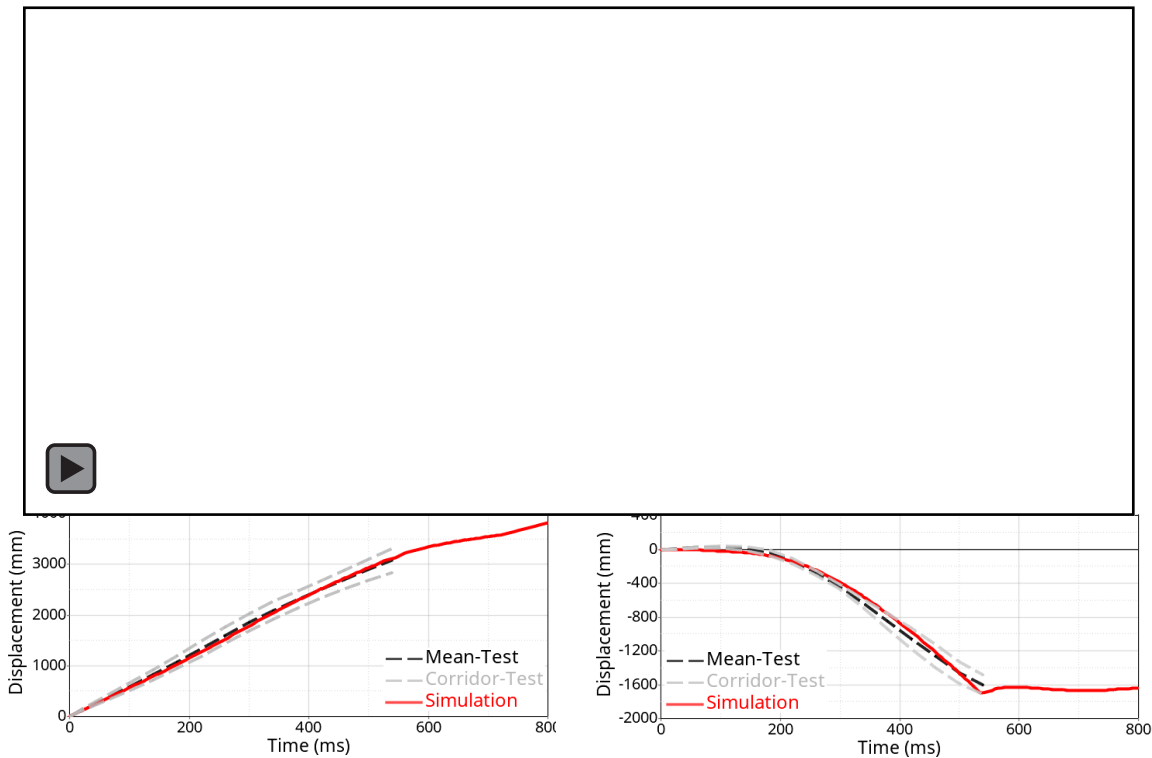
- Mannequin hybrid III
- Vitesse 20km/h
- 8 essais réalisés (avec et sans casque)
- Mesure de vitesse et accélération de la tête

- + Vitesse+ Accélération à l'impact
- + Évaluation de protection
- Réalisme (pas de réflexe de protections)
- Nombre de cas étudié limité

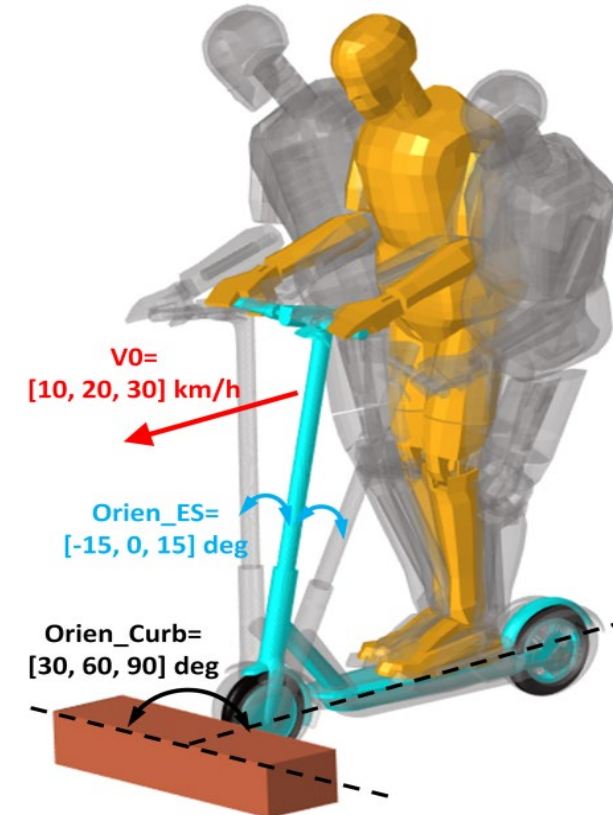
→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

3. La reconstruction numérique de l'accident

→ Validation qualitative et quantitative de la cinétique de la chute et du casque



