



## Scénarios et matrice de simulation sur l’effet de la posture

<b>Work Package</b>	WP7
<b>Responsable du WP, affiliation</b>	Philippe BEILLAS, Univ Gustave Eiffel
<b>Livrable n°</b>	L7.1
<b>Version</b>	V2
<b>Auteur responsable du livrable</b>	Cyrille Grébonval, Univ Gustave Eiffel
<b>Auteurs, affiliations</b>	Cyrille Grébonval, Univ Gustave Eiffel
<b>Relecteurs, affiliations</b>	Philippe Petit, LAB PSA Renault
<b>Statut du livrable</b>	Final

## Veillez citer ce document de cette façon :

Grébonval, C., (2020), Livrable numéro 7.1 « Scénarios et matrice de simulations sur l'effet de la posture », Projet SURCA, financé par la FSR, 24 p.

## Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
Version 1	20/03/2020	Cyrille GREBONVAL	
Version 2	17/04/2020	Cyrille GREBONVAL	Corrections

## Remerciements

Le Projet SURCA est financé par la dévolution de la Fondation Sécurité Routière, la Délégation à la sécurité routière et pour moitié par les partenaires du projet.



## Résumé du projet Surca

Les questions posées par la cohabitation de véhicules de plus en plus automatisés avec des véhicules conventionnels et des usagers vulnérables, cyclistes, piétons, deux-roues motorisés, sont au cœur des préoccupations des décideurs publics, constructeurs, ou spécialistes de l'infrastructure routière et de la sécurité routière. Tous ont l'espoir que ces nouvelles technologies contribuent à améliorer la sécurité routière. L'objectif global du projet « Sécurité des Usagers de la Route et Conduite Automatisées, SURCA » est de contribuer à une meilleure intégration de la Conduite Automatisée dans la circulation actuelle.

Les partenaires du projet (Ifsttar, DSR, Ceesar, Cerema, Vedecom, Lab), ont ainsi comme objectif d'identifier quelles interactions existent et quelles stratégies pertinentes sont mises en place par les conducteurs pour proposer des recommandations aux concepteurs de véhicules autonomes sur les besoins en termes d'interactions et en termes de comportement du véhicule autonome. Pour cela, il est prévu d'analyser des bases de données existantes sur la conduite des véhicules conventionnels et d'identifier les facteurs qui peuvent expliquer des comportements différents.

Les connaissances issues de ces bases seront utilisables pour simuler l'introduction de la conduite automatisée de niveaux 3, 4 et 5, avec des taux de pénétration faibles. La gestion des interactions avec les autres usagers doit être réalisée dès que le véhicule peut évoluer en autonomie sans supervision du conducteur, quelles que soient la durée et les sections sur lesquelles cette automatisation sera possible. En cas de taux de pénétration très important, d'autres types d'interactions risquent de se mettre en place et devront alors être étudiés.

Ce projet est articulé autour de deux sous-thématiques :

- L'identification des scénarios d'interaction entre véhicules autonomes et autres usagers de la route (véhicules conventionnels, deux roues motorisés, cyclistes, piétons), avec un focus particulier sur les personnes âgées :
  - Etude des situations de négociation où les conducteurs gèrent cette interaction humaine, à partir de bases de données de conduite conventionnelle, et en utilisant des éléments difficilement émis et perçus par les systèmes automatisés (regard, connaissance a priori d'intention, etc.),
  - Etude de la réaction des autres usagers face à un véhicule autonome alors que son conducteur est absorbé dans une tâche annexe,
  - Identification des besoins de communication du véhicule autonome en phase active avec les autres usagers,
  - Analyse des besoins des usagers âgés et acceptabilité sociétale du véhicule autonome.
- L'étude des impacts de la posture des occupants (conducteur et passagers) d'un véhicule en mode autonome sur le risque lésionnel :
  - Choix des scénarios de simulation : positions des occupants, conditions de choc (lors de la réalisation de tâches annexes) et systèmes de retenue,
  - Evaluation des lésions potentielles par simulations numériques en fonction des systèmes de retenue (par ex. déploiement d'air bag),
  - Recommandations en termes de postures acceptables selon les différents systèmes de retenue.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>9</b>
2.1	VÉHICULES AUTONOMES – DIRECTION D’IMPACT LORS D’ACCIDENTS.....	9
2.2	CONFIGURATIONS D’HABITACLE DES VÉHICULES AUTONOMES.....	13
<b>3</b>	<b>PARAMÈTRES DE SIMULATIONS.....</b>	<b>18</b>
3.1	MODÈLE D’OCCUPANT.....	18
3.2	PROFILS DE DÉCÉLÉRATION.....	19
3.3	CONFIGURATIONS D’HABITACLE.....	19
3.3.1	Rotation du siège selon l’axe verticale.....	20
3.3.2	Inclinaison du siège.....	22
<b>4</b>	<b>RESULTATS PRELIMINAIRES ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>24</b>

---

## Table des tableaux

Tableau n° 1 : Description des systèmes des sécurité étudiés.....	10
Tableau n° 2 : Matrice de simulation détaillant le niveau d'automatisation des véhicules pour chacun des scénarios étudiés .....	12
Tableau n° 3 : Matrice de simulations utilisée pour l'étude de la rotation du siège. AB : airbag.....	22
Tableau n° 4 : Matrice de simulations utilisée pour l'étude de l'inclinaison du siège .....	23

