

18/06/25

Marianne Guesneau



Laboratoire de
Biomécanique
Appliquée
UMR T24



Airbag pour cyclistes et usagers de trottinettes

Séminaire MOSaR





Enjeux de la thèse



- **Développement fulgurant** de la pratique du vélo et de la trottinette associé à une forte accidentalité
 - Vélo +20% et trottinette +350% de mortalité en France entre 2019 et 2024¹
 - 8% de la mortalité sur les routes et 20% des blessés graves
- Le **casque**
 - Réduit le **risque de traumatisme crânien à vélo**²
 - Toutes les lésions ne sont pas protégées
 - Pas d'évaluation/normes spécifiques aux vélos électriques et trottinettes

L'airbag, avec un volume plus grand pour absorber l'énergie, pourrait être une solution prometteuse

1) Bilan 2024 de la sécurité routière | ONISR

2) Høye, 2018



L'émergence d'airbag pour cyclistes





Contexte général

Accidentologie

Conditions d'impact

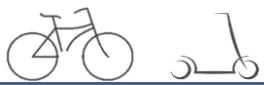
Evaluation airbag

Conclusion

L'émergence d'airbag pour cyclistes

INEmotion
AIRBAGS





Contexte général

Accidentologie

Conditions d'impact

Evaluation airbag

Conclusion

L'émergence d'airbag pour cyclistes

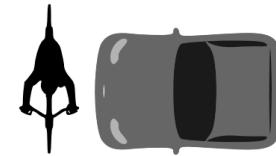


INEMOTION
AIRBAGS





Méthodologie



Accidentologie

Données épidémiologiques

Evaluer les protections



Seuils lésionnels,
critères de blessure



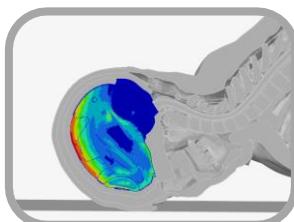
Mécanismes de blessure

Scénarios d'accidents



Conditions d'impact

Vitesses, zones du corps impactées (angles), surfaces d'impact





Contexte général

Accidentologie

Conditions d'impact

Evaluation airbag

Conclusion



Quelles zones du corps protéger en priorité en cas d'accident à vélo et à trottinette ?

Membre sup
(34-49%)



Tête (20-35%)

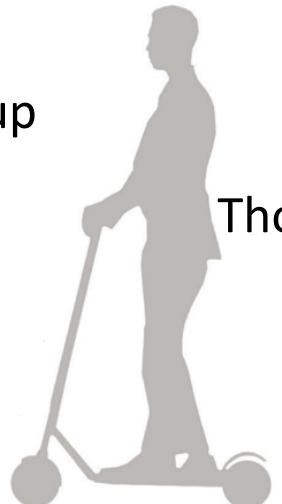
Thorax (4-17%)

Membre inf (29-42%)

Tête (20-24%)

Thorax (7-29%)

Membre sup
(45-58%)



Membre inf (22- 39%)

[Clough 2023]

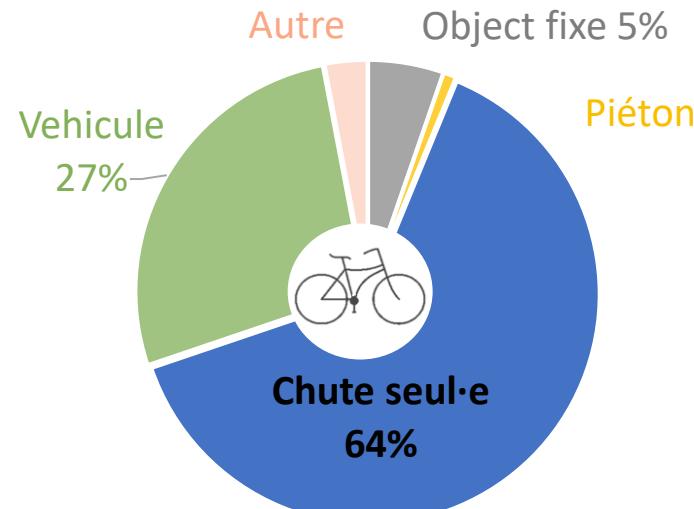
[Benhamed, 2022]

[Stray, 2022]