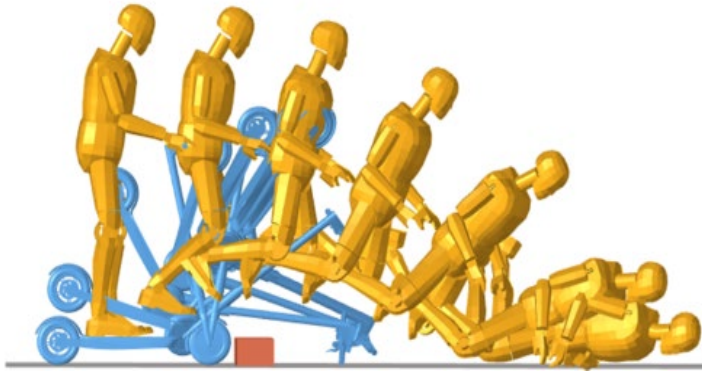
→ Etude paramétrique de la chute



→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

3. La reconstruction numérique de l'accident

Cinématique globale

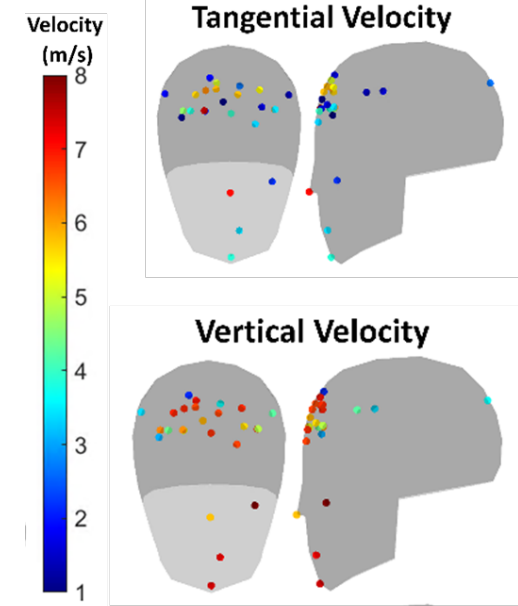


→ Faible vitesse (10 km/h) =
jambe *impactent* en premier

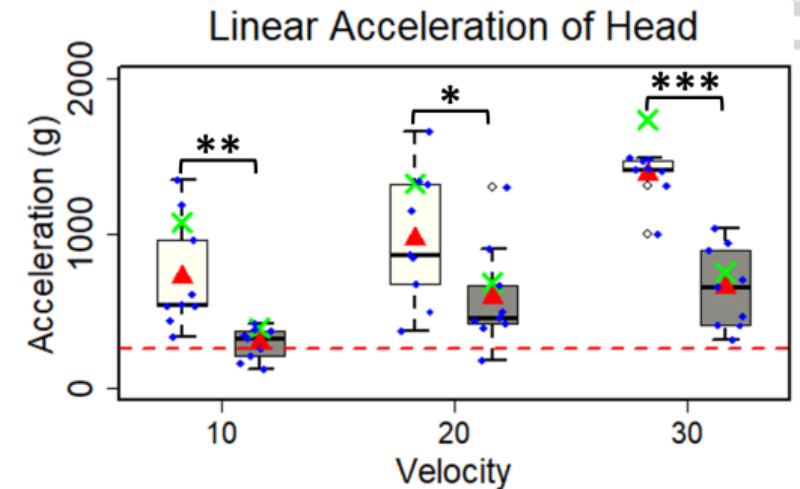


→ haute vitesse (30 km/h) =
bras *impactent* en premier