## Table des figures

Figure n° 1 : Classement par niveaux de l'automatisation des véhicules .....	7
Figure n° 2 : Concept de véhicules automatisés. ....	8
Figure n° 3 : Accidents mortels les plus fréquents, impliquant des véhicules particuliers, classés par scénario .....	11
Figure n° 4 : Répartition des accidents mortels en fonction du scénario étudié .....	12
Figure n° 5 : Caractéristiques des collisions impliquant des véhicules autonomes .....	13
Figure n° 6 : Nouvelles configurations d'habitacle pouvant être implémentées dans les futurs véhicules autonomes .....	14
Figure n° 7 : Enquête auprès de volontaires sur leurs souhaits d'orientation de sièges dans de futurs véhicules.....	15
Figure n° 8 : Configurations possibles dans un environnement automobile actuel .....	16
Figure n° 9 : Inconfort et qualité d'une conversation en fonction de l'angle des sièges, paramètres expérimentaux et résultats .....	17
Figure n° 10 : Configurations Reclined désirées pour différentes activités .....	18
Figure n° 11 : Profils de décélération utilisés, représentant des collisions frontales .....	19
Figure n° 12 : Environnement d'habitacle initial, utilisé pour les simulations numériques.....	19
Figure n° 13 : Schéma des trois postures analysées pour les configurations Swiveled. ....	21
Figure n° 14 : Positions initiales de l'occupant et de l'airbag lors d'une rotation du siège de 30° .....	21
Figure n° 15 : Géométries d'assise, avec (gauche) ou sans (droite) supports latéraux.....	22
Figure n° 16 : Siège expérimental.....	24
Figure n° 17 : Matrice d'essais utilisée lors de l'expérimentation .....	25

# 1 INTRODUCTION

À la suite de la révolution des transports du XXème siècle, l’automobile s’est rapidement imposée comme le principal moyen de déplacement dans les agglomérations des pays occidentaux. Cependant, cette omniprésence automobile est également source de risques potentiels. En effet, les accidents de la route entraînent, dans le monde, plus de 1,35 million de décès par an environ ainsi que 20 à 50 millions de blessés [1]. D’après les données d’accidentologie, les accidents actuels sont en majorité des chocs frontaux [2]. De plus, les accidents semblent être à 90% attribués à une erreur humaine [3], et notamment via des erreurs d’attention (inattention, distraction extérieure, ...) ou de décision (vitesse trop élevée par rapport aux conditions extérieures, non-respect des distances de sécurité...).

Par ailleurs, des efforts de recherche et développement considérables sont en cours sur la thématique de l’automatisation des véhicules. D’après SAE International, les véhicules automatisés peuvent être classés en 6 niveaux [4], allant de 0 (aucune automatisation) à 5 (automatisation complète). La Figure n° 1 détaille les différents niveaux d’automatisation.

Figure n° 1 : Classement par niveaux de l’automatisation des véhicules

	SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
What does the human in the driver’s seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
What do these features do?	These are driver support features			These are automated driving features		
	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> <li>• automatic emergency braking</li> <li>• blind spot warning</li> <li>• lane departure warning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering OR</li> <li>• adaptive cruise control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering AND</li> <li>• adaptive cruise control at the same time</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• traffic jam chauffeur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• local driverless taxi</li> <li>• pedals/steering wheel may or may not be installed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions</li> </ul>

[1] World Health Organization, 2018, “Global status report on road safety 2018”

[www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2018/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/)

[2] Rudd R.W. and Lockerby J., 2018, “Applications of Occupant and Injury Biomechanics Data Available in the CIREN Public Data Set”, In International Research Conference on the Biomechanics of Impact, IRCOBI.

[3] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2015, “Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey”, Report DOT HS 812 115

[4] SAE International, J3016\_201806: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (Accessed: SAE International, 12 December 2019), [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201806/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/).

L'apparition de ces nouveaux types de véhicules pourrait impacter les statistiques d'accidentologie actuelles, notamment en diminuant les scénarios d'accident associés à une erreur humaine. De plus, l'introduction et la démocratisation de ces véhicules s'effectuera probablement progressivement, et une longue période est à prévoir pour un renouvellement complet du parc automobile actuel. Cette période de cohabitation entre véhicules autonomes et véhicules standards pourrait entraîner des accidents potentiellement différents de ceux actuellement observés.

Par ailleurs, pour les niveaux d'automatisation élevées, ces véhicules devraient libérer les occupants d'une partie ou de l'ensemble des tâches de conduite et ainsi leur permettre de réaliser de nouvelles activités. L'introduction de nouvelles activités pourrait également induire un changement de l'intérieur du véhicule et de la position des occupants. De nombreux concepts ont été publiés à destination du grand public, comme illustrés Figure n° 2. Ces nouvelles activités pourraient être associées à des postures pour lesquelles les systèmes de sécurité existants, tels que les ceintures de sécurité et les airbags, n'étaient pas conçus à l'origine. Des adaptations significatives pourraient alors être nécessaires pour conserver le niveau de protection actuel des occupants. Certaines études [5] relèvent d'ores et déjà que certaines positions pourraient s'avérer critiques pour les occupants.

Dans le cadre du projet SURCA, il a été décidé d'étudier par simulation numérique avec modèle humain certaines des configurations qui pourraient émerger. Afin de bien définir les contours de l'étude, les définitions de scénarios et d'une matrice de simulation associée font l'objet d'une tâche dédiée, dont ce rapport est le livrable écrit.

L'objectif de ce rapport est de (1) résumer la revue bibliographique conduite afin de déterminer des paramètres de simulation, notamment la direction d'impact et les configurations d'habitacle à étudier puis (2) de présenter les paramètres et configurations sélectionnés collégialement dans la tâche.