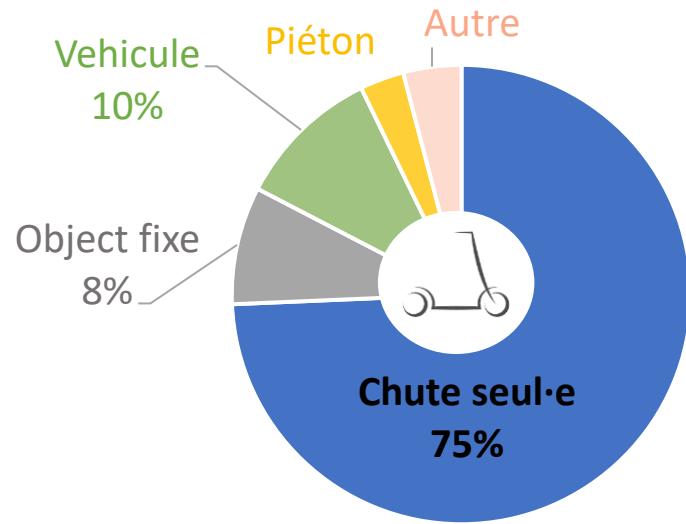
Les **lésions cérébrales** traumatiques sont la principale cause de décès pour trottinettistes et cyclistes. [James, 2023]



Quels scénarios d'accident sont à l'origine de ces blessures ?



[Billot, 2012]



[Singh, 2022]

- Collisions contre un véhicule antagoniste **7 fois plus mortelles** que les chutes seul·es [Billot, 2012]
- Manque de données sur les scénarios d'accidents précis à trottinette, en particulier avec des antagonistes



• Collisions avec antagonistes

- **Données** : bulletin d'analyse d'Accidents Corporels de la Circulation (BAAC) publié chaque année par l'ONISR
- **Méthode** : analyse des collisions de vélo et EDP (Engin de Déplacement Personnel) entre 2019 et 2021
 - Comparaison générale de l'accidentologie à vélo et EDP
 - Facteurs influençant sur la sévérité des collisions → régression logistique
 - Analyse des principaux scénarios de collision

- **Résultats** : 16 302 vélos et 4 118 EDP →

	Vélos	EDP
	Antagoniste	75% voiture
	Hors-agglomération	15%
	Port du casque	46%
	Age moyen	40 ans
		74% voiture
		2%
		28%
		30 ans



Contexte général

Accidentologie

Conditions d'impact

Evaluation airbag

Conclusion

• Facteurs affectant la sévérité des blessures

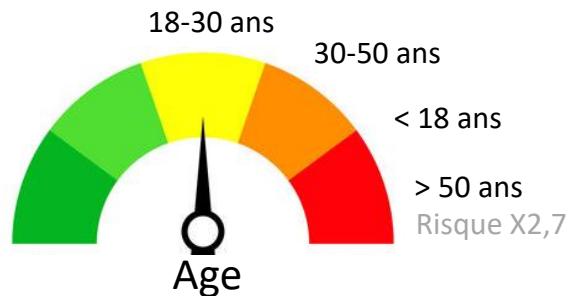
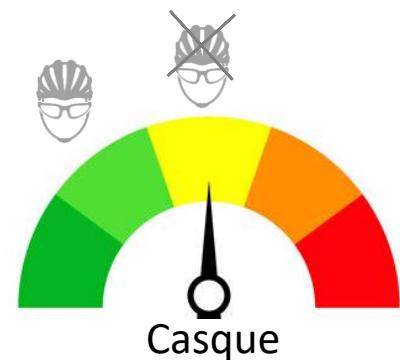
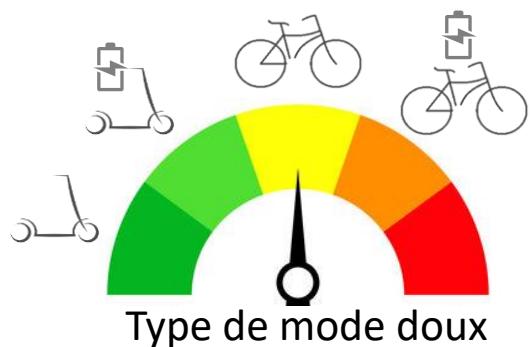
Régression logistique multivariée :

