



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 <sup>1</sup>  
Trottinette : + 167 X

+ de 20% des accidentés dans le Rhône en 2019 <sup>2</sup>

50% des accidentés étaient touchés à la tête

<sup>1</sup> Dewan et al. 2018

<sup>2</sup> Global status report on road safety 2018

<sup>3</sup> 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 crâniens<sup>5</sup>

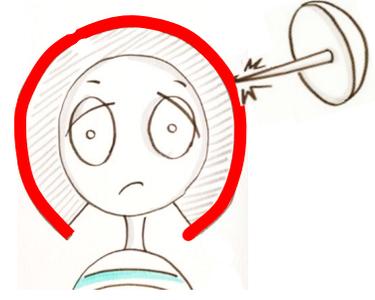
→ Toutes les lésions cérébrales ne sont pas protégées

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

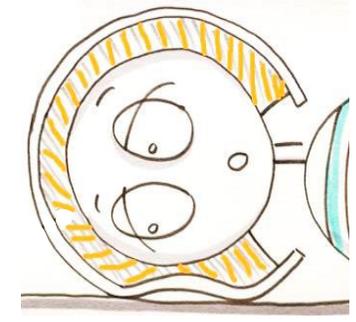
# Le casque :



=



+



**Coque**

Empêche les pénétrations

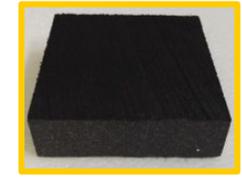
**Mousse du liner**

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



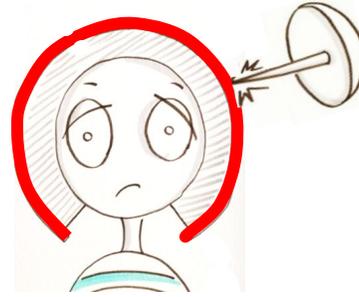
Pour un impact donné

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

Le casque :



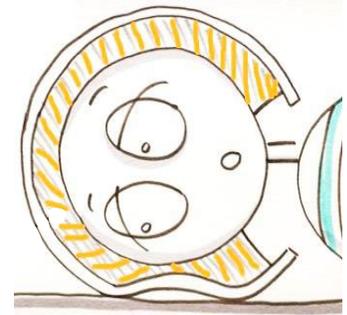
=



**Coque**

Empêche les pénétration

+

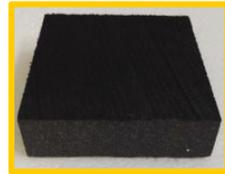


**Mousse du liner**

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



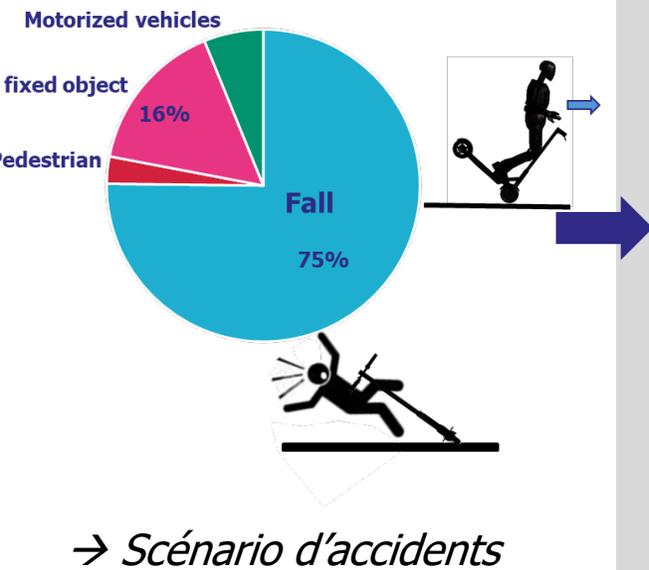
*Mécanismes lésionnels complexes  
(accélération linéaire / rotationnelle)*

## 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

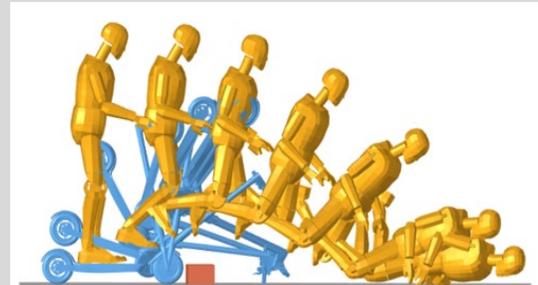


## Etude de l'impact de la tête lors de ces accidents

### Analyse vidéo

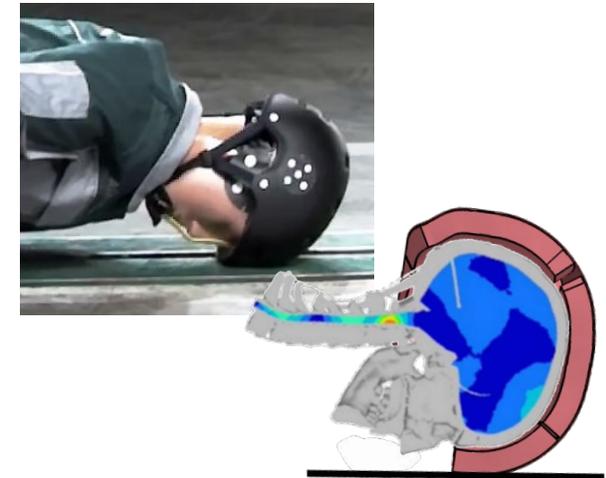


### Reconstruction d'accidents



- 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

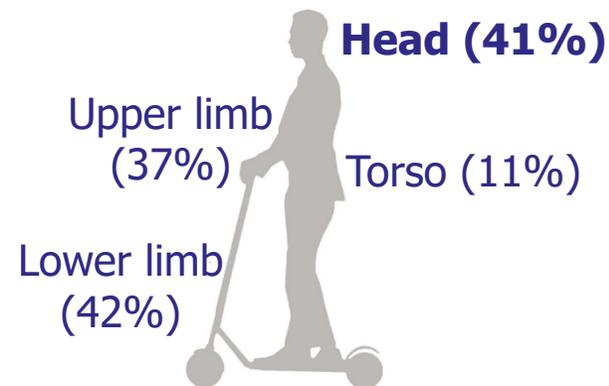
## → Quel scénario d'accident ?

### 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)

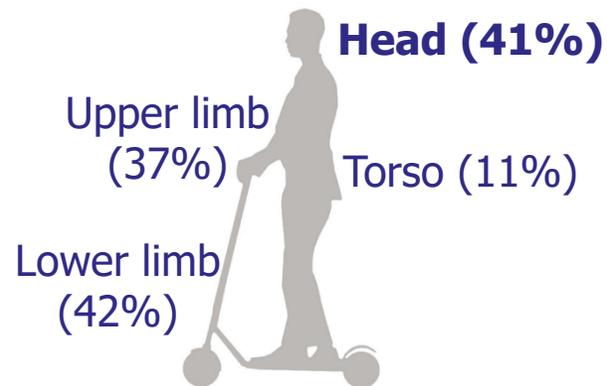
## → Quel scénario d'accident ? **OPTION VELO + TROTT**

### 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)

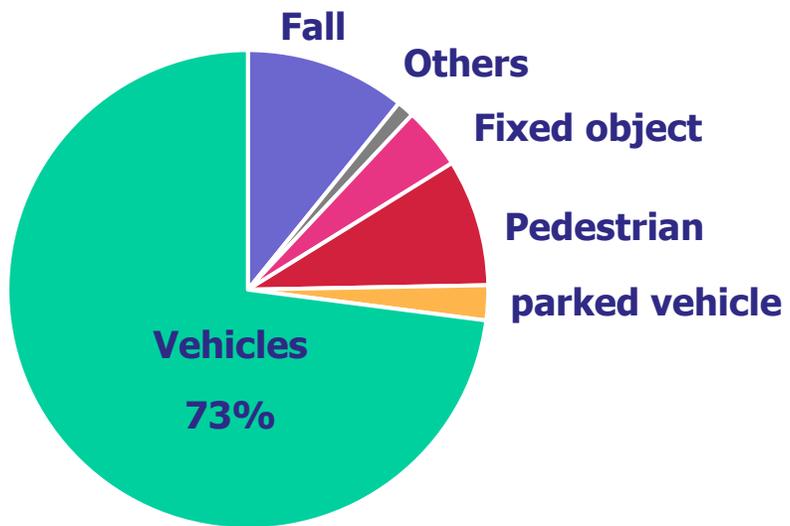
35 % étaient touchées à la tête/face, 10% à la colonne vertébrale et 13% au niveau du thorax/abdomen, zones les plus susceptibles de traumatismes sévères (MAIS3+) (Amoros et al. 2009; Amoros et al. 2011; McAdams et al. 2018; Blomberg et al. 2019)



