# Sécurité des usagers de la route de la route et conduite automatisée

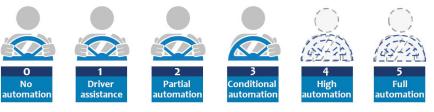
Journée d'échanges sur les enjeux sécurité routière de la conduite automatisée Évaluation des risques potentiels liés à de nouvelles postures pour les occupants de véhicules autonomes

Cyrille Grébonval, Xuguang Wang, Philippe Beillas (Univ. Eiffel) Philippe Petit, Xavier Trosseille (LAB) David Poulard, Pascal Baudrit (CEESAR)



# CONTEXTE

- Véhicules actuels s'automatisent de plus en plus
  - Différents niveaux d'automatisation (SAE J3016 standard, SAE International 2016)



- Accidents toujours présents malgré l'automatisation
- Opportunité: plus de liberté pouvant induire nouvelles activités (travail, repos, etc.)
- Risque: moyens de retenue actuels inadaptés
  - Comment évaluer le risque ? Positions plus critiques que d'autres ?
  - Réglementation actuelle: Mannequins de choc
    - Validés pour des directions d'impact spécifiques (ex: frontale, latérale)
    - Difficulté de positionnement
    - Validité critères lésionnels
    - → Peu adaptés pour ces configurations inédites ?



Exemples de concepts (Renault ; ZF ; Yanfeng; Tesla)



Mannequins de choc humanetics.humaneticsgroup.com



# CONTEXTE ET OBJECTIFS

- Modèles humain permettent d'évaluer la cinématique/risque lésionnel
  - Modèles développés et validés en position de conduite
  - Repositionnement possible. Procédure ?
  - Risque de lésion estimé via critères lésionnels (ex : basés sur déformations tissus)
  - Validation modèle après repositionnement ?
    - Essais de références sur sujets d'anatomie en cours (NHTSA, Enop, Autoliv Research)



Modèle GHBMC M50-O www.elemance.com



Modèles numériques repositionnés

## Objectifs:

- Méthodologie d'évaluation de la sécurité basée sur la simulation et les modèles humains
- Identifier les risques et opportunités (scénario), en termes de protection de l'occupant

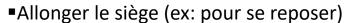


# REVUE DES POSTURES LIVRABLES SURCA 2.6 & 7.1

- Quelle nouvelles activités ? Revue de littérature
  - Pas de véhicules réels 
     Diverses sources pour essayer d'anticiper
  - Évolution rapide

#### Résultats

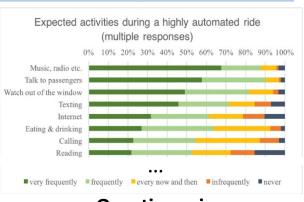
- Plus d'activités (ex: discuter, se reposer) que d'aménagements et postures quantifiées (Livrable SURCA 2.6)
- Evolution de l'habitacle pour s'adapter à ces activités ?
- Quelques scénarios listés à explorer (Livrable SURCA 7.1)
  - Pivoter siège (ex: pour discuter, travailler)







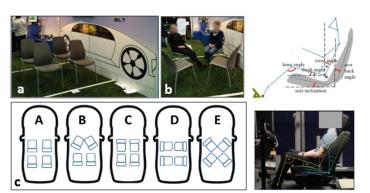




Questionnaires (ex: Pfleging et al. 2016)



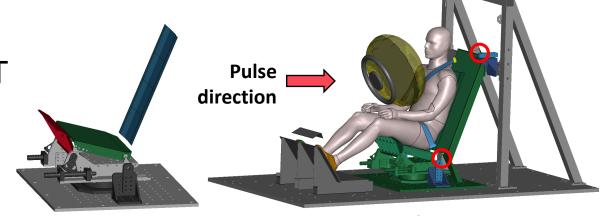
Observations (train, bus, etc.) (ex: Kamp et al. 2011)



Etudes volontaires (ex: Jorlov et al. 2016; Yang et al. 2018)

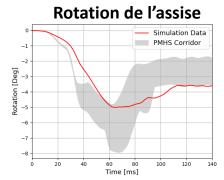
# MÉTHODOLOGIE Modèles d'occupant et de cockpit