**Figure n° 2 : Concept de véhicules automatisés.**

**a, b : Concepts réalisés par ZF Friedrichshafen ; c, d : Concepts réalisés par Renault**



[5] Grébonval C., Trosseille X., Petit P., Wang X., and Beillas P., 2019, "Occupant response in frontal crash, after alterations of the standard driving position", In International Research Conference on the Biomechanics of Impact, IRCOBI.



## 2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Au travers de cette section une revue bibliographique sera réalisée afin de déterminer certains paramètres de simulation, notamment le type d'impact (e.g. collisions frontales, arrières) ainsi que les configurations d'habitacle à étudier.

### 2.1 Véhicules autonomes – Direction d'impact lors d'accidents

Comme évoqué précédemment, l'introduction des véhicules autonomes pourrait avoir un impact sur l'occurrence des différents types d'accidents observés. Ainsi, l'objectif de cette revue bibliographique est de déterminer les types d'accident pouvant survenir suite à l'apparition des véhicules autonomes.

Basé sur les données de GIDAS (German In-Depth Accident Study database), **Lubbe et al.** [6] ont estimé les accidents pouvant survenir pour plusieurs niveaux d'automatisation, en évaluant les accidents pouvant être évités via divers *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS). Les données initiales, extraites de GIDAS, nommées *Step 0*, représentent 747 accidents mortels impliquant 810 décès. Le niveau maximum d'automatisation étudié est le *Step 5*, et correspond à des véhicules équipés des ADAS listés dans le Tableau n° 1.

---

[6] Lubbe N., Jeppsson H., Ranjbar A., Fredriksson J., Bärghman J., and Östling M., 2018, "Predicted road traffic fatalities in Germany: the potential and limitations of vehicle safety technologies from passive safety to highly automated driving", In International Research Conference on the Biomechanics of Impact, IRCOBI.

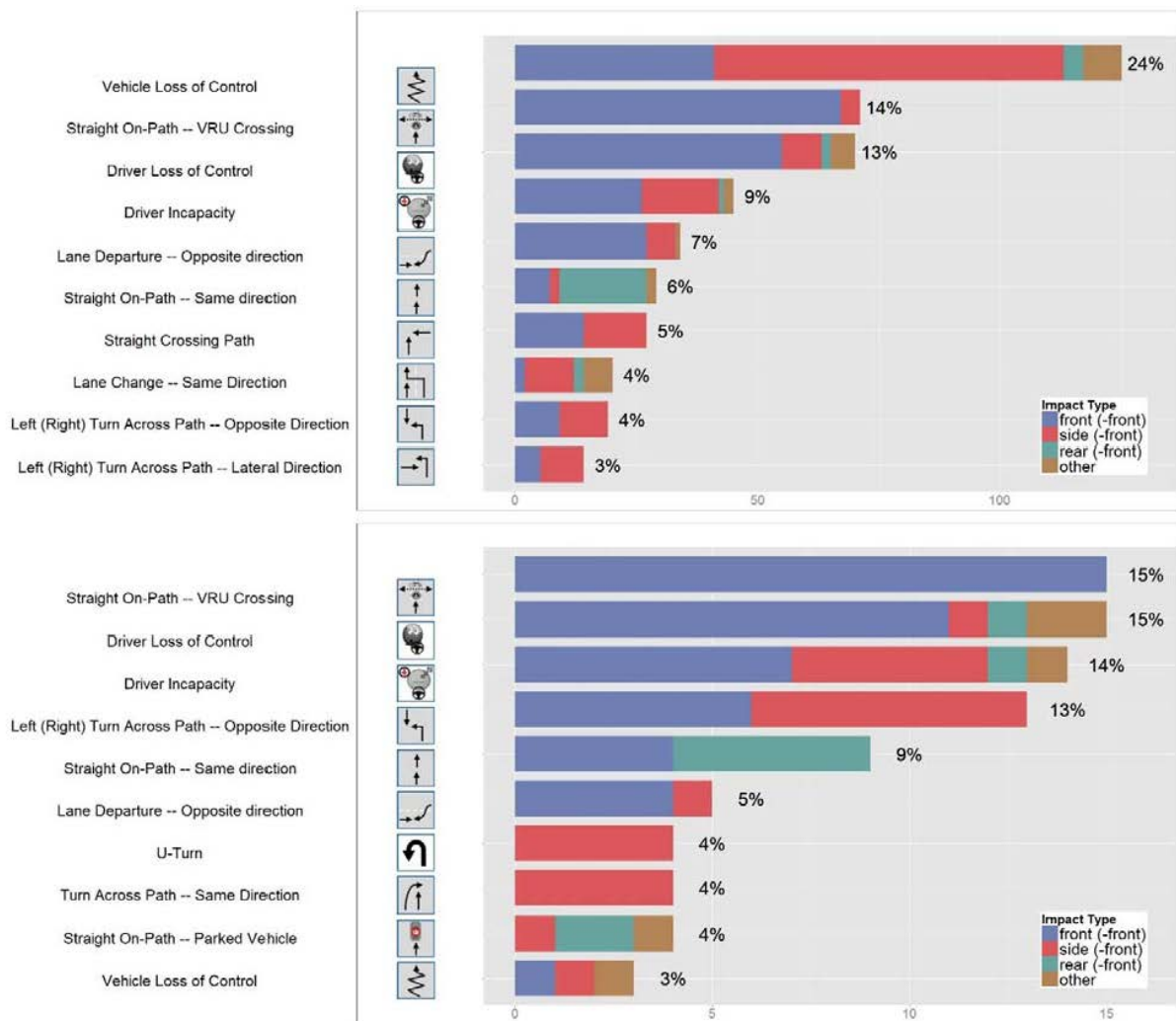
Tableau n° 1 : Description des systèmes de sécurité étudiés Lubbe et al. [6]