## → Quel scénario d'accident ?

### Etude accidentologique et épidémiologique

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

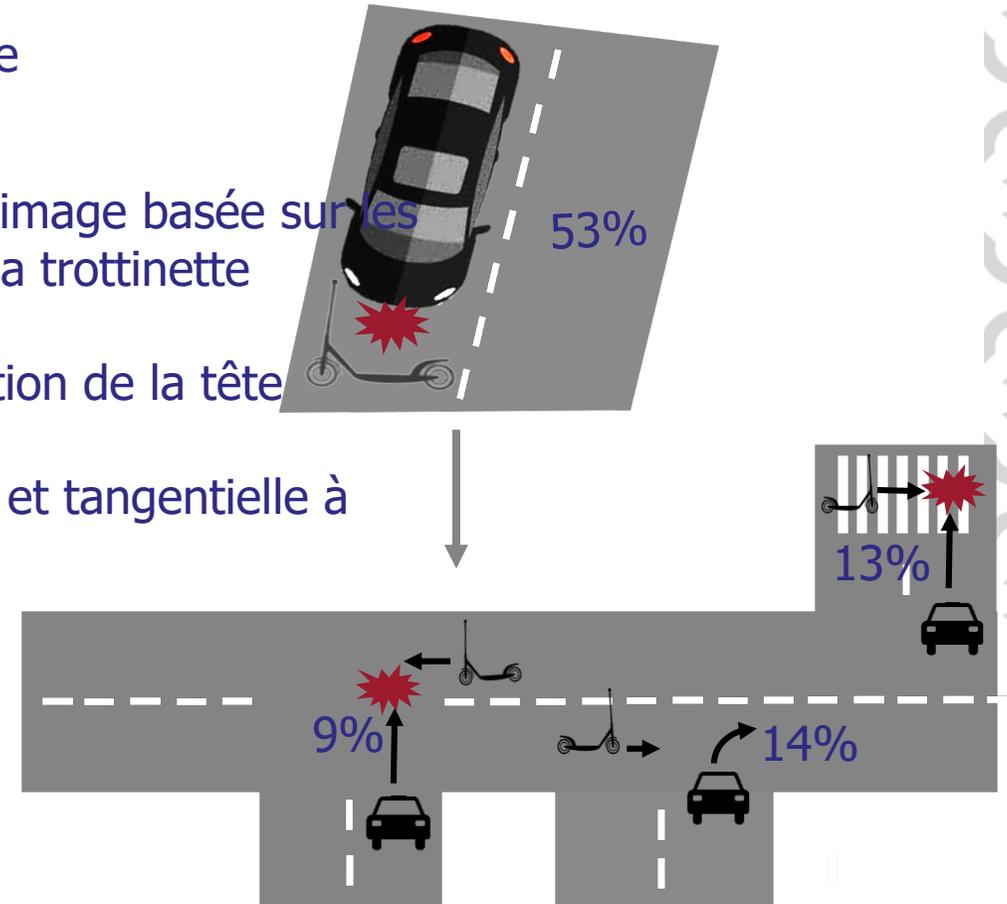


3 526 accidents à EDP issus de la base ONISR

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

→ Suivi de la position de la tête

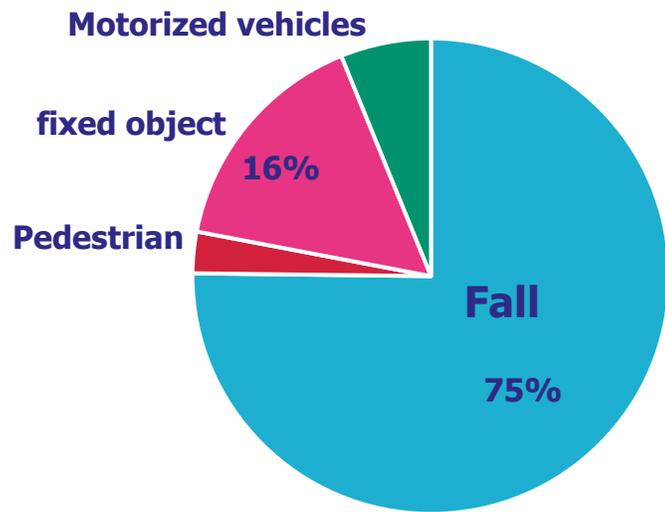
= vitesse normale et tangentielle à l'impact



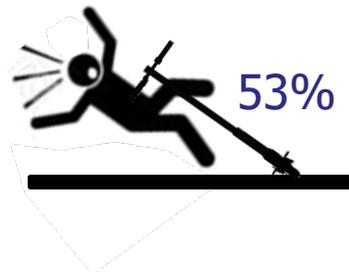
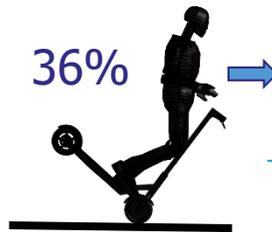
# → Quel scénario d'accident ?