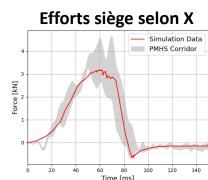
 Utilisation d'un modèle détaillé homme 50<sup>ile</sup> (GHBMC M50-O)

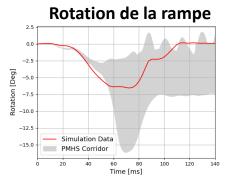


Modèle de cockpit SURCA

- Cockpit générique (Livrable SURCA 7.2)
  - Siège semi-rigide (LAB), airbag, ceinture 3pt + prétensionneurs et limiteurs
  - Fonctions proches des sièges automobiles actuel (Uriot et al. 2015)
  - Licence Open Source
- Evaluation du modèle de cockpit via comparaison à des essais sur sujets d'anatomie (Trosseille et al. 2019)
  - Environnement similaire (siège semi-rigide, airbag pré-gonflé, ceinture 3pts)
  - Cockpit jugé satisfaisant dans sa configuration standard











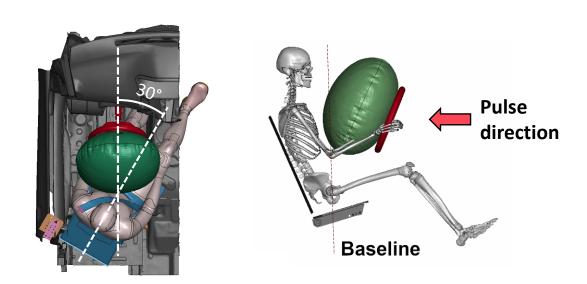
# CAS N°1: PIVOTEMENT DU SIÈGE (SAE 2020)

## MÉTHODOLOGIE

- Rotation des sièges limitée à une 20<sup>aine</sup> de degrés dans les véhicules actuels (ex: Levallois et al. 2019)
  - Etudes précédentes focalisées sur angles de rotation avec incrément important (ex: Kitagawa et al. 2017)
  - Environnements utilisés n'incluaient pas d'airbag
  - Focalisées sur la cinématique de l'occupant, sans analyse lésionnelle



- Etude SURCA focalisée sur faibles angles de rotation
  - 4 angles de rotation analysés (0, 10, 20, et 30°)



## 3 postures d'occupant

Sedan driver	VAN driver	Laptop user

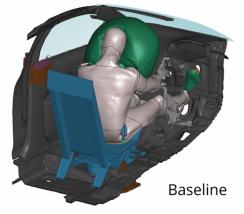




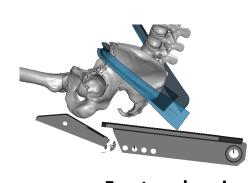
# Cas n°1: Pivotement du siège

## RÉSULTATS

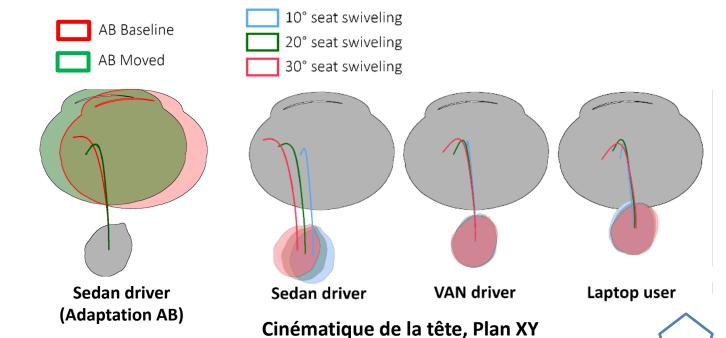
- Effets visibles de l'angle et de la posture
  - Excursion latérale (ex: tête)
  - Risque lésionnel (ex: pelvis)
- Simples contremesures semblent limiter les effets
  - Position airbag
  - Support latéraux bassin
- Conclusions
  - Semble peu critique



Excursion maximale de l'occupant (Pulse #1, t=112ms)



Fracture bassin (Rot. 30°, Pulse #2, t=80ms)

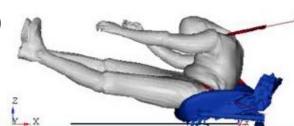


(Pulse #2, tmax=95ms)