Safety system	Description	Typical crashes addressed
Seat-belt reminder	Reminds all occupants to put on seat belts	Un-belted crashes
Frontal airbag	Driver and passenger airbag for frontal impacts	Frontal crashes without airbags
Side airbag	Side and curtain airbags	Side crashes without airbags
Improved airbag	High-performance frontal airbag	Frontal crashes with "standard" airbags
AEB rear-end	Detects vehicles driving ahead. The driver is warned and if not reacting, braking will be activated.	Impact to rear end of vehicle in same line
AEB back over	Detects the presence of vehicles behind and automatically initiates braking or prevents acceleration	Impact to another vehicle when reversing
AEB pedestrian	Detects pedestrians ahead. The driver is warned and if not reacting, braking will be activated.	Crossing and longitudinal pedestrian accidents
AEB cyclist	Detects cyclists ahead. The driver is warned and if not reacting, braking will be activated.	Crossing and longitudinal cyclist accidents
AEB animal	Detects animals ahead. The driver is warned and if not reacting, braking will be activated.	Crossing and longitudinal animal accidents
AEB pedestrian reversing	Detects pedestrian behind the car. Automatic brake applied when an impact is likely to occur.	Reversing accidents with pedestrians
AEB intersection	Detects crossing vehicles at an intersection. The driver is warned and if not reacting, braking will be activated.	Crossing and turning in intersections
Intelligent speed adaptation (ISA)	Detects that the vehicle speed does not exceed a safe or legally enforced speed.	Speeding
Lane Change Assist (LCA)	Detects when a car has entered the blind spot or a fast approaching vehicle enters the blind spot while the driver is switching lanes. The driver is warned by visual and acoustic signals.	Side swipe and rear-end collision when changing lanes
Lane Keep Assist (LKA)	Detects that the vehicle is about to drift beyond the edge of the road or into oncoming or overtaking traffic in the adjacent lane and automatic steer back.	Run off road, drift into oncoming vehicle, side swipe
Electronic Stability Control (ESC)	Detects loss of steering control and automatically applies the brakes to help "steer" the vehicle where the driver intends to go.	Skidding
AEB V2X functions	V2X is communication between road users, allowing to see through obstacles.	All scenarios
Safety-minded driving	No violation of any traffic rules.	All scenarios
Cautious driving	Adapt driving to conditions, e.g. visibility and weather.	All scenarios

Les résultats indiquent que les systèmes de protection, actifs et passifs, permettent une diminution considérable du nombre d'accidents mortels. Par exemple, le niveau maximum d'automatisation (i.e. Step 5) permet une diminution du nombre d'accidents impliquant des usagers vulnérables (e.g. piétons, cyclistes) d'environ 33-41%.

Concernant les accidents impliquant des véhicules particuliers, la Figure n° 3 illustre les scénarios d'accident les plus fréquents pour les Step 0 et 5. Dans les données de GIDAS (Step 0), 519 accidents impliquaient au moins un véhicule particulier, et ces derniers étaient le plus fréquemment liés à une perte de contrôle du véhicule. Par ailleurs, en prenant en compte les dix scénarios les plus fréquents, les accidents frontaux sont majoritaires. Pour le Step 5, l'intégration des différents ADAS étudiés (Tableau n° 1) pourrait permettre d'éviter 418 des accidents initiaux, ainsi le nombre d'accidents inévitables est estimé à 101. Concernant les accidents inévitables en Step 5, les accidents frontaux restent majoritaires.

**Figure n° 3 : Accidents mortels les plus fréquents, impliquant des véhicules particuliers, classés par scénario. Haut : Step 0 (n=519) ; Bas : Step 5 (n=101)**



Lubbe et al. [6]

**Kitajima et al.** [7] ont également réalisé une estimation des accidents potentiellement observables suite à l'introduction de divers ADAS, via une simulation de trafic routier. Pour ce faire, ils ont développé un programme permettant de simuler l'interaction entre de nombreux véhicules, des conducteurs et des piétons. Les erreurs humaines simulées incluaient notamment l'inattention, les erreurs de jugement et les réponses inadéquates.

Dans un premier temps, le modèle a été validé. Pour ce faire, un scénario comprenant des véhicules entièrement manuels a été simulé afin de comparer les résultats aux données d'accidentologie. Par la suite, 4 scénarios additionnels ont été simulés en faisant varier le niveau d'automatisation des véhicules (incluant des systèmes de freinage d'urgence [AEB], des alertes de franchissement involontaire de ligne [LDW], ainsi que des véhicules autonomes de niveaux 4 [HAD]). Les différents scénarios étudiés sont détaillés Tableau n° 2.