Référence



non hospitalisés &
indemnés

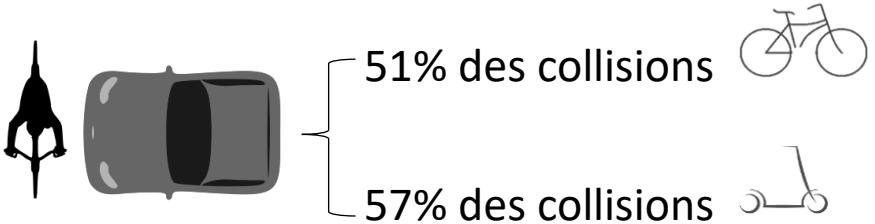
blessés hospitalisés
& tués



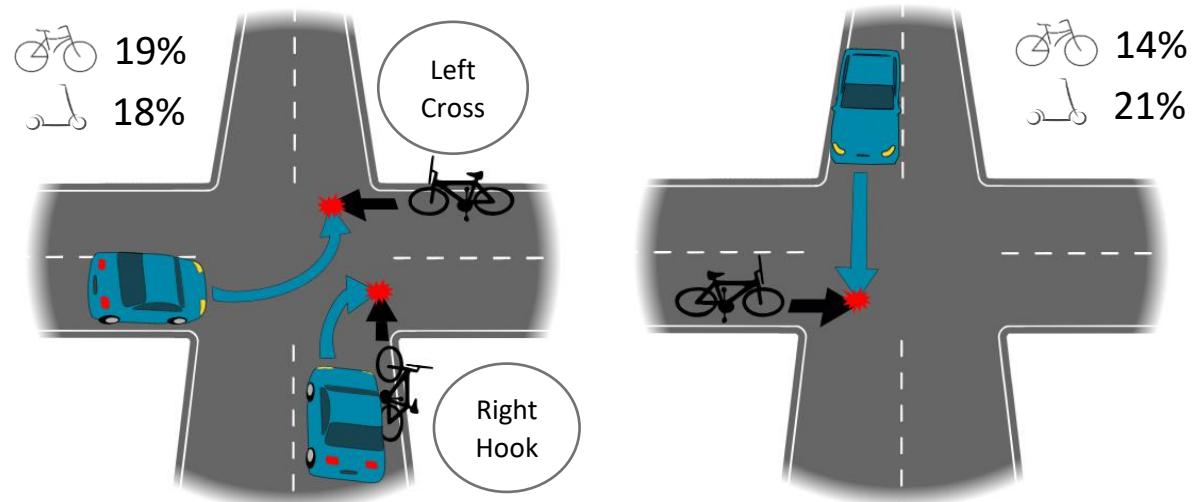


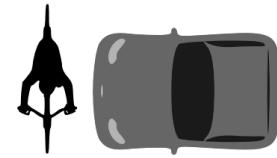
• Scénarios de collisions

- Impact le plus fréquent : latéro-frontal



- 2 principaux scénarios de collision





Données épidémiologiques

Accidentologie



Evaluer les protections



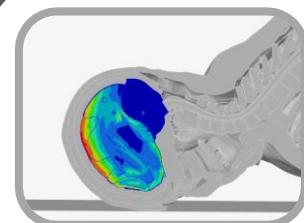
Seuils lésionnels,
critères de blessure

Scénarios d'accidents



Conditions d'impact

Vitesses, zones du corps impactées (angles), surfaces d'impact



Mécanismes de blessure



Etude paramétrique