Zone d'impact
et vitesse d'impact

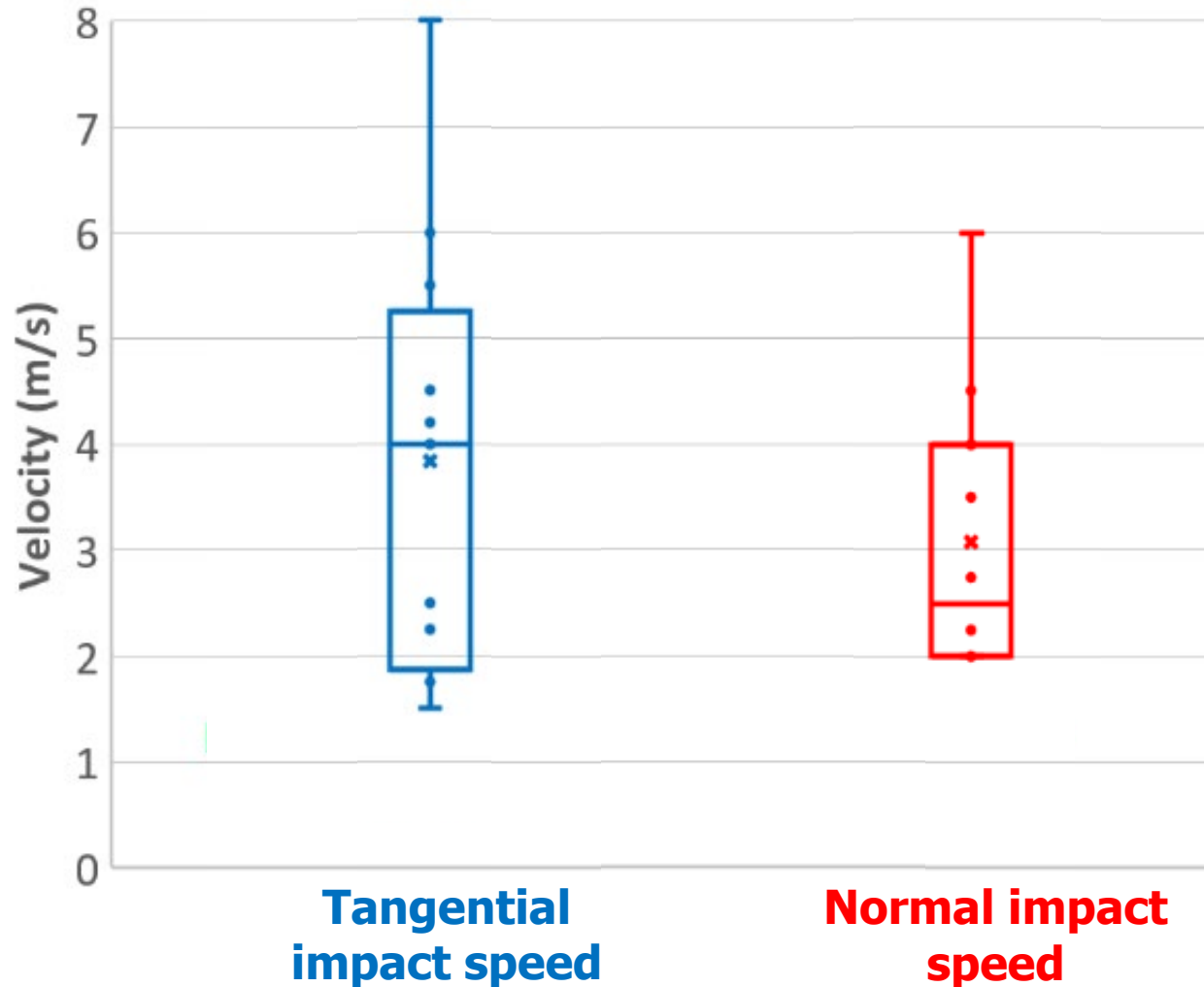


Accélération de la tête et
effet du casque



→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

→ Vitesse d'impact de la tête

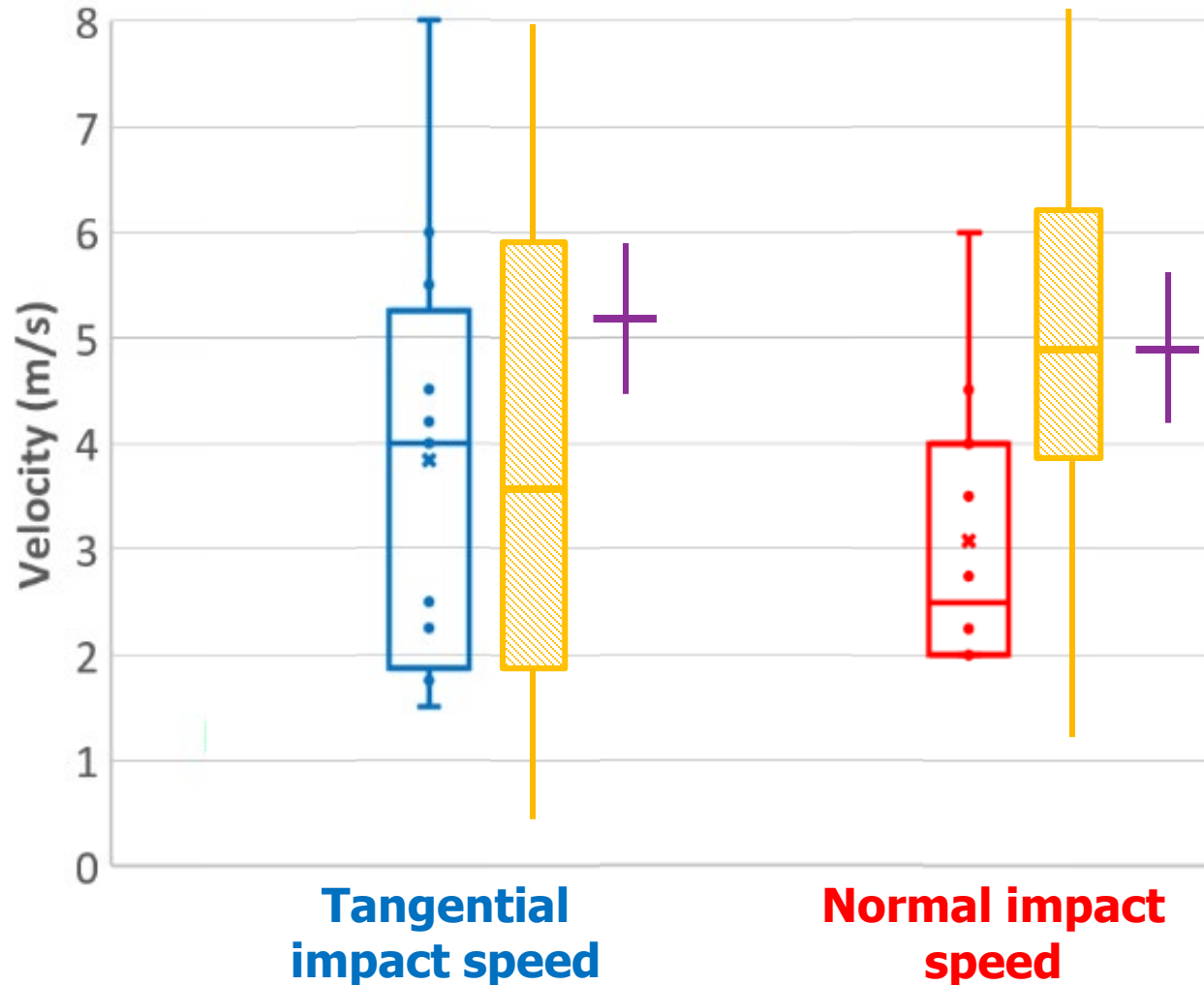


Analyse vidéo de 12 chutes

- Large range of normal and tangential head impact speed
- Tangential speed > normal speed