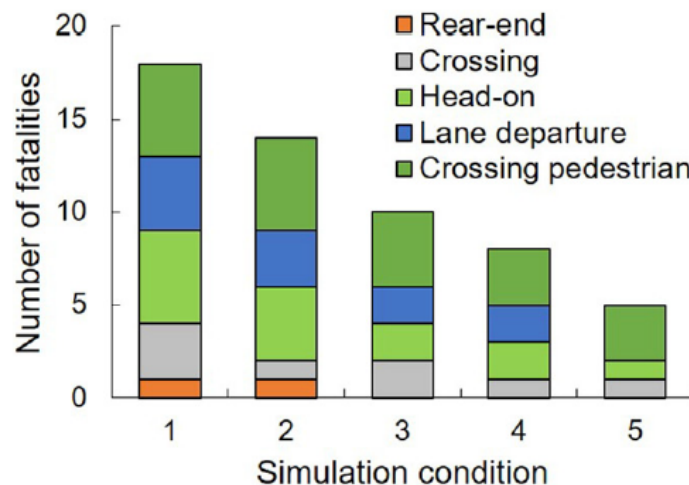
La Figure n° 4 illustre la répartition des accidents mortels en fonction des différents scénarios. Ainsi, concernant la sécurité des occupants des véhicules, les accidents particulièrement à risque sont les collisions frontales pour chacun des scénarios étudiés (i.e. Head-on).

**Tableau n° 2 : Matrice de simulation détaillant le niveau d'automatisation des véhicules pour chacun des scénarios étudiés**

Driving mode/technology	Simulated scenarios				
	1	2	3	4	5
Manual	100	50	25	25	—
AEB	—	50	25	—	—
AEB + LDW	—	—	50	50	25
HAD	—	—	—	25	75

Kitajima et al. [7]

**Figure n° 4 : Répartition des accidents mortels en fonction du scénario étudié**



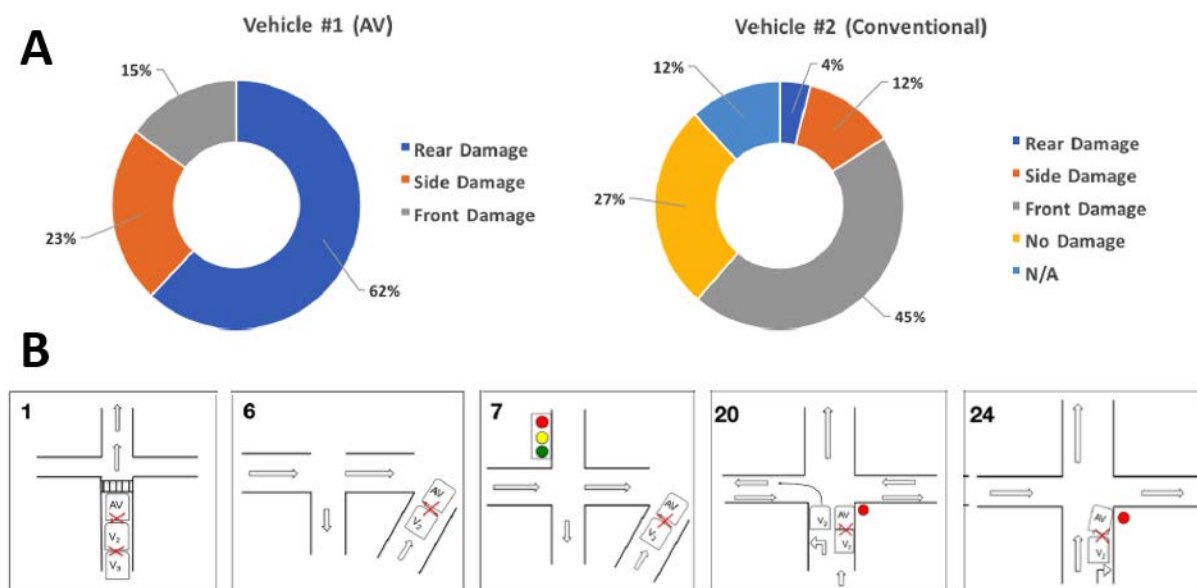
Kitajima et al. [7]

[7] Kitajimaa S., Shimonoa K., Tajimab J., Antona-Makoshia J., and Uchidab N., 2019, "Multi-agent traffic simulations to estimate the impact of automated technologies on safety", Traffic Injury Prevention

**Favarò et al.** [8] ont étudié les scénarios de collision des véhicules automatisés, via l’analyse des accidents survenus lors des essais de véhicules autonomes en Californie entre Septembre 2014 et Mars 2017. Au total, 26 accidents ont été recensés, incluant uniquement une collision entre le véhicule automatisé et un véhicule manuel. La Figure n° 5A illustre la répartition des dommages matériels en fonction de la localisation pour les deux véhicules impliqués. Les résultats révèlent que les dégâts matériels sont majoritairement situés à l’arrière pour le véhicule automatisé (VA) et à l’avant pour le véhicule manuel (Conventional). Cela traduit une forte occurrence de collisions fronto-arrières entre les deux types de véhicules, tel qu’illustré Figure n° 5B.

Suite à l’analyse de ces différentes études, il apparaît que les accidents impliquant des véhicules autonomes soient majoritairement fronto-frontaux ou fronto-arrières. Par ailleurs, les collisions frontales semblent particulièrement critiques pour les occupants.