2544 collisions trottinette/voiture et vélo/voiture

Paramètres d'entrée

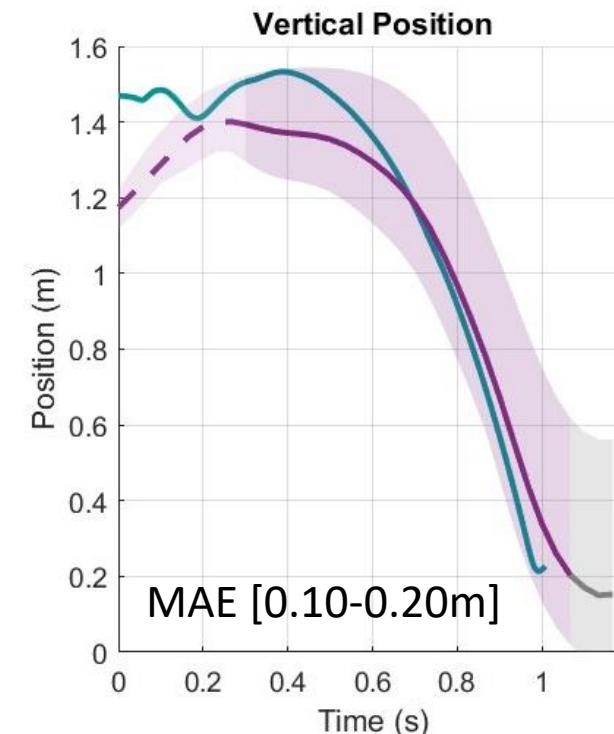
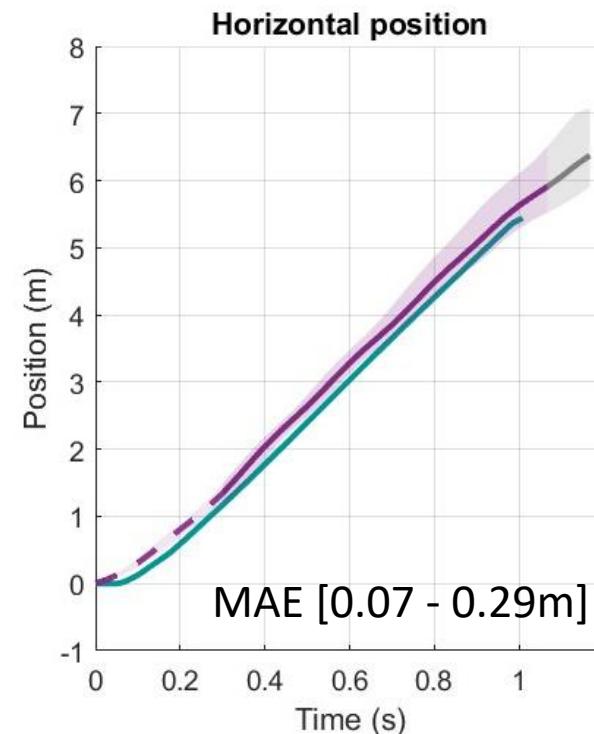
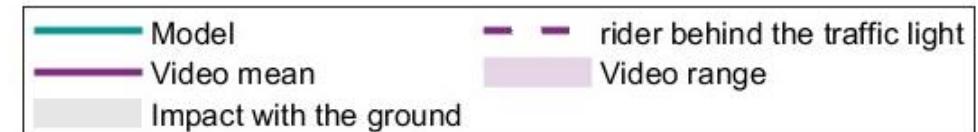
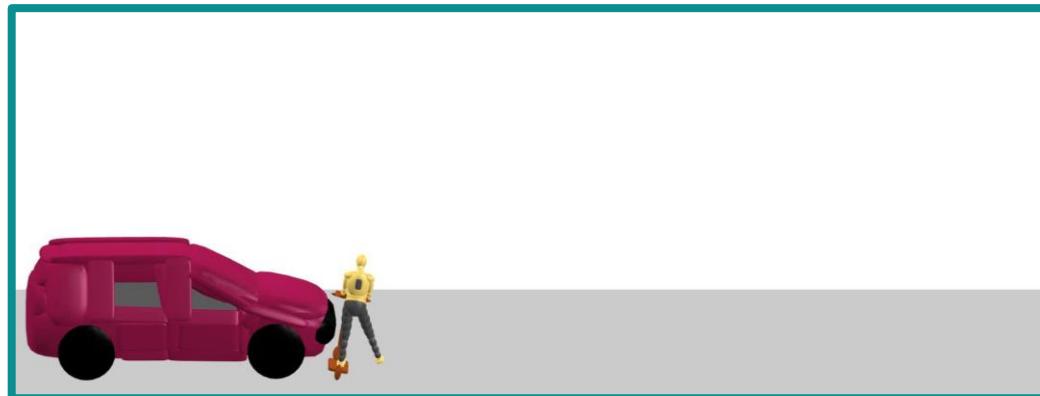
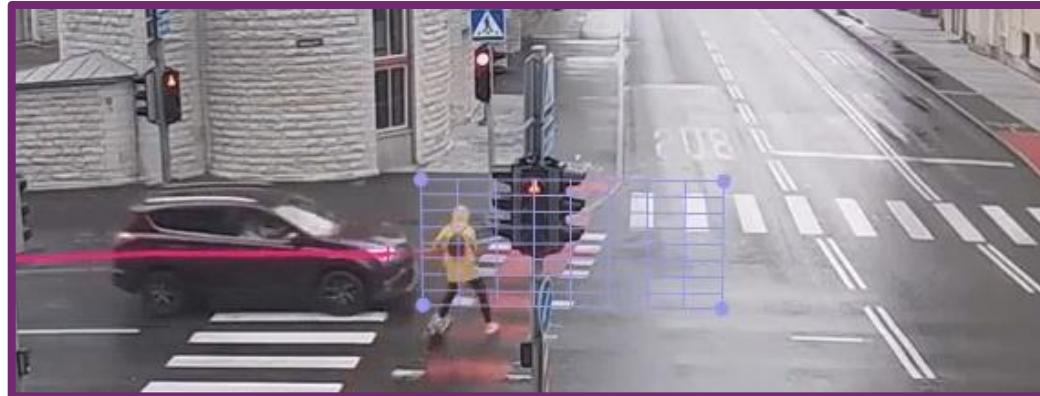
- Vitesse de la trottinette (0, 15km/h, 25km/h)
- Vitesse de la voiture (0, 25km/h, 50km/h)
- Localisation de l'impact sur voiture (avant, phare avant, côté)
- Angle (-90°, -60°, -30°, 0°, 30°, 60°, 90°)
- Freinage de la voiture (sans freinage, -8 m/s²)
- Taille de l'humain (5^{ème} perc. femme, 50^{ème} perc. homme, 95^{ème} perc. homme)
- Voiture (Megane, RAV4)