# Cas n°2: Inclinaison du siège

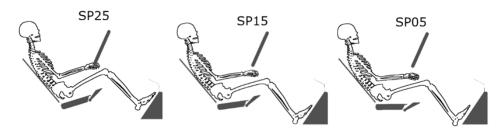
## MÉTHODOLOGIE

- Études précédentes focalisées sur l'angle dossier (20, 40, 60°) (ex: Boyle et al. 2019)
  - Angle d'assise fixé (15 degrés)
  - Risque de sous marinage (i.e. la ceinture bassin glisse au-dessus du pelvis)
  - Risque de lésion accru (ex: lésion abdominale, chargement lombaire, retenue thorax)

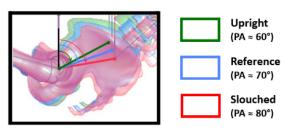


#### Questions

- Est il possible de simplement incliner le dossier en conservant les mêmes moyens de retenue ?
- Quels sont les cas les plus critiques ? A partir de quels seuils ?
- Étude exploratoire SURCA focalisée sur angles bassin et assise
  - Dossier initialement fixé à 40°
  - 3 angles d'assise (basé sur Theodorakos et al. 2019)



3 angles bassin (basé sur Reed et Ebert 2018)

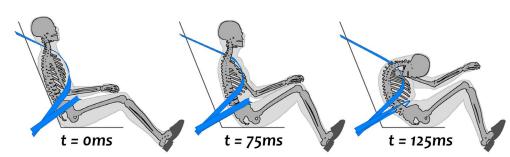




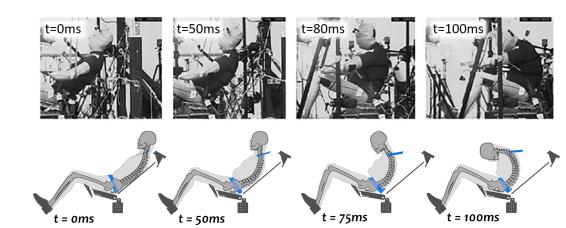
# Cas n°2: Inclinaison du siège

## VÉRIFICATION MODÈLE HUMAIN

- Evaluation en condition de sous-marinage, en position standard (Luet et al. 2012)
  - Siège rigide (SB=22°; SP=0°) Sous-marinage 3/3
  - Réponse du modèle proche des résultats expérimentaux (cinématique et analyse des efforts de retenue)



- Evaluation en condition de siège incliné (Richardson et al. 2020)
  - Siège semi-rigide (SB=50°; SP=15°) Sous-marinage 1/5
  - Réponse du modèle proche des résultats expérimentaux (cinématique et analyse des efforts de retenue)



#### Conclusions

- Vérifications modèle encourageantes
- Données additionnelles prochainement (NHTSA, ENOP)



Cas 2 - Inclinaison **Simulation** Revue posture Méthode Cas 1 - Pivotement **Expérimentation** 

# Cas n°2: Inclinaison du siège

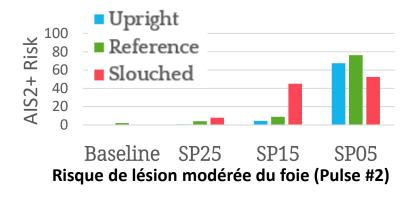
## RÉSULTATS

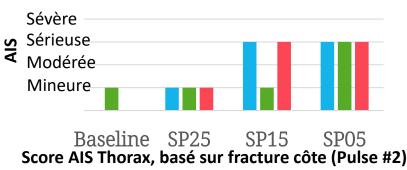
- Effets sur cinématique (=sous marinage) et risque lésionnel
  - Position occupant + Angle assise + Sévérité décélération
  - Lésions abdominales, augmentation chargement lombaires, fractures de côte (mal capturées par les critères mannequin de choc)