## 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

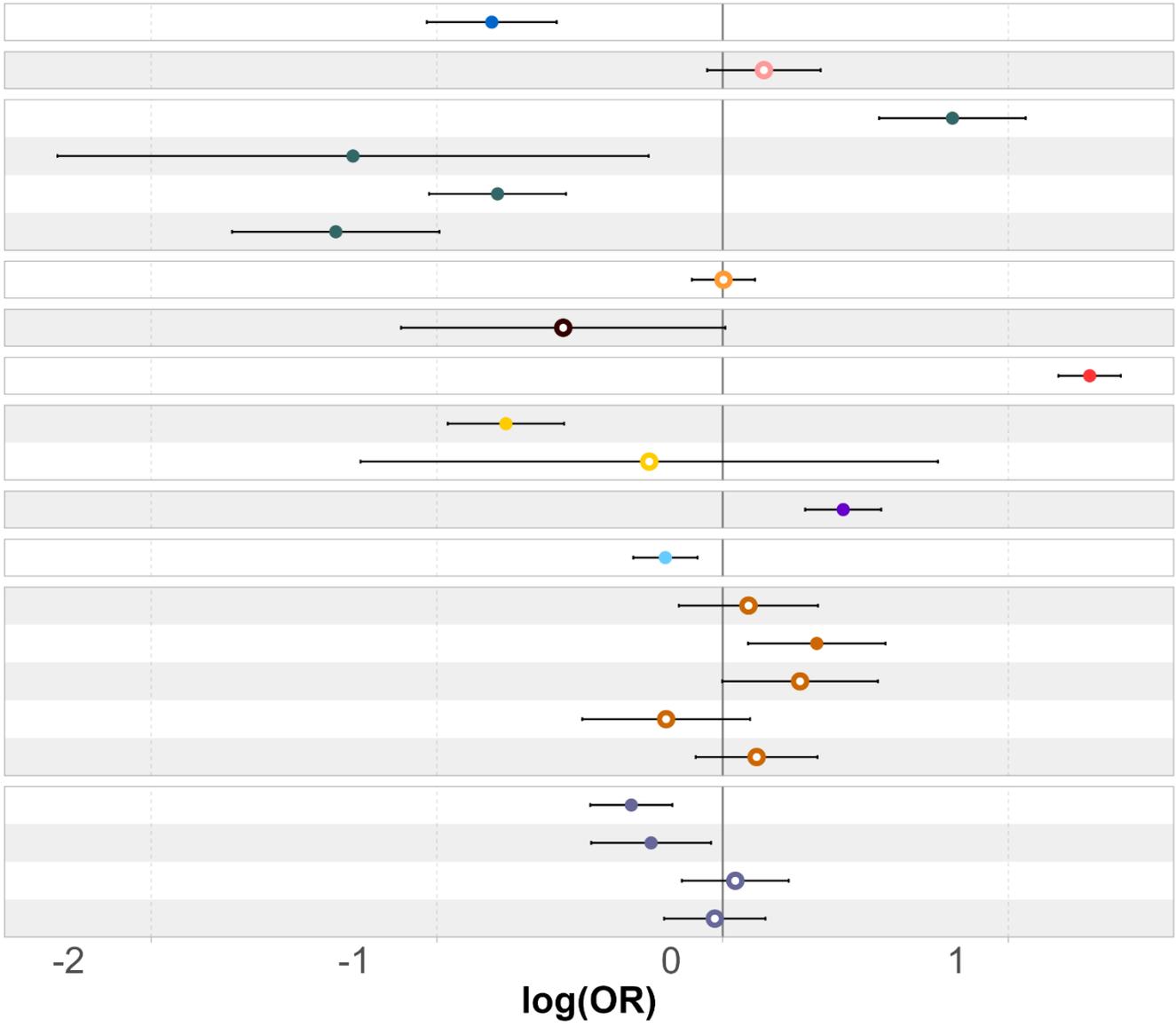
S.M. lateral, O.U frontal

**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



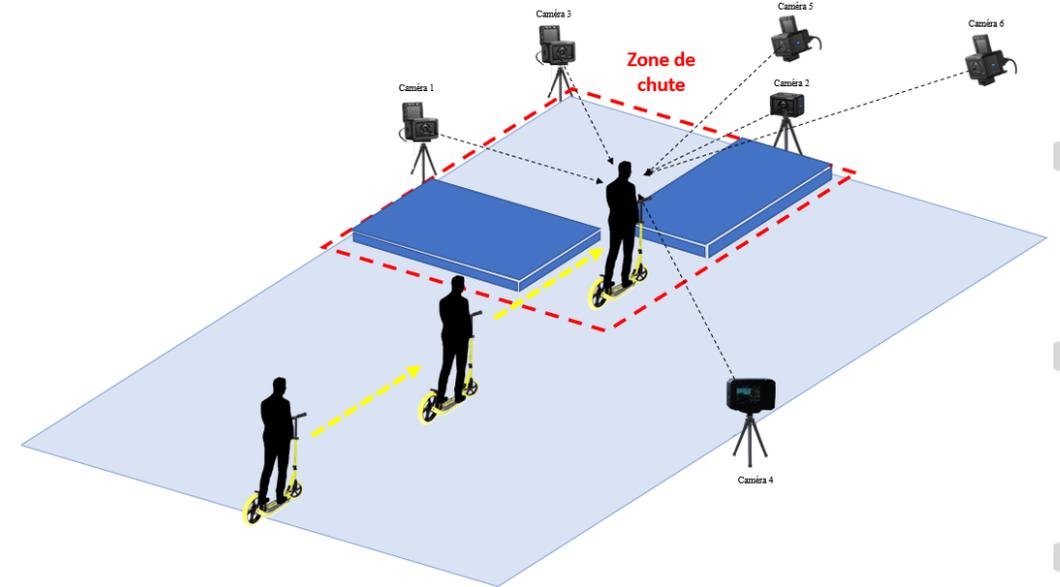
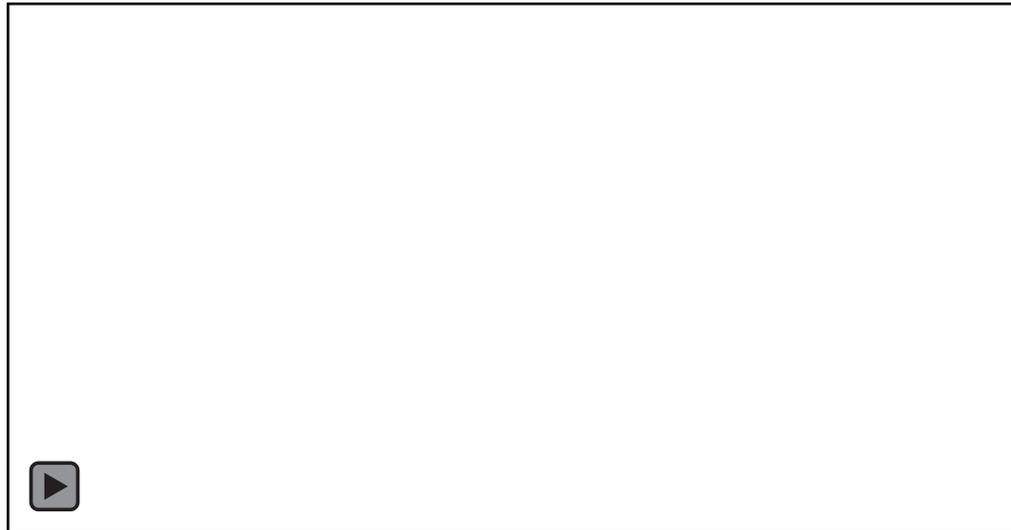
→ Calibration de l'image basée sur les dimensions de la trottinette

→ 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)

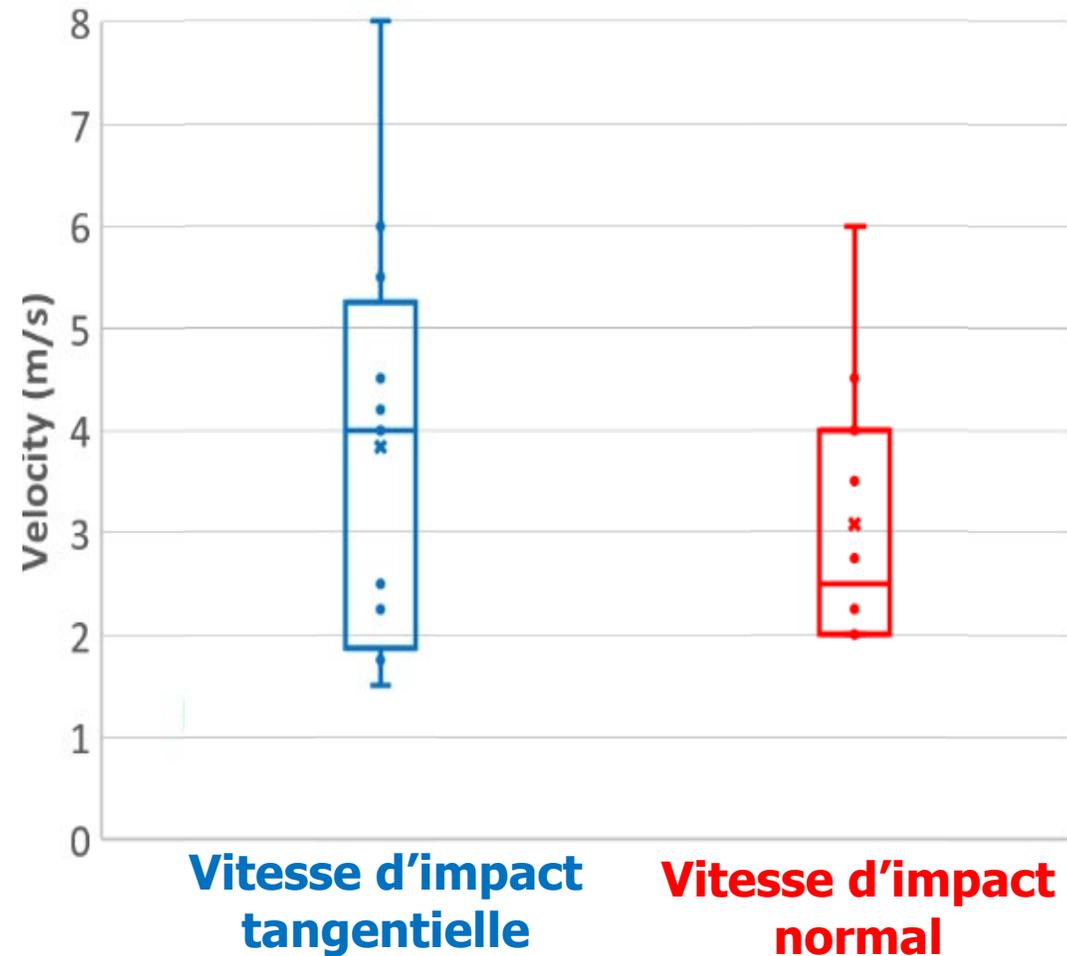
## → Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

### 1. L'analyse vidéo



Analyse de 12 chutes réelles

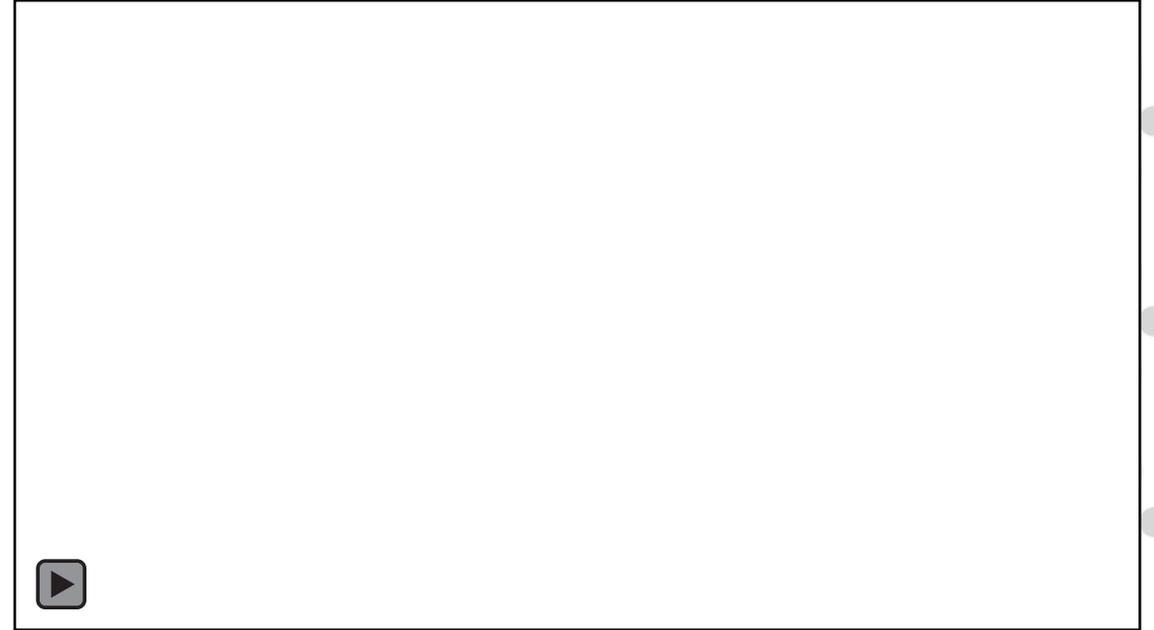
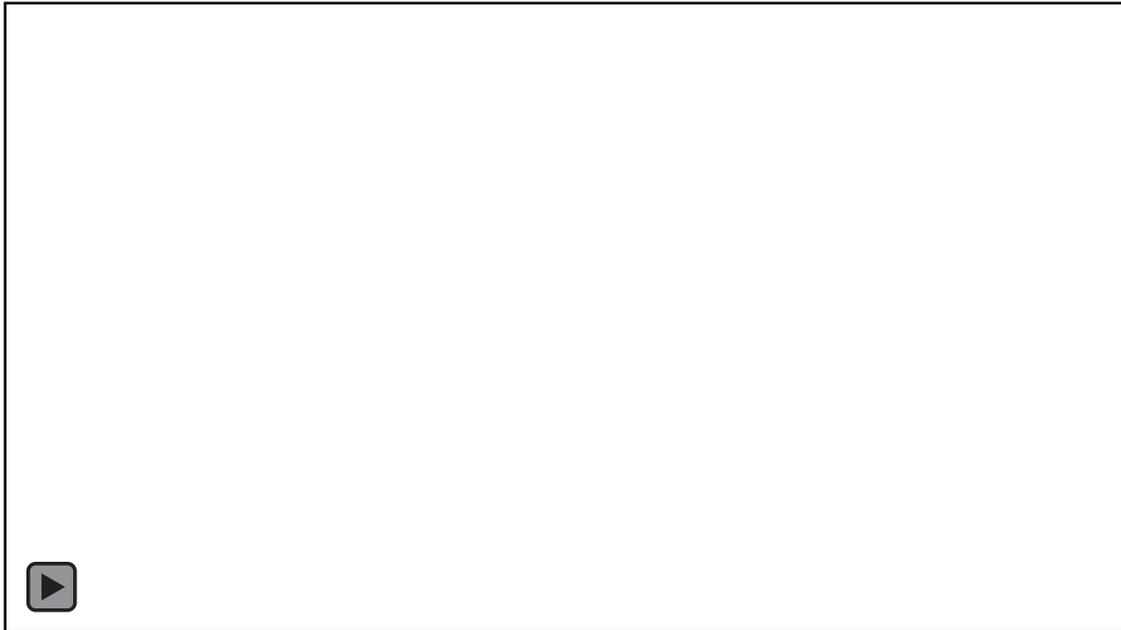
- + Vitesse d'impact réaliste
- = Incertitude de la mesure élevée
- Peu d'infos sur le mécanisme de blessure