	-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°
Impact avant							
Impact phare							
Impact côté							





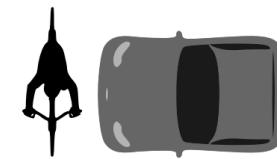
• Validation des modèles multicorps



Cinématique globale respectée → modèle validé (6 reconstructions en tout)



Méthodologie



Données épidémiologiques

Accidentologie



Evaluer les protections



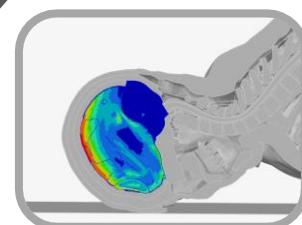
Seuils lésionnels,
critères de blessure

Scénarios d'accidents



Conditions d'impact

Vitesses, zones du corps impactées (angles), surfaces d'impact



Mécanismes de blessure



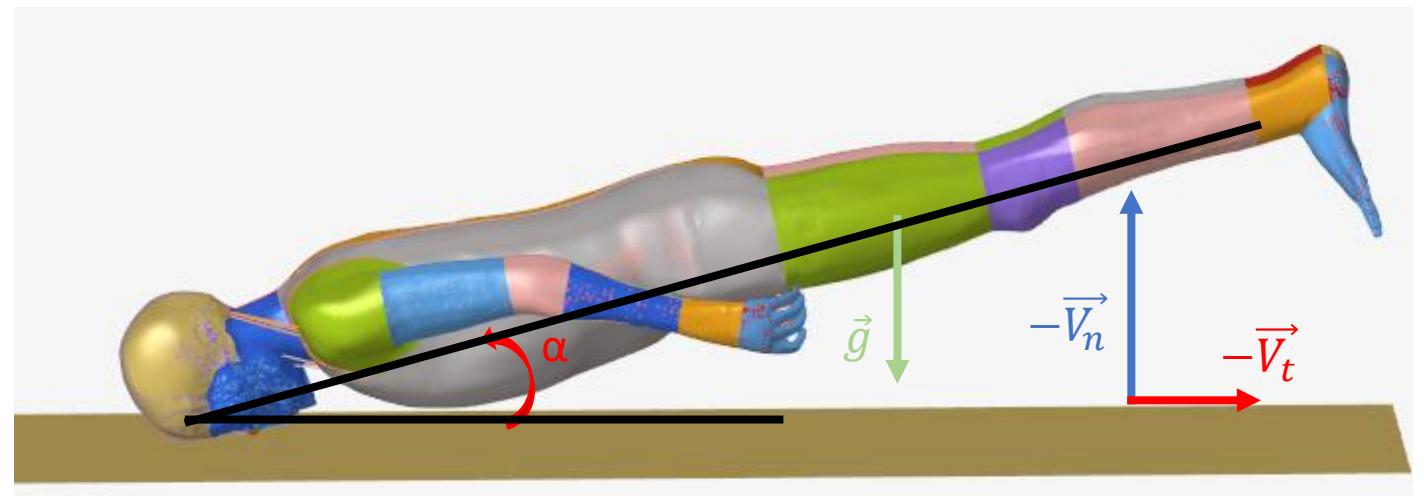
Simulation éléments finis

D'après les résultats de Bailly et al. (2025), Bourdet et al. (2012), Fournier et al. (2024) et Wei et al. (2023) on choisit :