→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

→ Vitesse d'impact de la tête



Experimental reconstruction



Numerical reconstruction

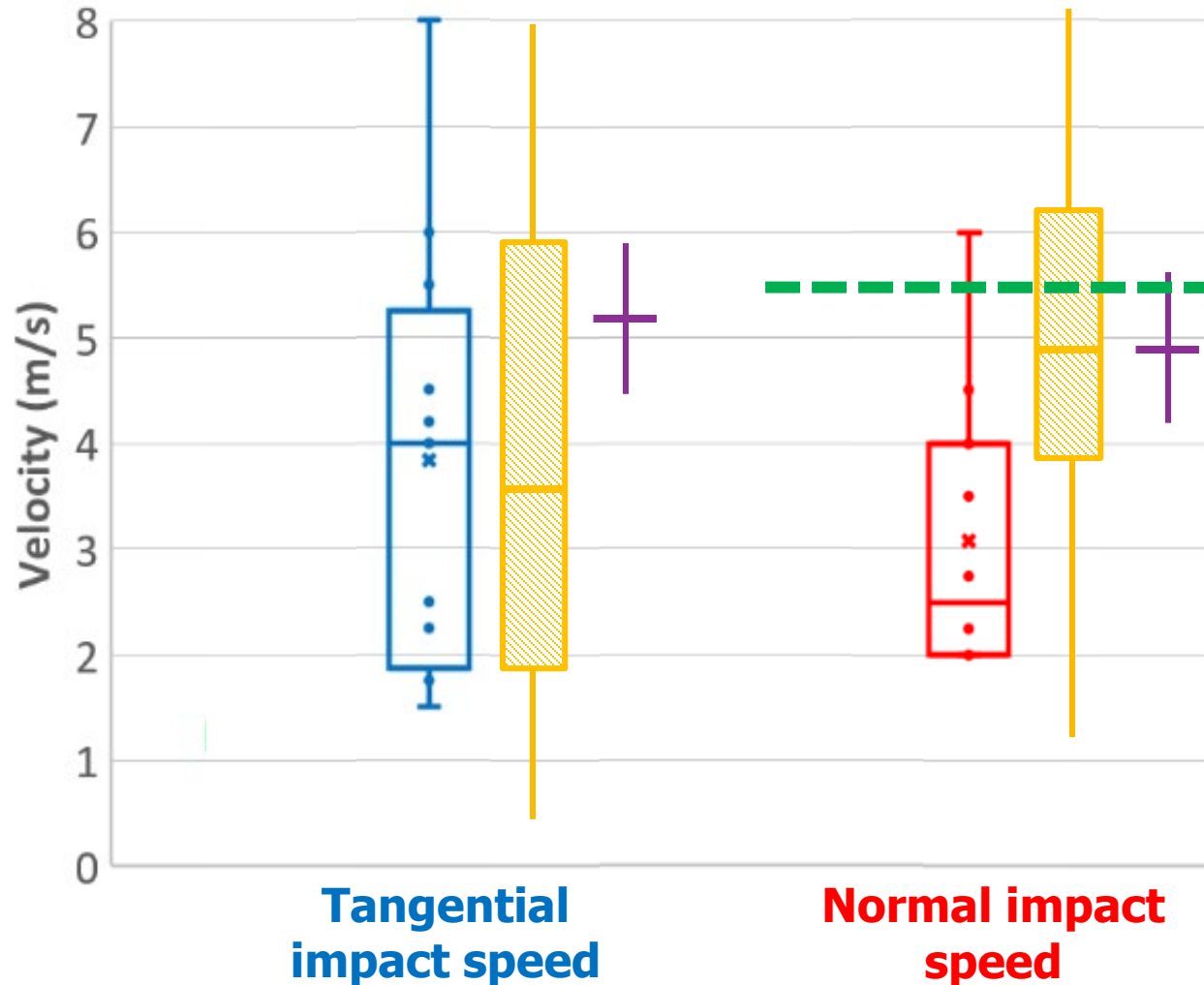


→ Impact speed in reconstruction
= worst-case scenario
= adequate for helmet evaluation