**Figure n° 5 : Caractéristiques des collisions impliquant des véhicules autonomes (A : Location des dommages matériels pour véhicules impliqués dans les collisions ; B : Exemples de reconstructions visuelles pour les accidents impliquant des véhicules automatisés)**



Favarò et al. [8]

## 2.2 Configurations d’habitacle des véhicules autonomes

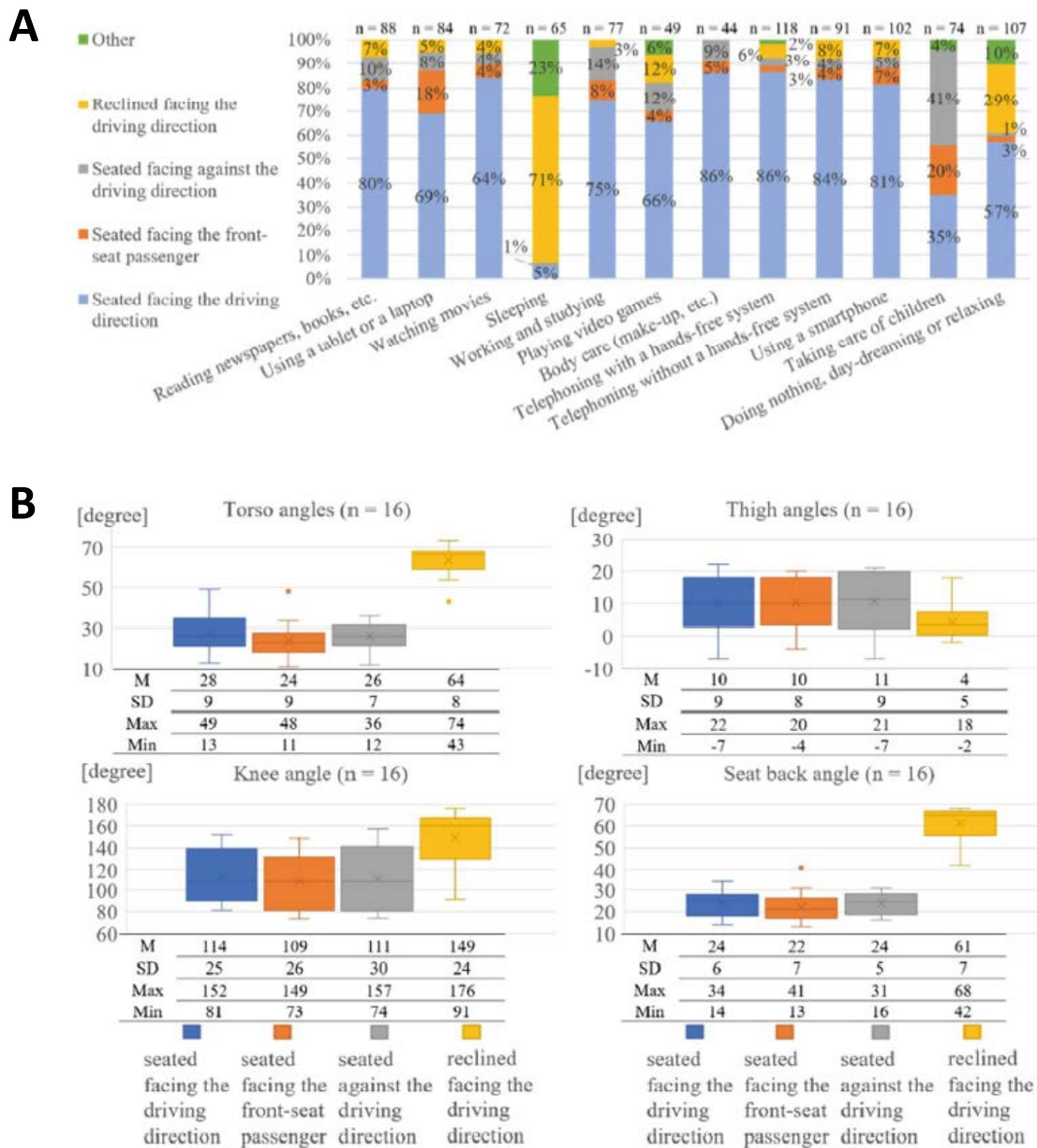
Les occupants de véhicules hautement automatisés (i.e. Niveau SAE 4 et plus) étant libérés de la conduite, pourraient être sujet à réaliser de nombreuses activités, telles que lire, converser, ou dormir. Les activités envisagées par les occupants des futurs véhicules autonomes sont détaillées dans le **Livraison SURCA 2.6** [9]. Par ailleurs, afin de s’adapter à ces nouvelles activités, l’habitacle des véhicules pourrait évoluer afin de s’adapter à ces activités, comme illustré Figure n° 2.

[8] Favarò F.M., Nader N., Eurich S.O., Tripp M., and Varadaraju N., 2017, “Examining accident reports involving autonomous vehicles in California”, PLoS ONE

[9] Grébonval C., 2019, “WP2 : Etat de l’art, Activités adoptées par les occupants de véhicules autonomes”, Rapport SURCA

Yang et al. [10] ont étudié ces nouvelles configurations en fonction de différentes activités envisagées. Les retours de 122 participants ont été récoltés via un questionnaire en ligne. La Figure n° 6A détaille les configurations souhaitées pour diverses activités. On peut dès lors constater que pour la plupart des activités les participants souhaitent majoritairement conserver une configuration d’habitable standard (i.e. siège face à route). Par ailleurs, pour certaines activités des configurations inédites sont désirées, basées sur de nouvelles orientations du siège (e.g. travailler, étudier, utiliser un ordinateur) ou sur l’inclinaison de ces derniers (e.g. dormir, se relaxer).