- Impact typique à vélo ou trottinette : chute contre trottoir
- Impact tête / sol au niveau du front
- Sans protection, avec casque, avec airbag, avec casque et airbag



$$\begin{aligned}V_n &= 5.2 \text{ m/s} \\V_t &= 3.7 \text{ m/s} \\\alpha &= 11^\circ \\g &= 9.81 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

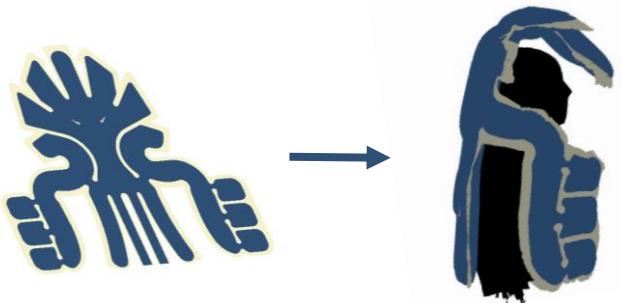




Quels sont les risques de blessures à la tête, au cou et au tronc lors d'impacts typiques à trottinette ou vélo ?

Méthodologie

1. Développer et valider un modèle éléments finis de l'airbag STAN



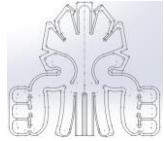
2. Conduire une étude paramétrique afin d'analyser le risque de blessure

- Sans protection
- Avec casque
- Avec airbag
- Avec casque et airbag





Développer le modèle éléments finis de l'airbag



1. Patron à plat de l'airbag



2. Diviser la géometrie en plusieurs parties et mailler



3. Pliage géométrique



4. Coudre les différentes parties ensemble



5. Gonflage autour d'un modèle humain



6. Importer la géométrie gonflée puis donner une pression constante





Contexte général

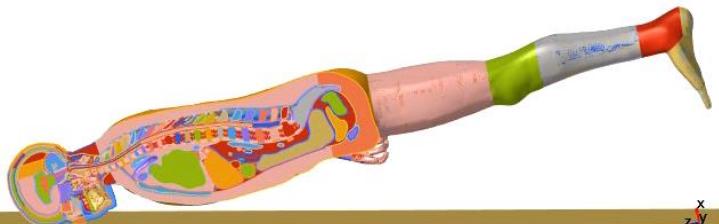
Accidentologie

Conditions d'impact

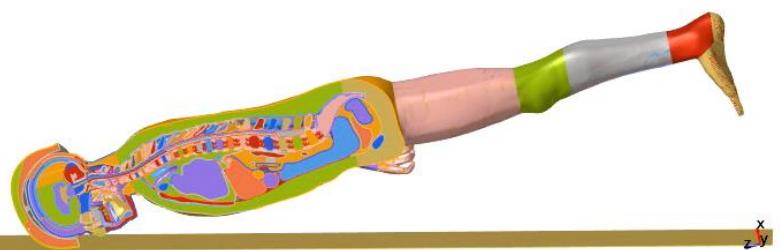
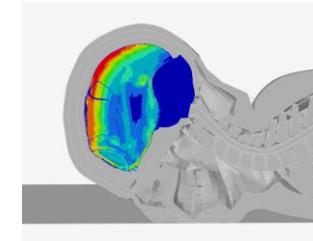
Evaluation airbag

Conclusion

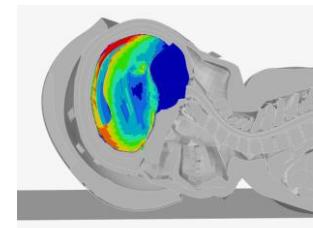
Comparer les types de protection



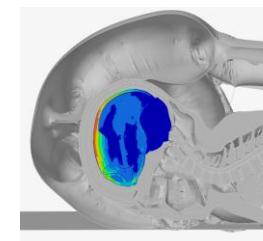
Pas de protection



Avec un casque



Avec l'airbag



Résultats à suivre...