# → 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)



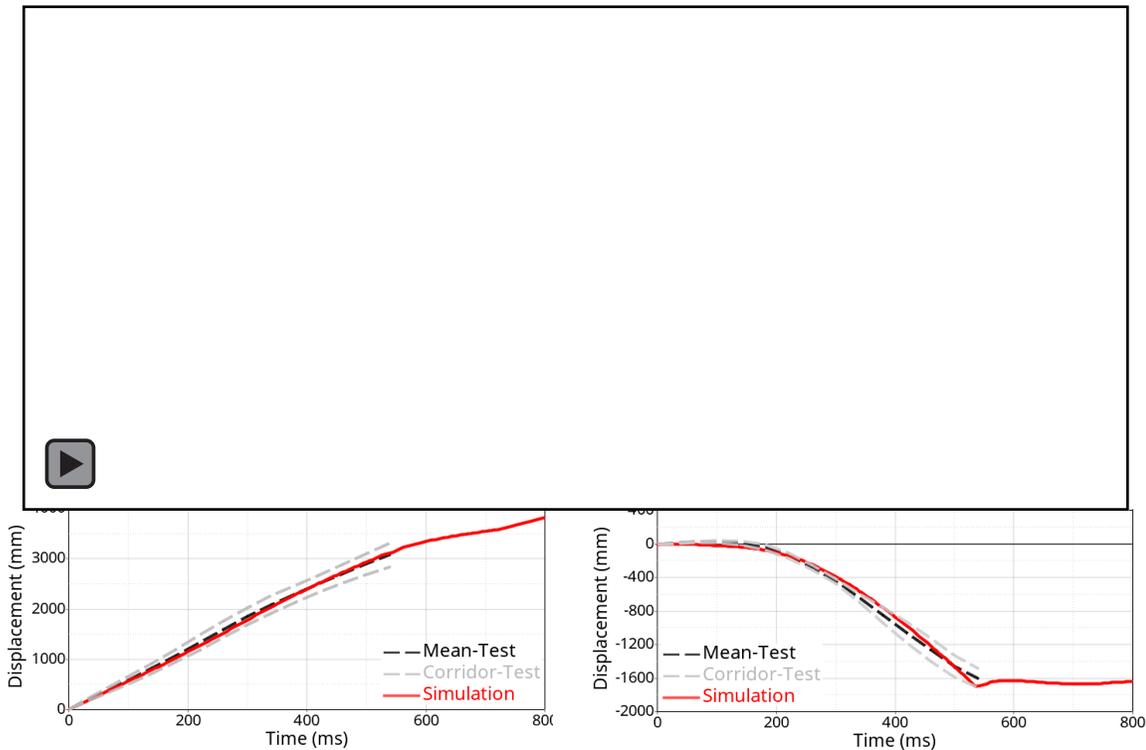
- Mannequin hybrid III
- Vitesse 20km/h
- 8 essais réalisés (avec et sans casque)
- Mesure de vitesse et accélération de la tête

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

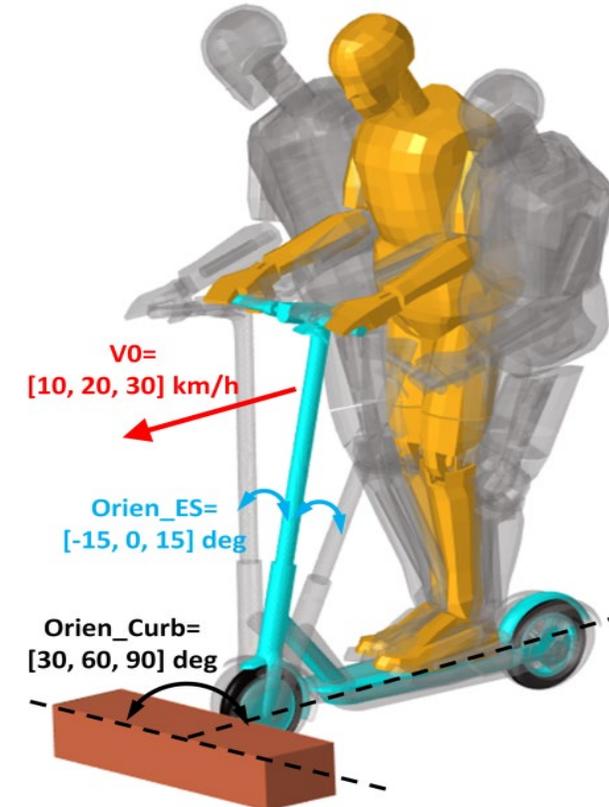
# → Quelles conditions d'impact de la tête et quels mécanismes de blessures?