→ Maybe due to lack of protective reflexes

→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

→ Vitesse d'impact de la tête



Standard evaluation

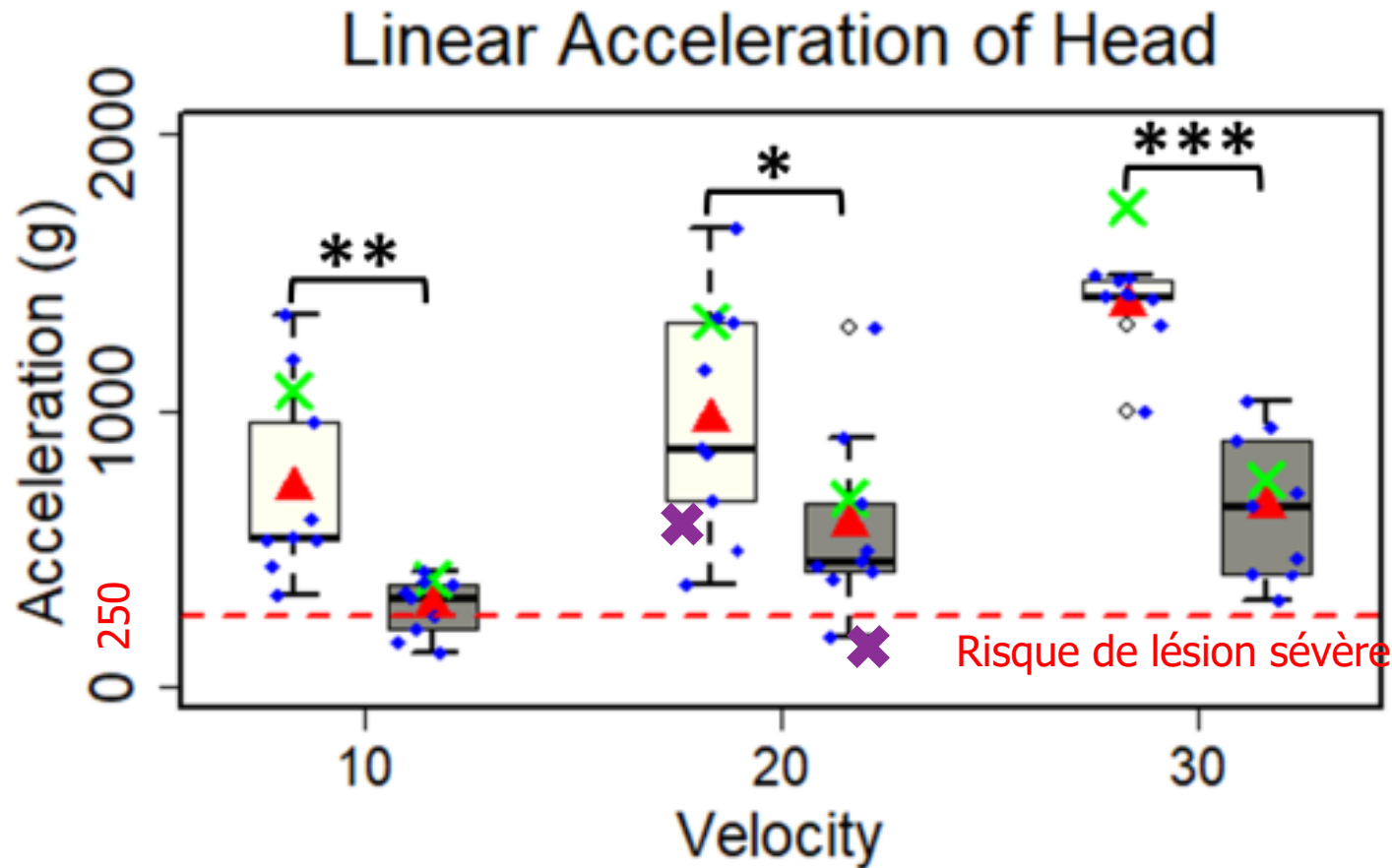


Impact speed in helmet standard test:

- ✓ Consistent with normal impact speed in worst-case scenario
- ✗ No tangential impact velocity (associated with rotational acceleration)

→ Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

→ Accélération de la tête



□ Unhelmeted ■ Helmeted

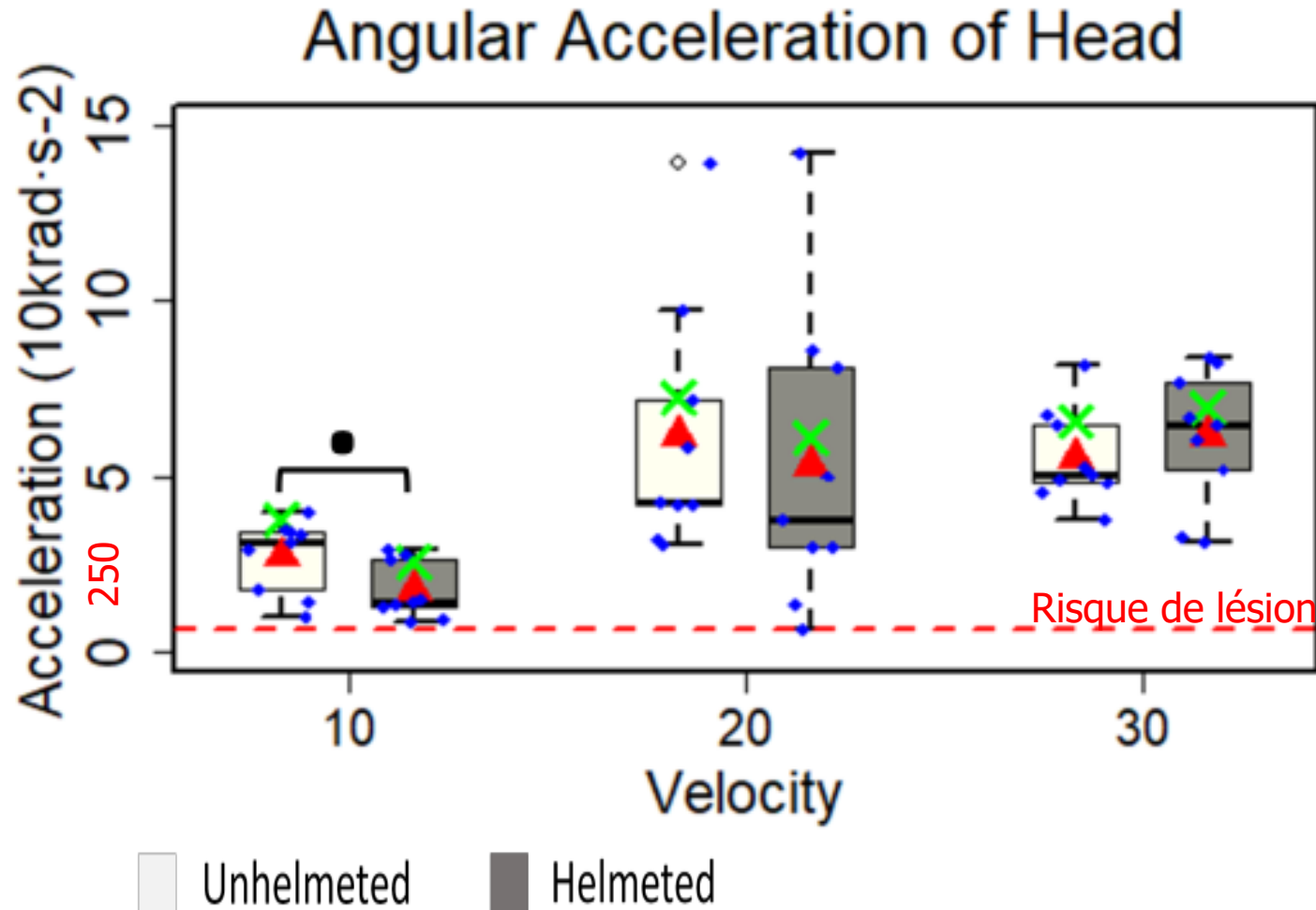
→ Risque important de lésions cérébrales

→ Le casque réduit fortement l'accélération de la tête

→ Risque élevé de lésion pour de nombreux impacts casqués

→ Quel conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

→ Accélération de la tête



→ Risque important de lésions cérébrales

→ Le casque ne réduit pas significativement cette accélération

→ Evaluation des protections

Résultats préliminaires

Norme d'évaluation des casques de vélo :