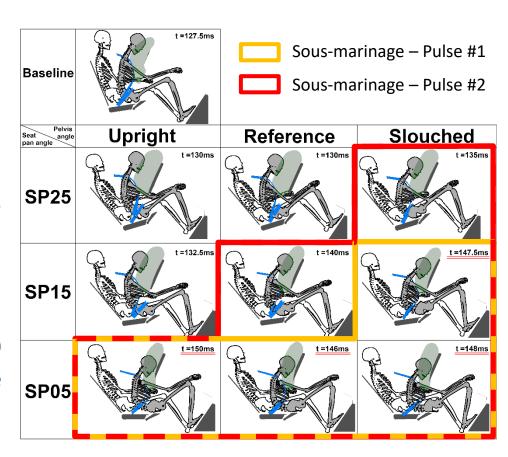
## Conclusions

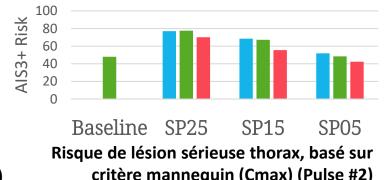
- Modèle sensible, potentiellement discriminant
- Moyens de protection initiaux insuffisants (pré-tension bassin, épaule)
- Incliner le dossier doit s'accompagner de mesures de retenue spécifiques (ex: rotation assise, double pré-tension ventrale)

## → Grébonval et al. (2021), Soumis à PlOs One













Revue posture Méthode Cas 1 - Pivotement Cas 2 - Inclinaison **Simulation Expérimentation** 

**SP45** 

# Cas n°2: Inclinaison du siège

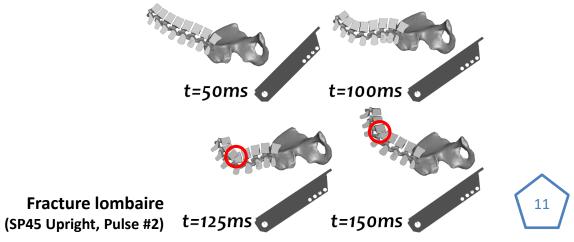
## RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES

- Analyse de la réponse de l'occupant en position *Highly Reclined* (SB=60°)
  - Assise: 25, 35, 45°; Bassin: 80, 90, 100°
- risque lésionnel

#### t=138ms t=133ms t=131ms Effets très importants sur la cinématique et le **SP35** t=165ms t=153ms t=135ms Risque de lésions thoracique et abdominales SP25 (sous-marinage) Risque de fracture lombaire (non sous-marinage)

### Conclusions

- Configurations semblent critiques avec les moyens de protection choisis (ex: sous marinage, fracture lombaire)
- Incliner fortement le dossier nécessite des systèmes de retenue différents



Baseline w/o AB

t=135ms

Sous-marinage – Pulse #2

t=135ms

Upright

Fracture lombaire – Pulse #2

Reference

t=130ms

t=135ms

**Slouched** 

# CAS N°2 : INCLINAISON DU SIÈGE CONCLUSION ET TRAVAUX EN COURS

### Conclusion

- Incliner modérément le dossier (SB=40°) doit s'accompagner de mesure de retenue spécifiques
  - Ex: incliner l'assise pour limiter le sous-marinage
- Incliner fortement le dossier (SB=60°) nécessite des systèmes de retenue différents
  - Ex: risque sous marinage, fracture lombaire → Innovation des systèmes de retenue requise

## Travaux complémentaires

- 1) Validation approfondie modèle humain en position semi-allongée
- 2) Approfondissement critères lésionnels (ex: colonne lombaire)
- 3) Raffinement de la définition des postures en position semi-allongée
  - Posture initiale de l'occupant impacte la réponse (ex: angle bassin)
  - Besoin de données ergonomiques

Nécessite des données expérimentales additionnelles (essais sujet d'anatomie)

# ÉTUDE EXPÉRIMENTALE OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

## Objectifs

- Quantifier la posture des occupants en position semi-allongée, avec variation des angles assise et dossier
- Réaliser un prédicteur de posture

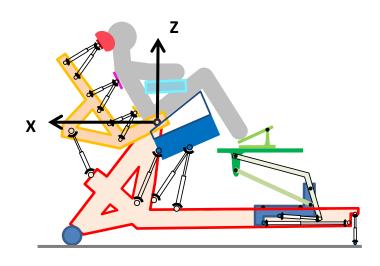
## Méthodologie

- Quantification de la posture (semi-allongée) via caméra Vicon, repositionnement bassin via palpation
- Recrutement des sujets limité suite à la pandémie
  - 7 hommes et 6 femmes
- Campagne expérimentale réalisée en Sept.-Oct. 2020