## 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

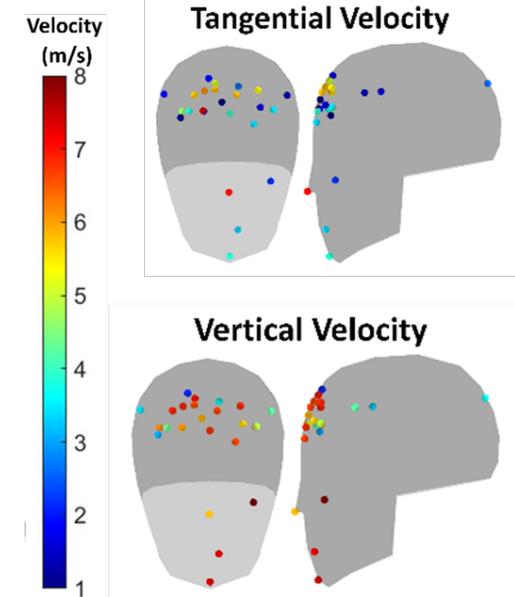


→ Faible vitesse (10 km/h) =  
jambe *impactent* en premier

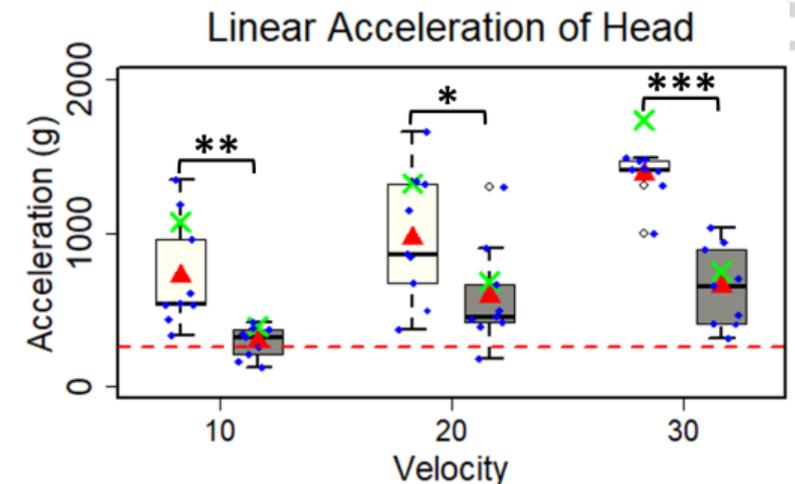


→ haute vitesse (30 km/h) =  
bras *impactent* en premier

Zone d'impact  
et vitesse d'impact

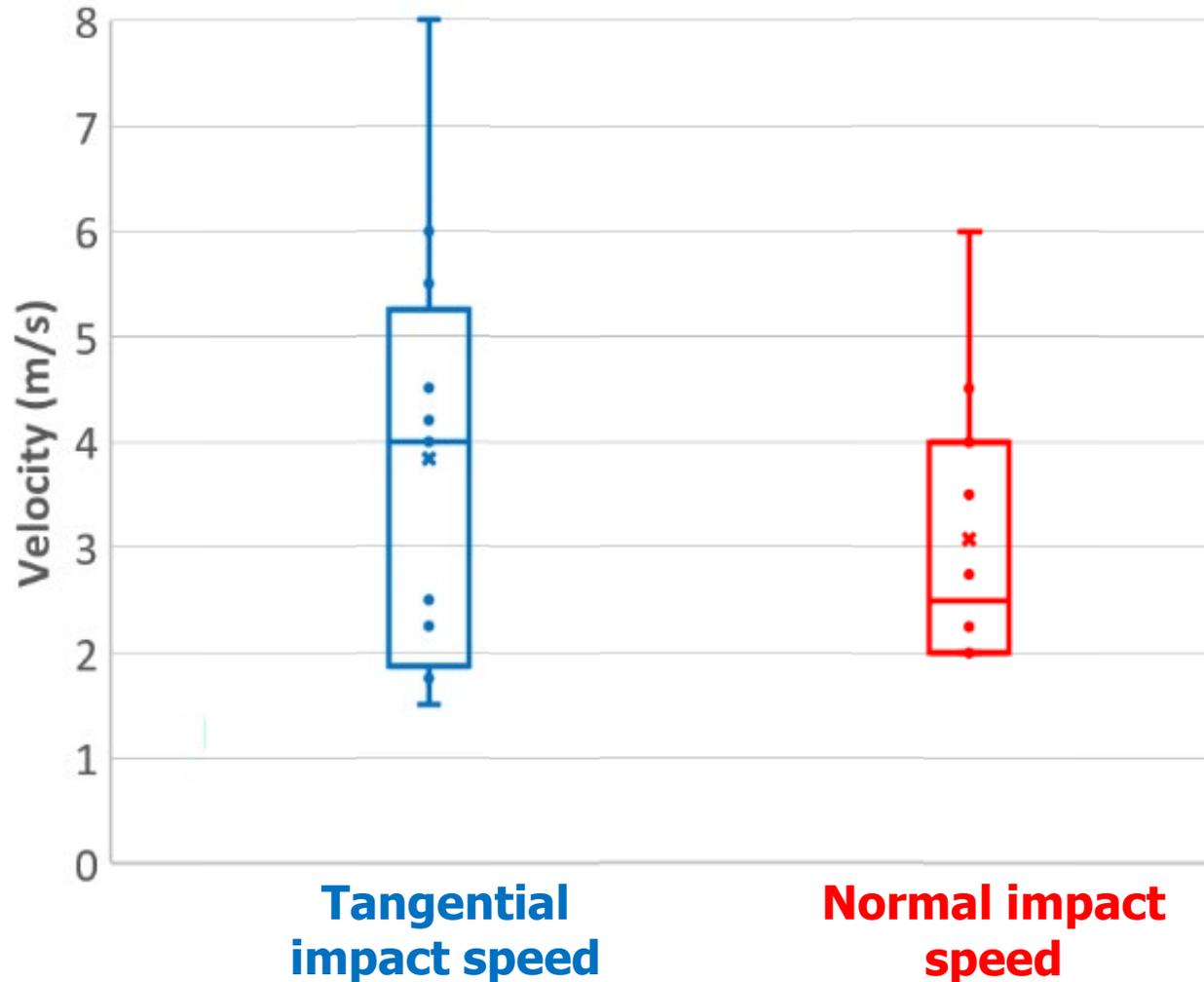


Accélération de la tête et  
effet du casque



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

## → Vitesse d'impact de la tête

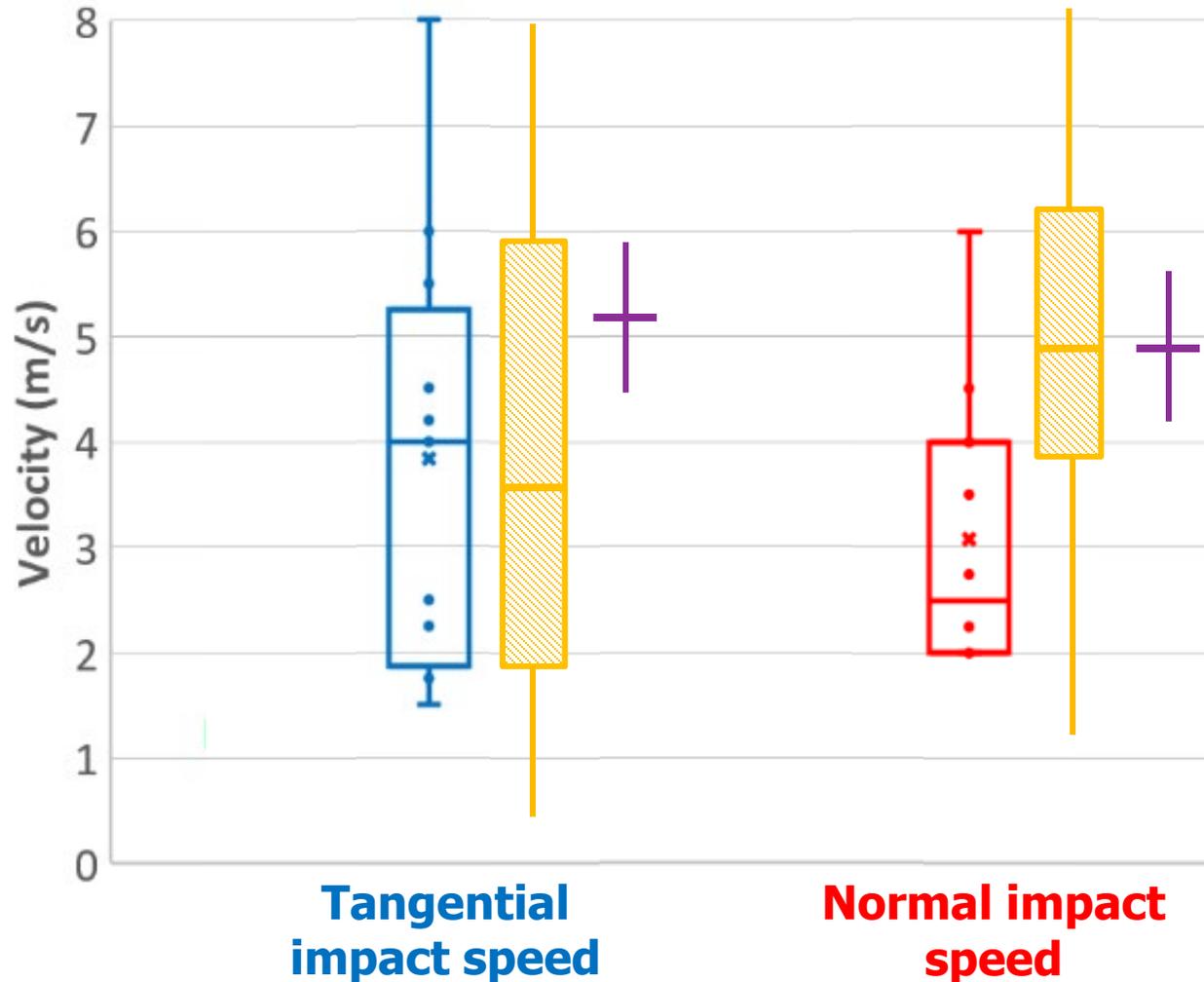