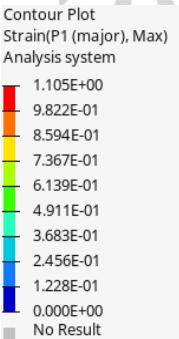
Contexte général

Accidentologie

Conditions d'impact

Evaluation airbag

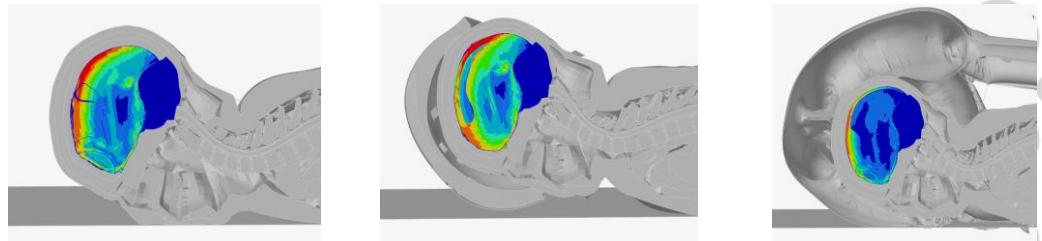
Conclusion



Perspectives :

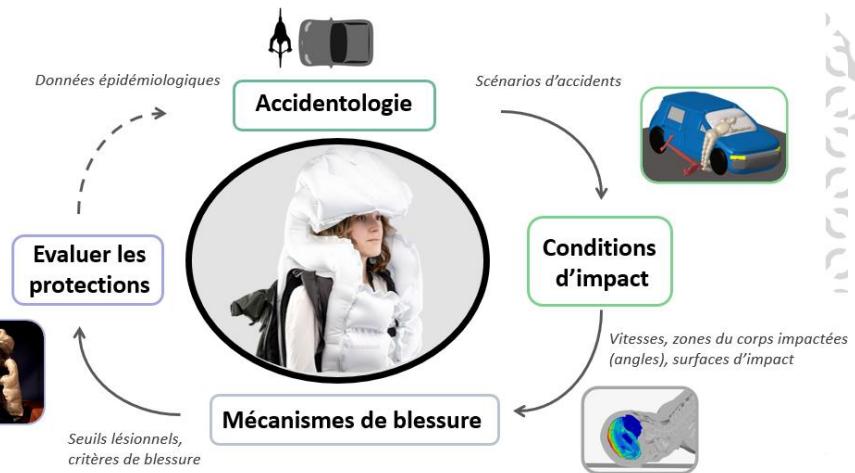
Analyse paramétrique en faisant varier :

- o la pression de l'airbag
- o les localisations d'impact (avant, arrière, côté)
- o les vitesses d'impact
- o les angles d'impacts
- o les surfaces impactées



Conclusion

En partant de la compréhension des accidents de l'échelle macroscopique à l'échelle des organes humains, on peut évaluer l'airbag dans des conditions réalistes, et proposer des pistes d'améliorations