	SP14	SP27	SP40	SPLB
SB22	22°	22° \		22°
SB41	\$7°	P. 27°	F. do	X°.
SB60	60°	600	600 /000	80°



Cas 2 - Inclinaison **Expérimentation** 

# **ÉTUDE EXPÉRIMENTALE** RÉSULTATS

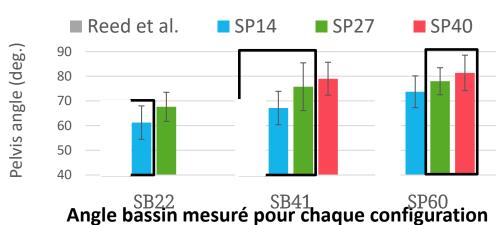
- Post-traitement des données en cours
  - Angle dossier influence choix angle assise (jusqu'à un certain seuil)
  - Angle bassin influencé par angles assise et dossier
  - Résultats en accord avec les données de Reed et al. (position semi-allongée)
  - Résultats proches de certaines configurations simulées

## Angle assise (deg.) 20,0 10,0 **SR22 CR41** CDGO

Angle d'assise sélectionné en fonction de l'angle dossier

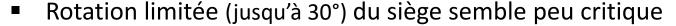
#### Travaux en cours

- Réaliser un prédicteur postural
- Résultats utilisés pour:
  - Simulation afin d'évaluer le risque lésionnel
  - Positionner les sujets d'anatomie (ENOP)

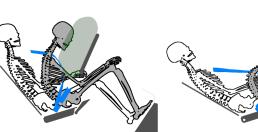


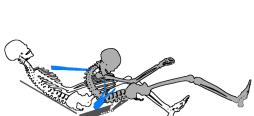
# SYNTHÈSE

- Véhicules hautement automatisés pourrait induire nouvelles activités
  - Modification habitacle: rotation siège (ex: pour discuter, travailler)
    - inclinaison du siège (ex: pour se reposer)



- Risque accru de lésions crâniennes et bassin
- Risque pouvant être maitrisé avec des contre-mesures simples (ex: position AB)
- Inclinaison du dossier semble plus critique
  - Risque accru de lésions abdominales, thoraciques et lombaires
  - Inclinaison modérée (40°) doit s'accompagner de mesure de retenue spécifique
  - Inclinaison importante (60°) nécessite une innovation des systèmes de retenue



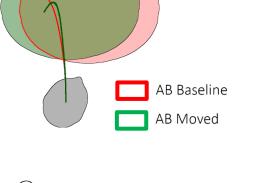


#### Travaux SURCA

- Nouvelle campagne simulations semi-allongée (basée sur les résultats expérimentaux)
- Bio-fidélité des modèles à raffiner (réponse en position semi-allongé, sensibilité modèle au sous-marinage)
- Réalisation de procédure de personnalisation d'occupant (positionnement, vérification)









# Merci de votre attention

#### Publication et communications

- Grébonval C., Trosseille X., Petit P., Wang X., and Beillas P., 2019, Occupant response in frontal crash, after alterations of the standard driving position, IRCOBI, Florence. Sept. Short communication.
- Grébonval C., Trosseille X., Petit P., Wang X., and Beillas P., 2020, The Effects of Small Seat Swiveling Angles on Occupant Responses During
  a Frontal Impact, WCX 2020 SAE World Congress Experience. Full paper (Online only, conference cancelled)
- Grébonval C., Trosseille X., Petit P., Wang X., and Beillas P., 2021, Effects of seat pan and pelvis angles on the occupant response in a reclined position during a frontal crash, PlOs One (*Soumis*)
- Grébonval C., et al., Ultrasound imaging to determine the pelvis position, 2021
- Grébonval C., et al., Occupant comfortable posture in reclined configurations, 2021

#### Livrables SURCA

- Grébonval, C., Beillas, P., (2019) Livrable L2.6: Activités adoptées par les occupants de véhicules autonomes, WP2
- Grébonval, C., (2020), Livrable L7.1: Scénarios et matrice de simulations sur l'effet de la posture, WP7
- Poulard, D., Grébonval, C., Trosseille X. (2020), Livrable L7.2: Modèle de cockpit générique, WP7
- Grébonval C., et al., Bilan de l'analyse des lésions potentielles ou risque relatif, 2021