**Analyse vidéo de 12 chutes**

- 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

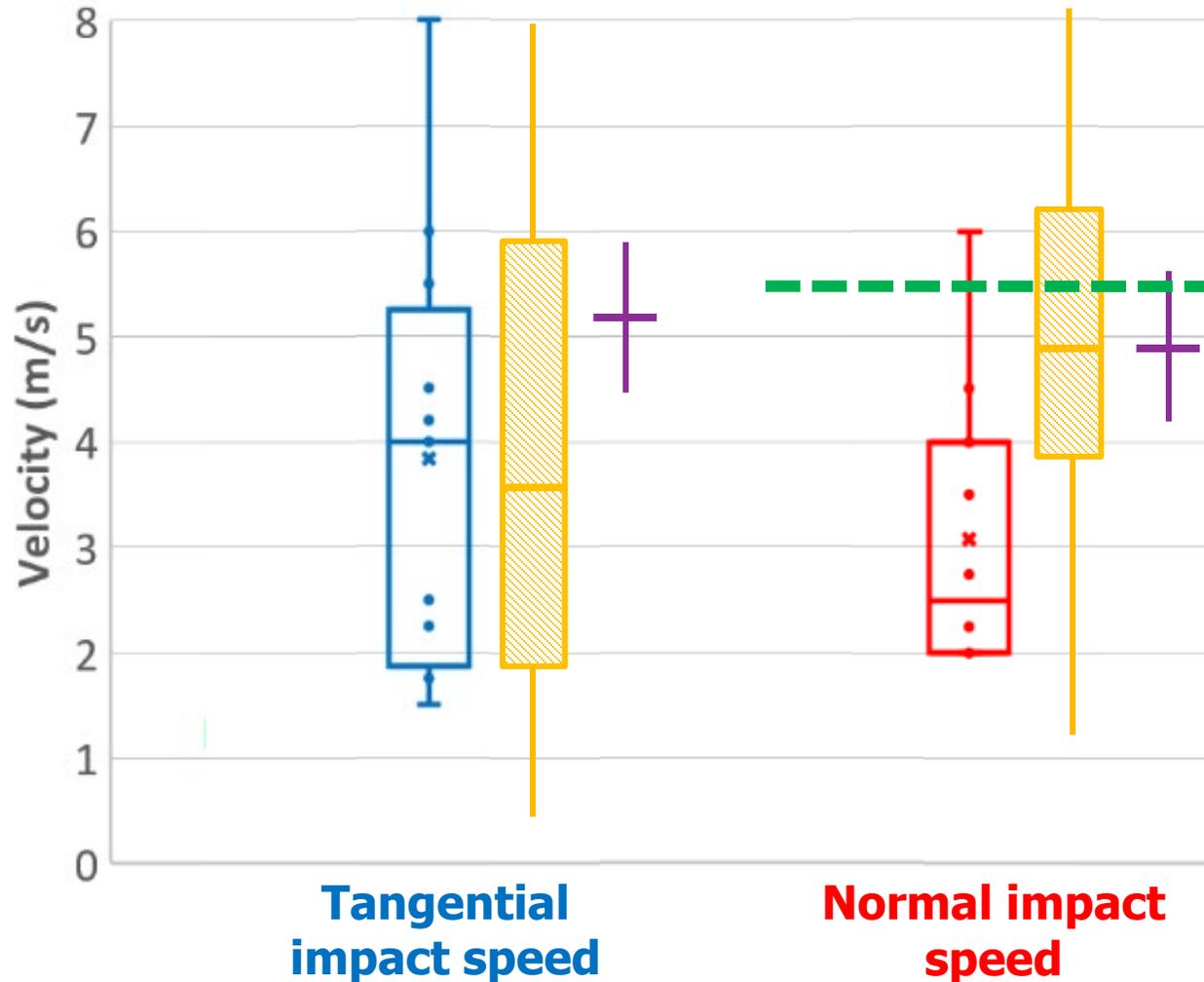


→ Impact speed in reconstruction  
= worst-case scenario  
= adequate for helmet evaluation

→ 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

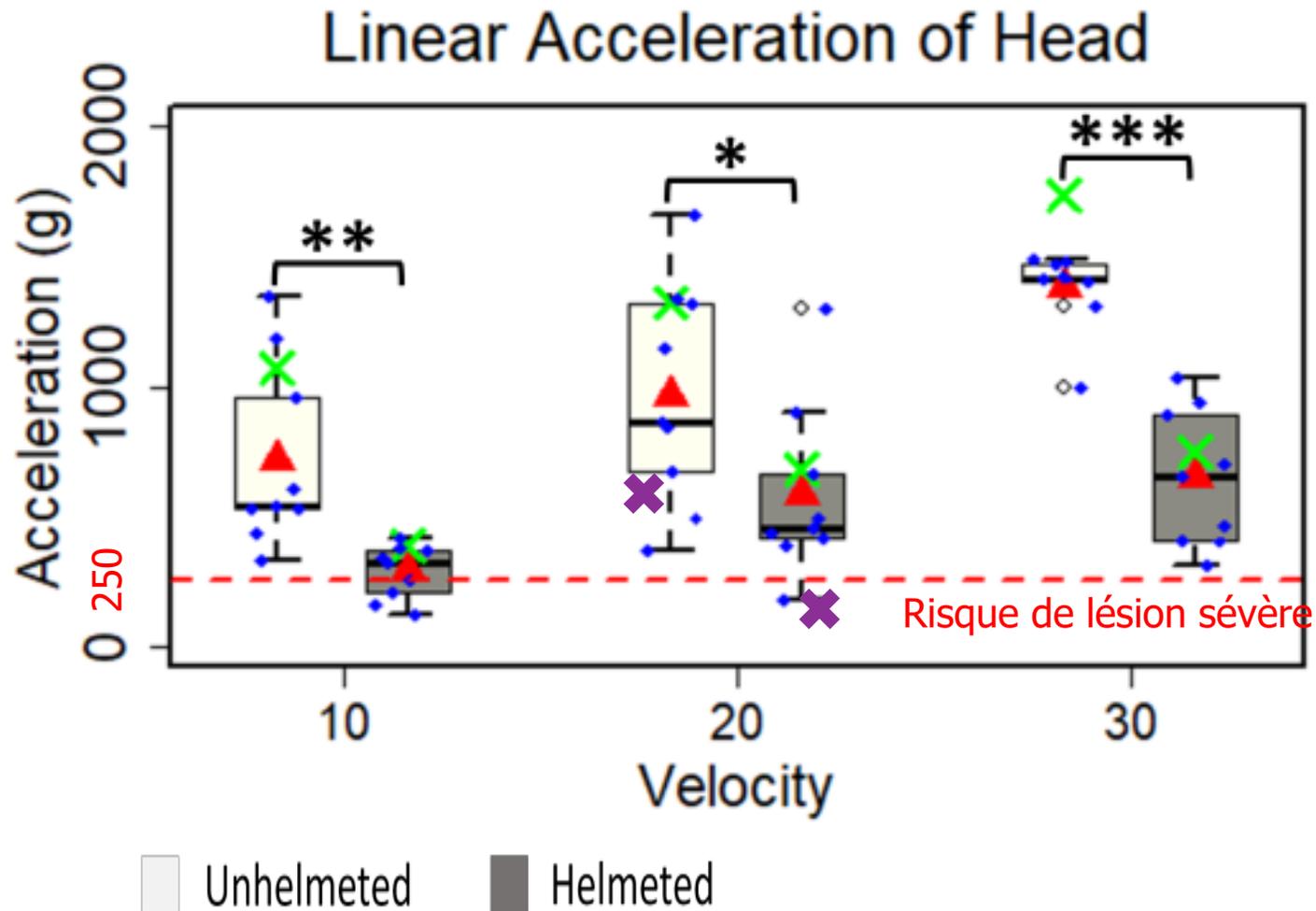


## Impact speed in helmet standard test:

- ✓ 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



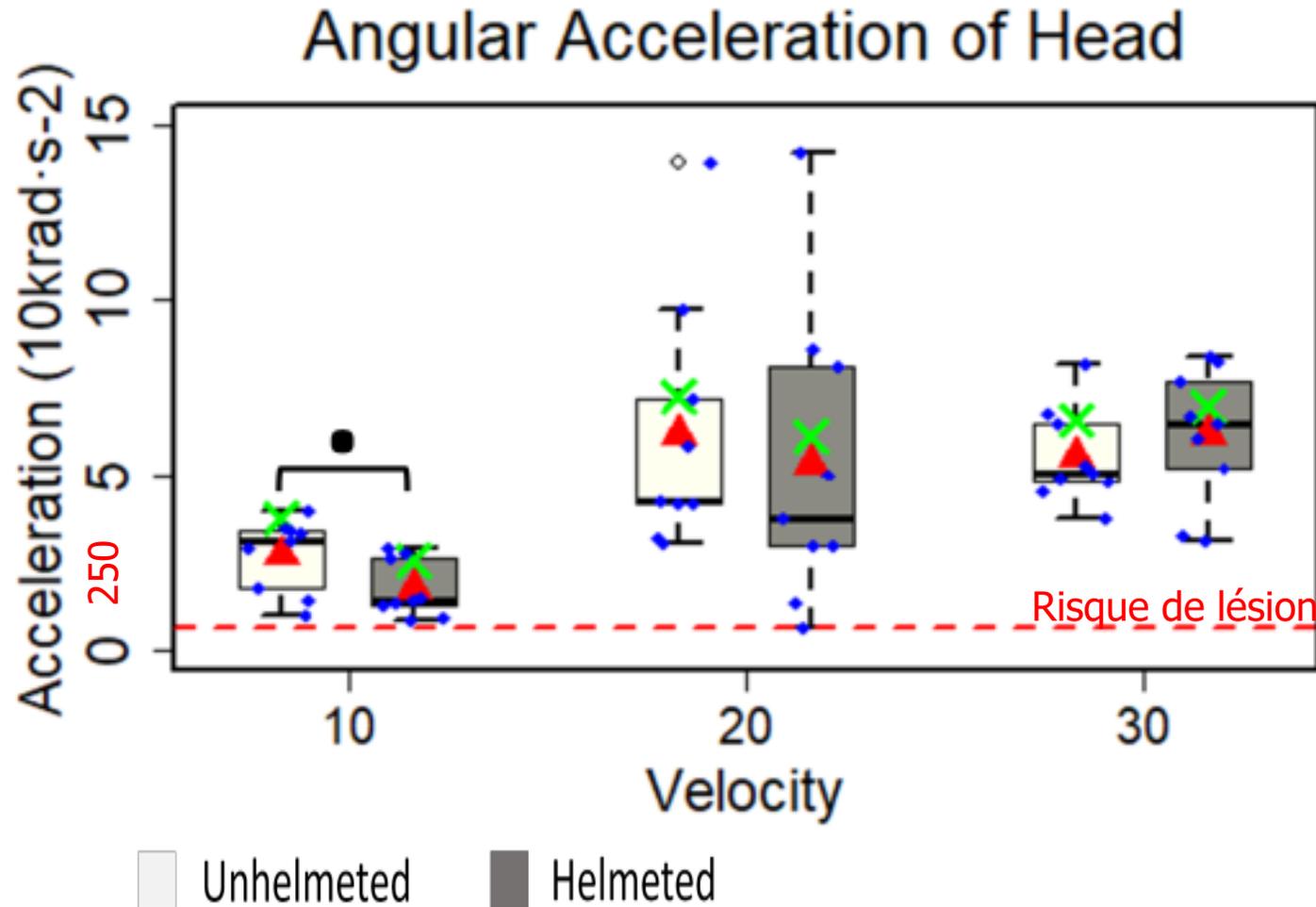
→ Risque important de lésions cérébrales