**Figure n° 6 : Nouvelles configurations d’habitable pouvant être implémentées dans les futurs véhicules autonomes (A : Configurations désirées en fonction de l’activité réalisée ; B : Angles posturaux des occupants en fonction des configurations d’habitable)**



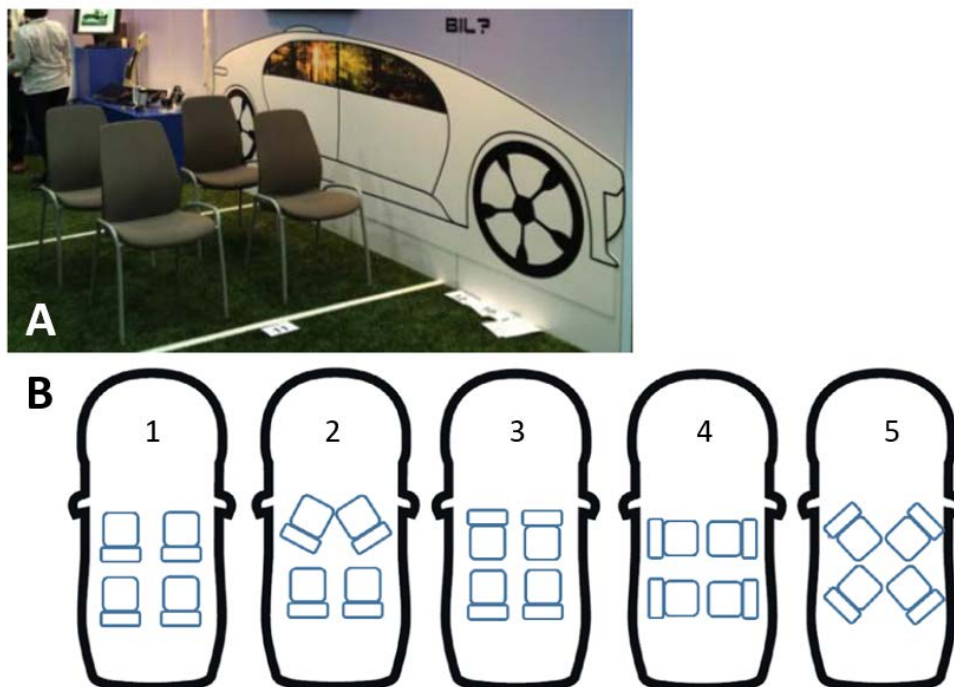
Yang et al. [10]

[10] Yang Y., Klinkner J., and Bengler K., 2018, “How will the driver sit in an automated vehicle? The qualitative and quantitative descriptions of non-driving postures (NDPs) when non-driving-related-tasks (NDRTs) are conducted”, 20th Congress of the International Ergonomics Association

La Figure n° 6B détaille les postures adoptées par les occupants pour les différentes configurations d’habitacle étudiées. Basée sur les configurations précédemment identifiées, une analyse posturale a été réalisée via 16 participants. Un siège automobile standard a été utilisé pour cette étude, avec une assise fixée à 15°. Les résultats suggèrent que l’orientation du siège n’impacte que très peu la posture de l’occupant et l’angle dossier ( $\approx 22^\circ$ ). Cependant, pour la configuration *Reclined*, on observe une modification importante de l’angle dossier ( $\approx 60^\circ$ ) ainsi que de la posture de l’occupant.

Une étude réalisée par **Jorlöv et al.** [11] s’est également focalisée sur les nouvelles configurations d’habitacle. Via l’utilisation d’un environnement de véhicule simplifié (Figure n° 7A), il a été demandé à 52 volontaires de reconfigurer l’habitacle selon leurs souhaits, via la rotation des sièges. Lors de trajets courts, la majorité des participants ont déclaré vouloir garder leurs sièges en position standard (face à la route). Tandis que pour des trajets plus longs, ces derniers ont émis le désir de réarranger l’habitacle. Les configurations les plus fréquemment suggérées par les participants sont schématisées Figure n° 7B. La configuration n°3 fut la plus fréquemment suggérée pour des trajets longs. Par ailleurs, cette étude ne prend pas en compte l’encombrement spatial (e.g. largeur du véhicule), pouvant être un des problèmes principaux limitant la réalisation de ces nouvelles configurations et l’utilisation de mobilier ordinaire limite le réalisme de la situation.

**Figure n° 7 : Enquête auprès de volontaires sur leurs souhaits d’orientation de sièges dans de futurs véhicules (A : Environnement expérimental; B : Principales configurations suggérées)**



*Jorlöv et al. [11]*

[11] Jorlöv S., Bohman K., and Larsson A., 2017, “Seating Positions and Activities in Highly Automated Cars – A Qualitative Study of Future Automated Driving Scenarios”, In International Research Conference on the Biomechanics of Impact, IRCOBI.

**Levallois et al.** [12] ont évalué l'implantation de nouvelles configurations basées sur la rotation des sièges, en incluant cette fois-ci des critères d'encombrement. Pour ce faire, un modèle de SUV de taille moyenne a été utilisé. Dans un premier temps, les deux sièges avant ont été pivotés jusqu'à obtenir un contact entre ces derniers. Théoriquement, les deux sièges pouvaient pivoter d'en moyenne  $17^\circ$ , cependant cela implique un contact des membres inférieurs des occupants et cela a donc été considéré comme inconfortable par ces derniers (Figure n° 8A). Dans un second temps, l'angle de rotation des sièges a été diminué afin d'éviter le contact des membres inférieurs. Cette nouvelle configuration (Figure n° 8B), ayant pour angle de rotation moyen  $11^\circ$ , a permis de limiter l'inconfort des occupants. Par ailleurs, d'autres configurations sont également possibles compte tenu de l'encombrement spatial (e.g. Figure n° 8C, Figure n° 7B n°3), cependant pour être obtenues certains sièges doivent être inversés, et cela nécessite que l'occupant sorte du véhicule.