Impacts postérieurs



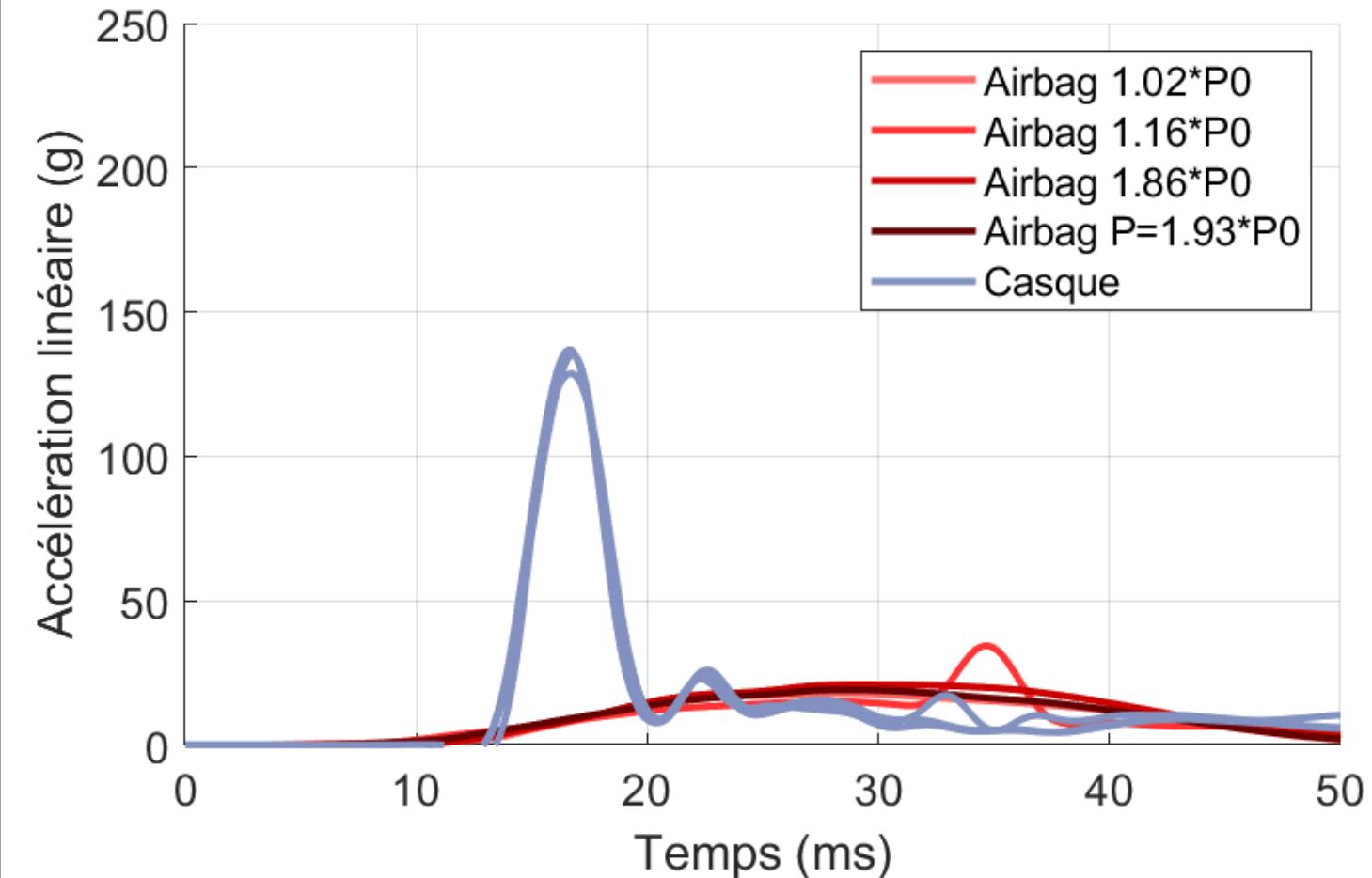
Bonne répétabilité des conditions avec casque et avec airbag



Réduction de 82% du pic d'accélération linéaire avec airbag



Accélération linéaire de la tête pour un impact postérieur à 5.4m





Contexte général

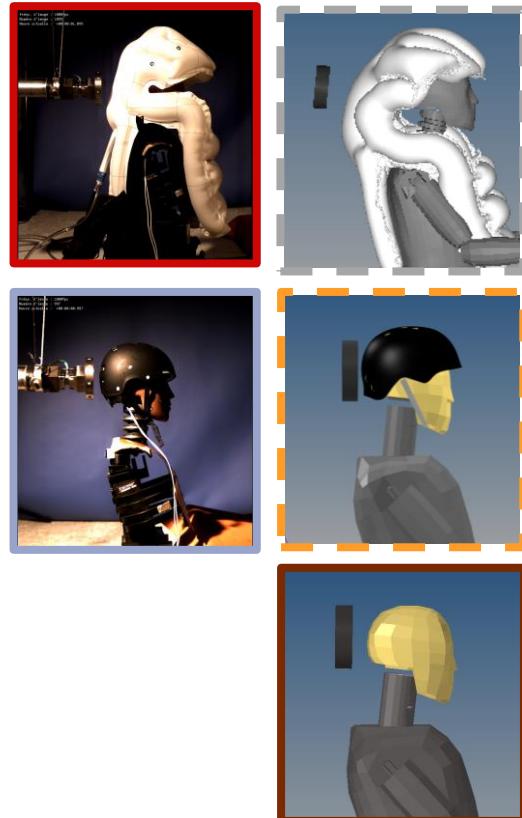
Accidentologie

Conditions d'impact

Evaluation airbag

Conclusion

Et sans casque ?



Accélération linéaire de la tête pour un impact postérieur