- ✓ Vitesse d'impact normal cohérente avec la chute de trottinette
- ✗ Mais pas de vitesse tangentielle



Casque de vélo :

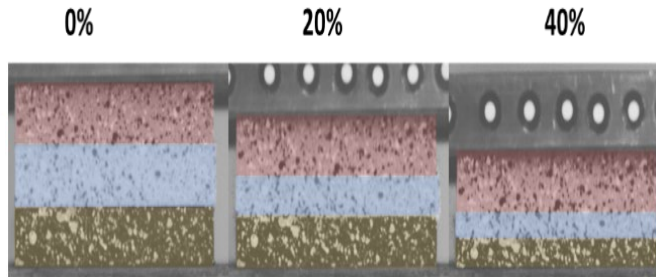
- ✓ Forte réduction de l'accélération linéaire
- ✗ Pas suffisamment pour toujours éviter un risque de lésion
- ✗ Pas de réduction de l'accélération rotationnelle



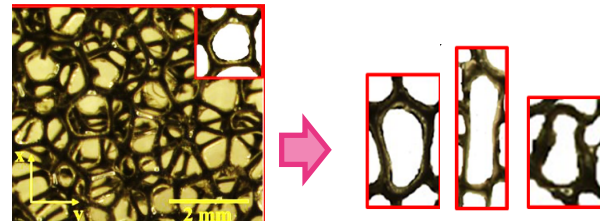
→ Vers de nouvelles protections

→ Améliorer / optimiser les casques

1. Combiner / adapter les propriétés des mousses:

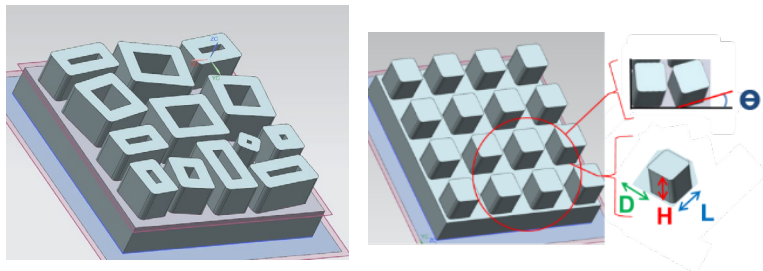


Multi-matière

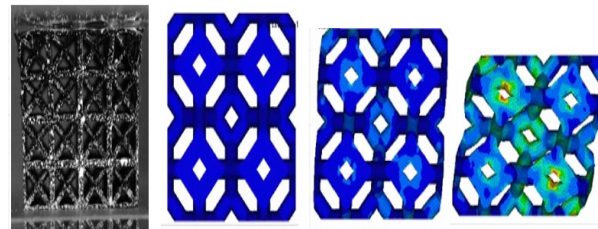


Modification cellulaire : mousses auxétique

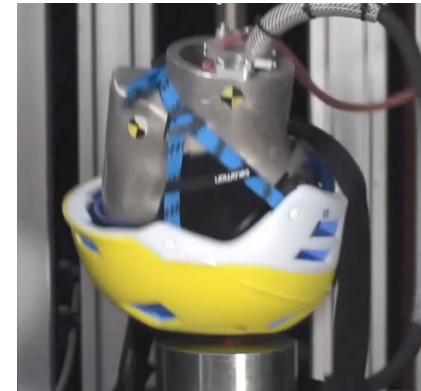
2. Optimiser la géométrie



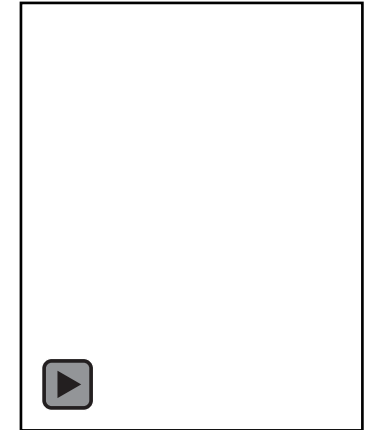
Plots EPS-4D



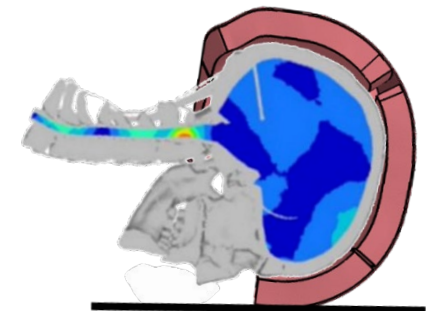
Structures lattice viscoélastiques