→ 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 :

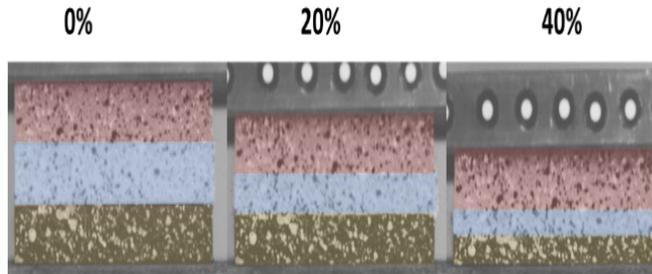
- ✓ Forte réduction de l'accélération linéaire
- ✗ Pas suffisamment pour toujours éviter un risque de lésion
- ✗ Pas de réduction de l'accélération rotationnelle



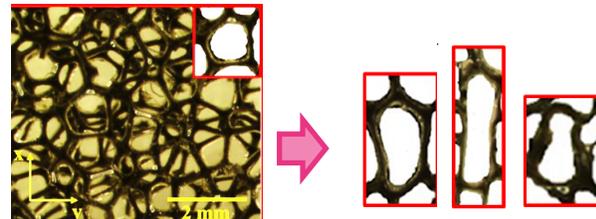
## → Vers de nouvelles protections

### → Améliorer / optimiser les casques

#### 1. Combiner / adapter les propriétés des mousses:

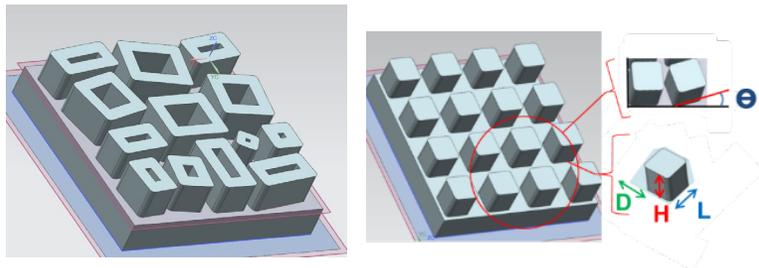


*Multi-matière*

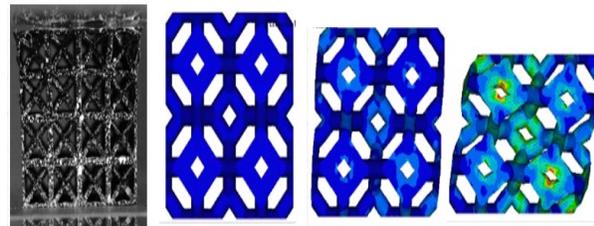


*Modification cellulaire : mousses auxétique*

#### 2. Optimiser la géométrie



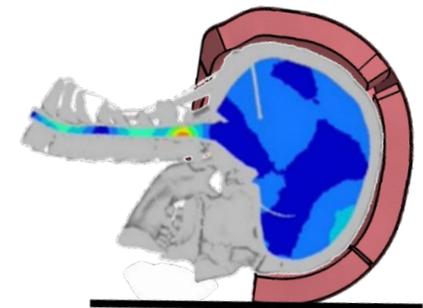
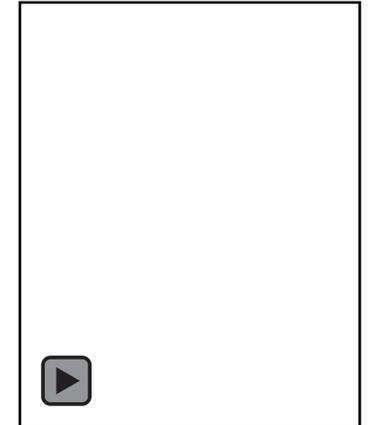
*Plots EPS-4D*



*Structures lattice viscoélastiques*



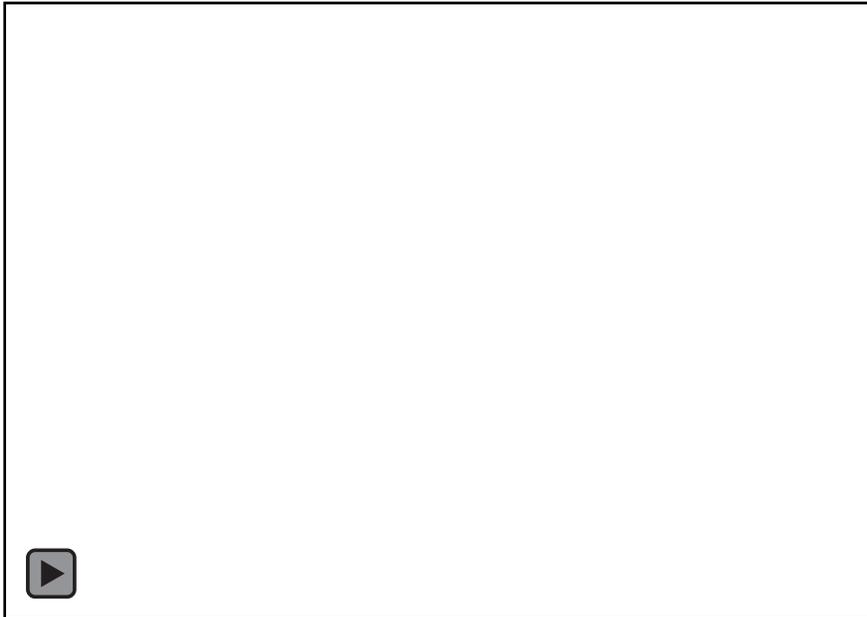
*Adaptés à la norme*



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

## → Vers de nouvelles protections

### → Développer des solutions airbags pour les usagers des modes doux



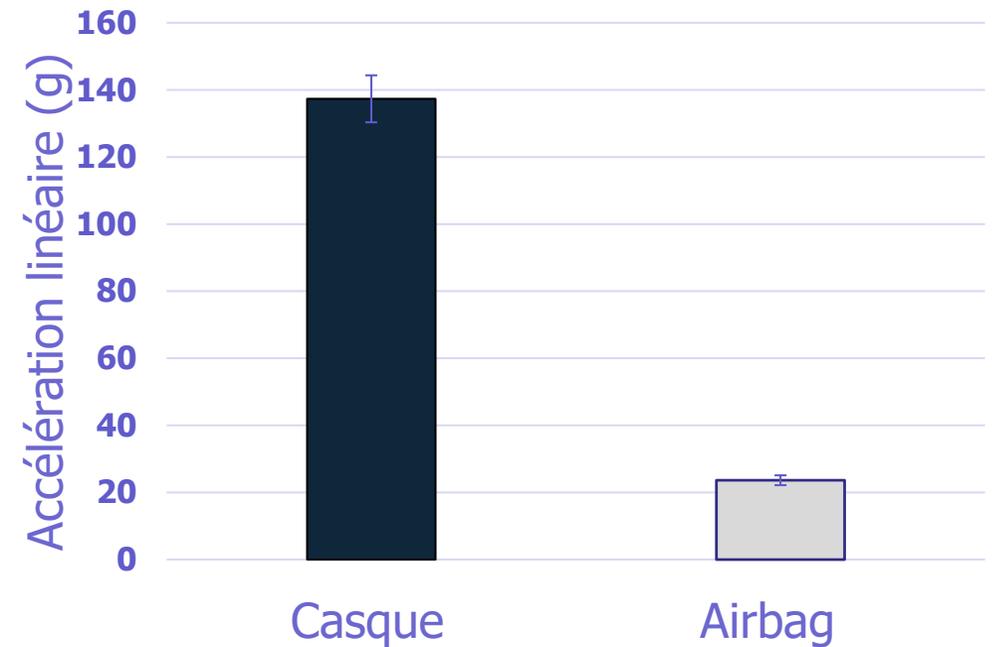
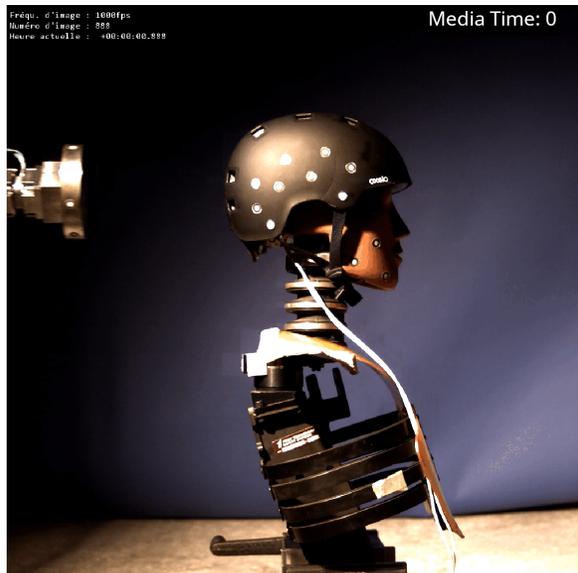
**STAN**  
in@motion  
A I R B A G