Adaptés à la norme

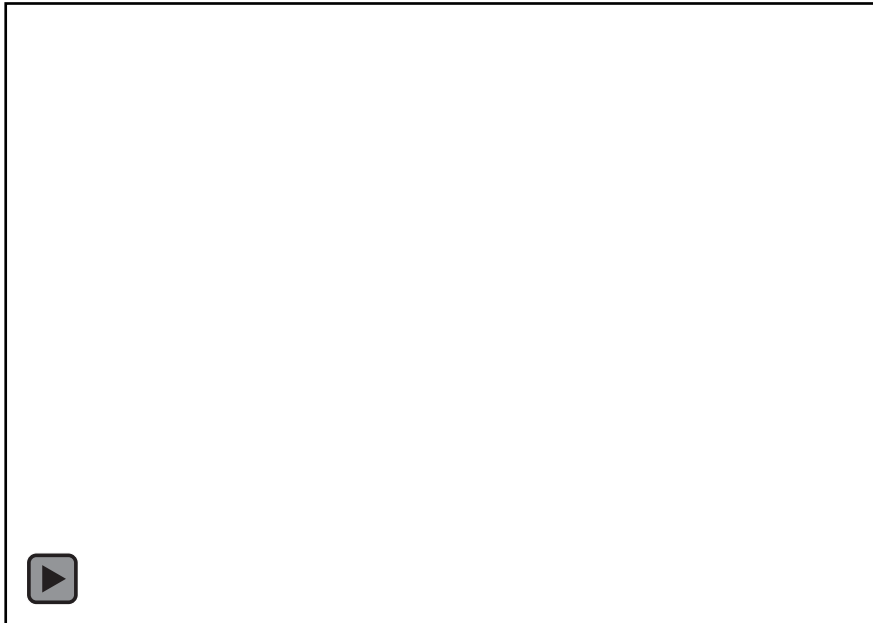


*Adaptés aux conditions d'impact
Et mécanismes lésionnels réalistes*



→ Vers de nouvelles protections

→ Développer des solutions airbags pour les usagers des modes doux



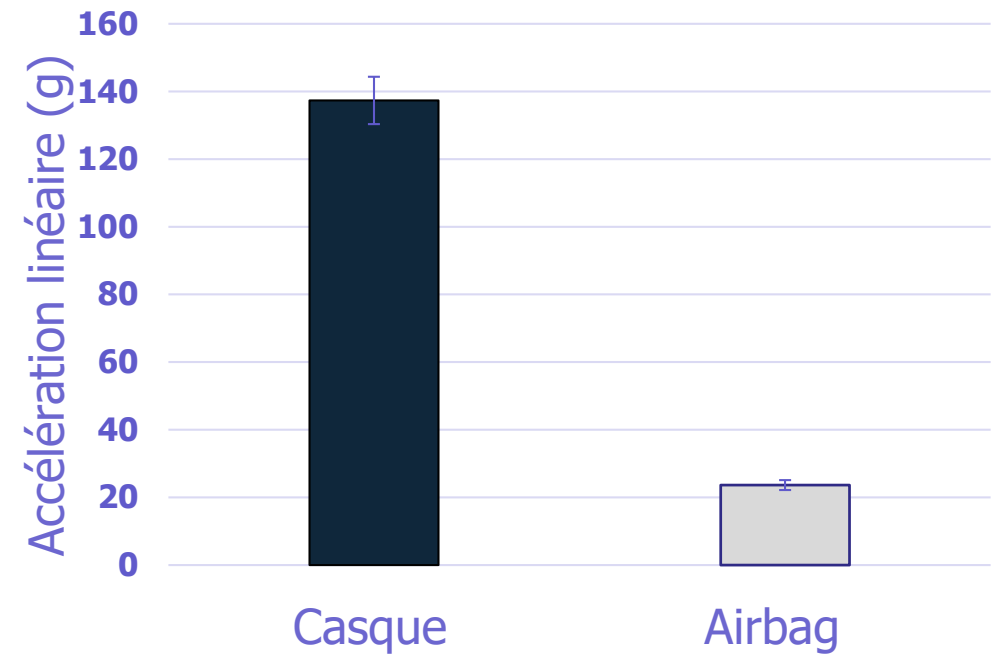
STAN
in@motion
A I R B A G



- Beaucoup d'espace pour absorber l'énergie
- Nouveaux enjeux de détection, temps et pression de gonflages, design des boudins...
- Nouveaux enjeux d'évaluation normative

→ Vers de nouvelles protections

→ Développer des solutions airbags



Évaluation préliminaire des protections air-bags STAN : des résultats encourageants !

Thank you !

Nicolas Bailly



Laboratoire de
Biomécanique
Appliquée

UMR T24

Wei Wei
Marianne Guesneau
Sarah Honore
Pierre-Jean Arnoux
Catherine Masson
Max Py
Camille Belanger



Alexandre Naaim
Antoine Muller
Sophie Bonte



Yvan Petit
Marion Fournier

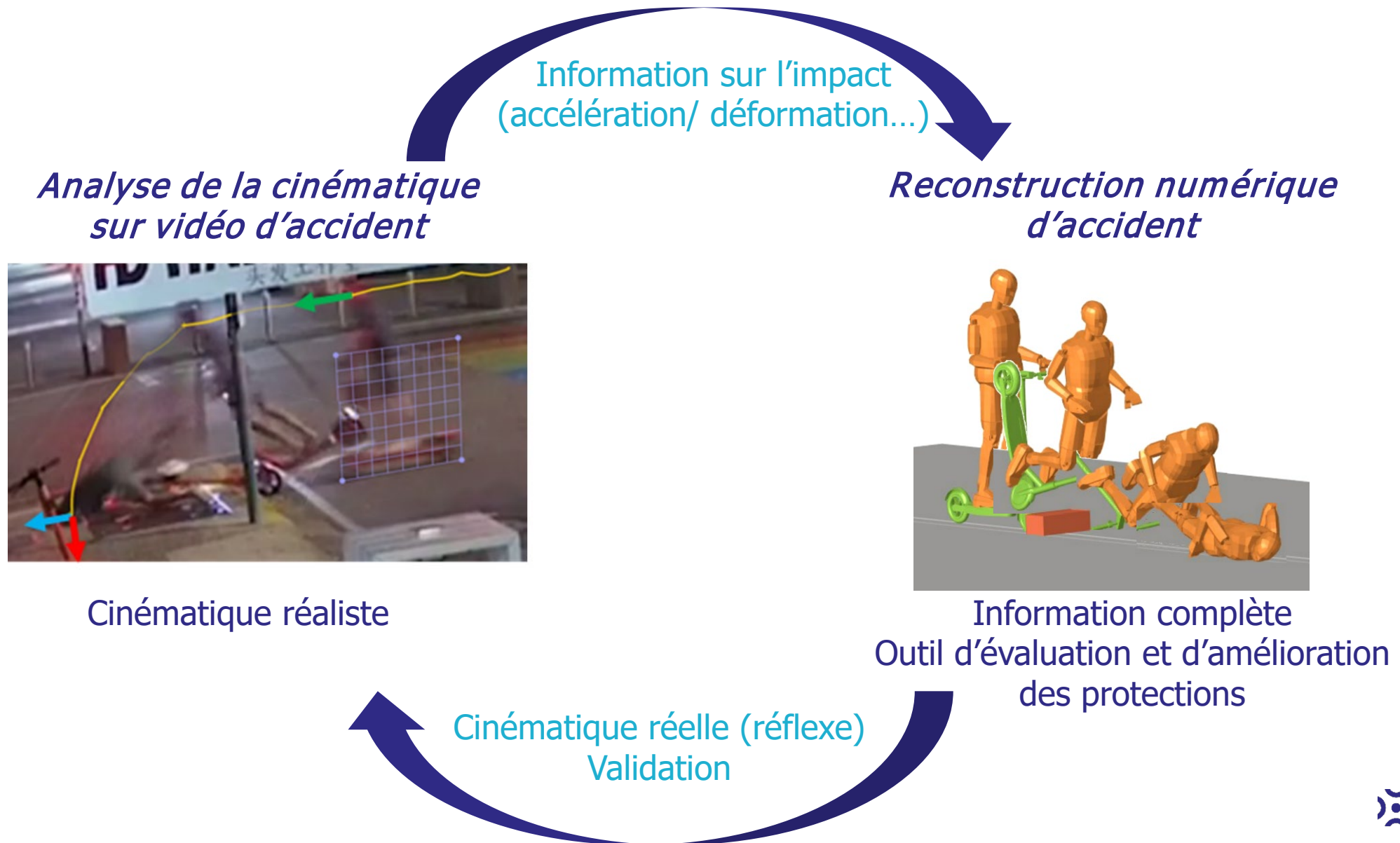


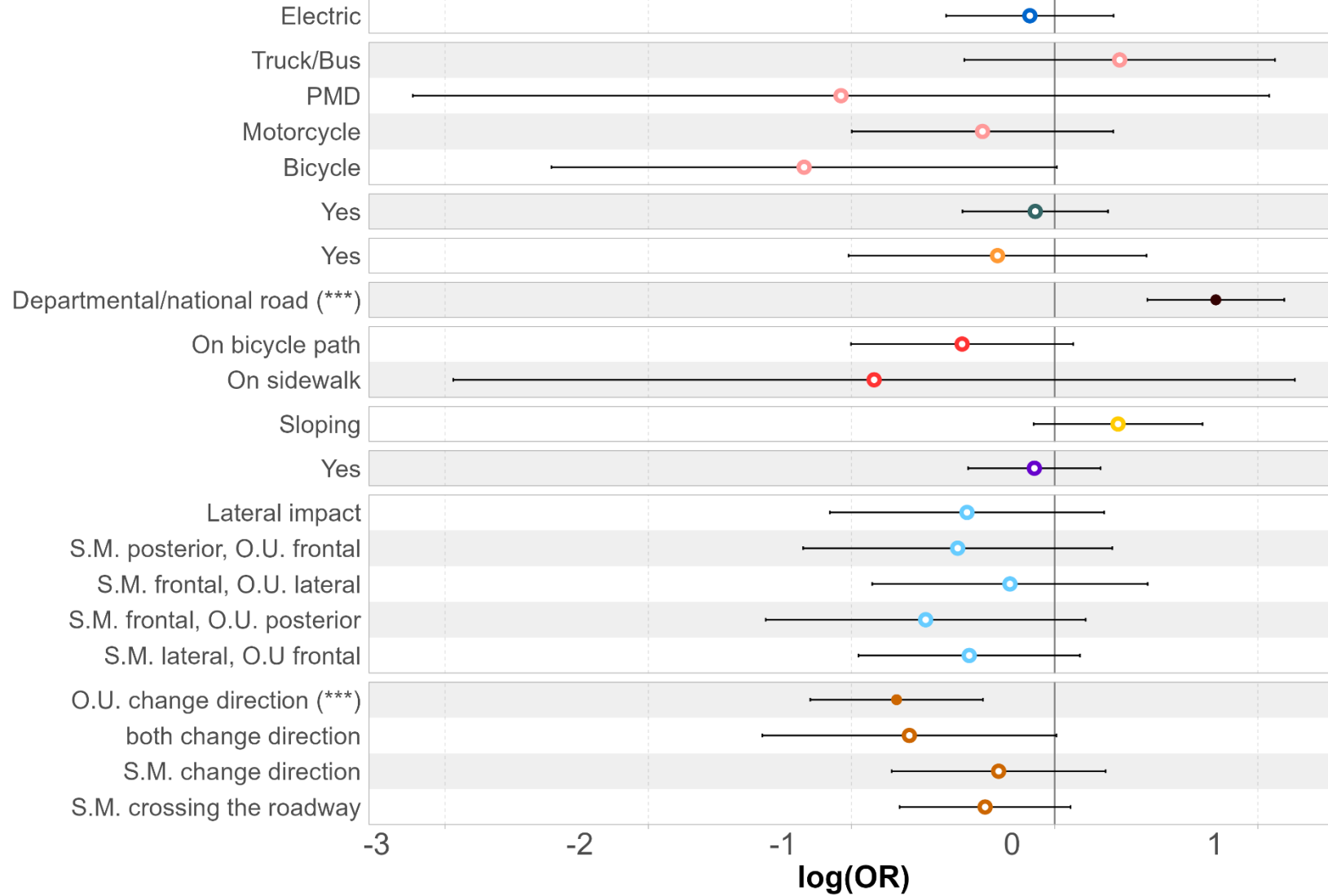
Oscar Cherta
Phillippe Martins
Valentin Honore



Andreas Schäuble

Discussion : complémentarité des approches vidéo et modélisation





● p ≤ 0.05 ● p > 0.05