- 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

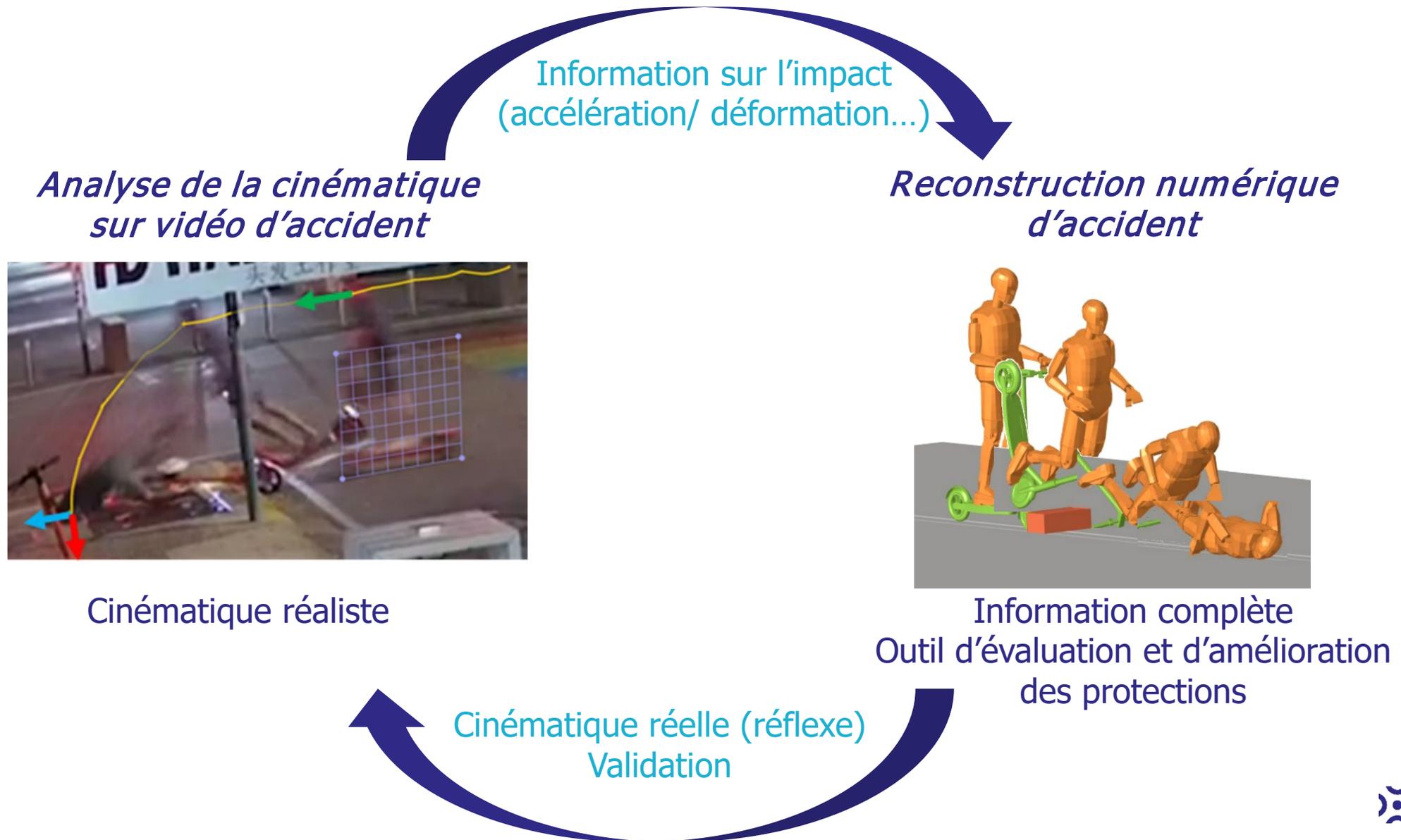


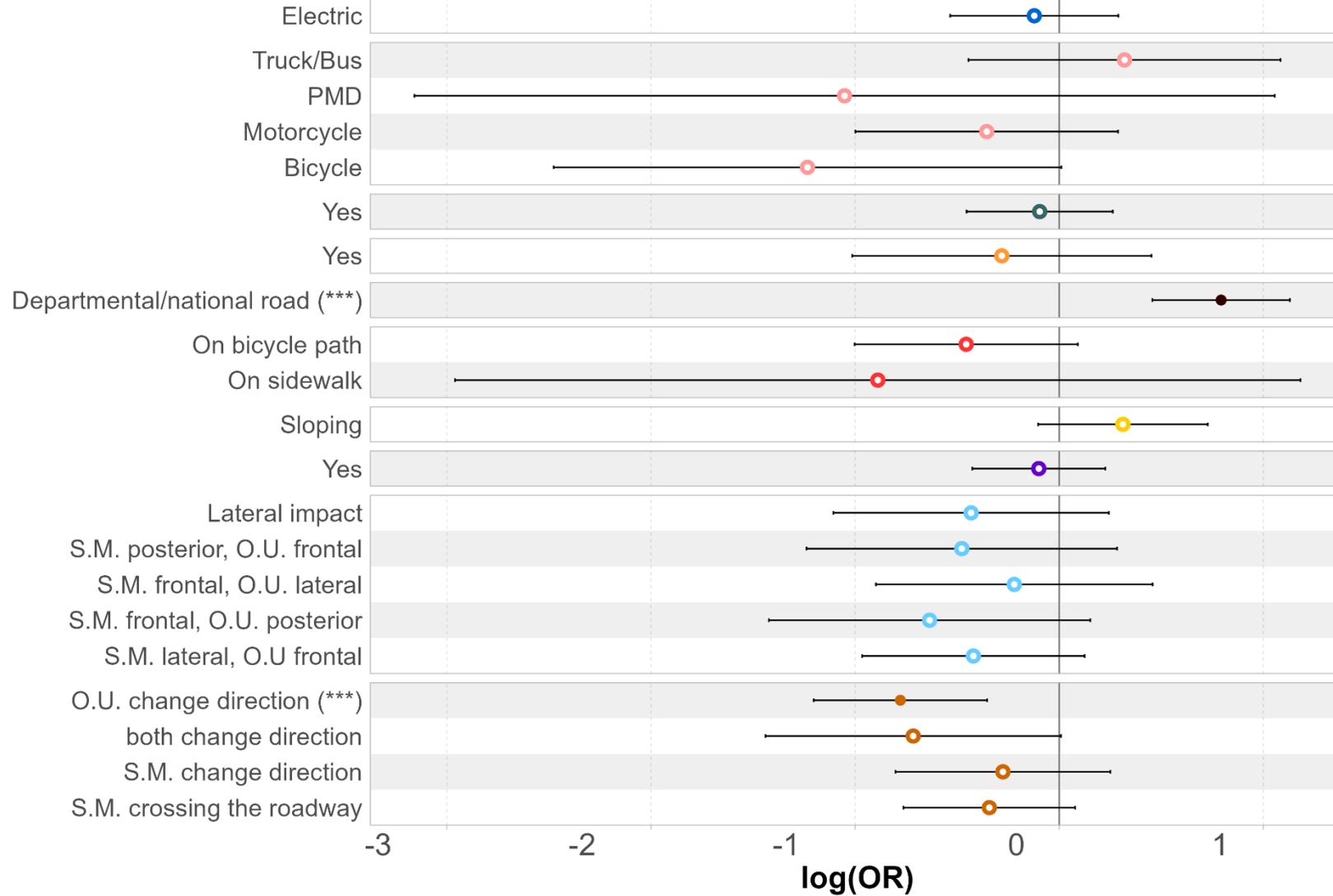
Oscar Cherta  
Phillippe Martins  
Valentin Honore



Andreas Schäuble

# Discussion : complémentarité des approches vidéo et modélisation





●  $p \leq 0.05$  ○  $p > 0.05$