**Fiorillo et al.** [13] ont également analysé des nouvelles configurations de véhicules autonomes basées sur la rotation des sièges suivant l'axe vertical. Via un environnement simplifié, illustré Figure n° 9A, cette étude s'est focalisée sur la conversation entre deux passagers en faisant varier le pivotement des sièges. Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'impact de cet angle sur l'inconfort et la posture des occupants ainsi que sur la qualité de leur conversation. Quatre angles de rotation ont été étudiés (i.e. 0, 22.5, 90 et 120 degrés) (Figure n° 9B). Afin de se rapprocher davantage d'un environnement automobile, les participants étaient attachés via une ceinture ventrale deux points.

La Figure n° 9C et la Figure n° 9D détaillent respectivement la qualité de la conversation et l'inconfort en fonction des différents angles de siège. Les résultats suggèrent qu'un angle de  $120^\circ$  entre les deux sièges est le plus adapté afin de converser, aussi bien du point de vue qualité de l'activité que de l'inconfort des participants. Par ailleurs, dès  $22.5^\circ$  on observe une amélioration de la qualité de la conversation et une diminution de l'inconfort des participants

**Figure n° 8 : Configurations possibles dans un environnement automobile actuel (A : Rotation maximale des sièges entraînant un inconfort des occupants ; B : Rotation limitée des sièges limitant l'inconfort des occupants ; C : Rotation des deux sièges de  $20^\circ$ , incluant un siège inversé)**



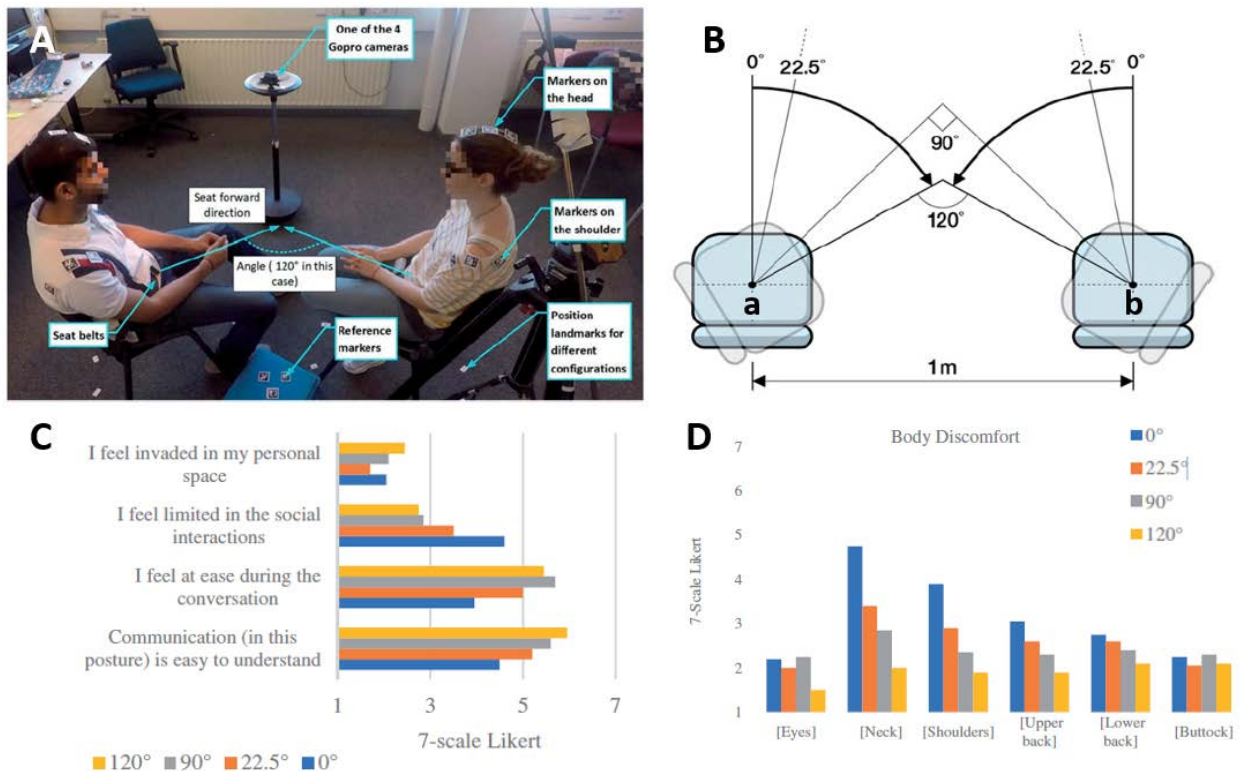
*Levallois et al. [12]*

[12] Levallois I., Recko P., Bohman K., and Renaudin F., 2019, "Novelty seating positions in automated vehicles: opportunities and challenges for child seats"

[13] Fiorillo I., Piro S., Anjani S., Smulders M., Song Y., Naddeo A., and Vink P., 2019, "Future vehicles: the effect of seat configuration on posture and quality of conversation", Ergonomics



**Figure n° 9 : Inconfort et qualité d’une conversation en fonction de l’angle des sièges, paramètres expérimentaux et résultats (A : Environnement expérimental utilisé ; B : Conditions expérimentales ; C : Qualité de l’activité en fonction de l’angle des sièges ; D : Inconfort des participants en fonction de l’angle des sièges)**



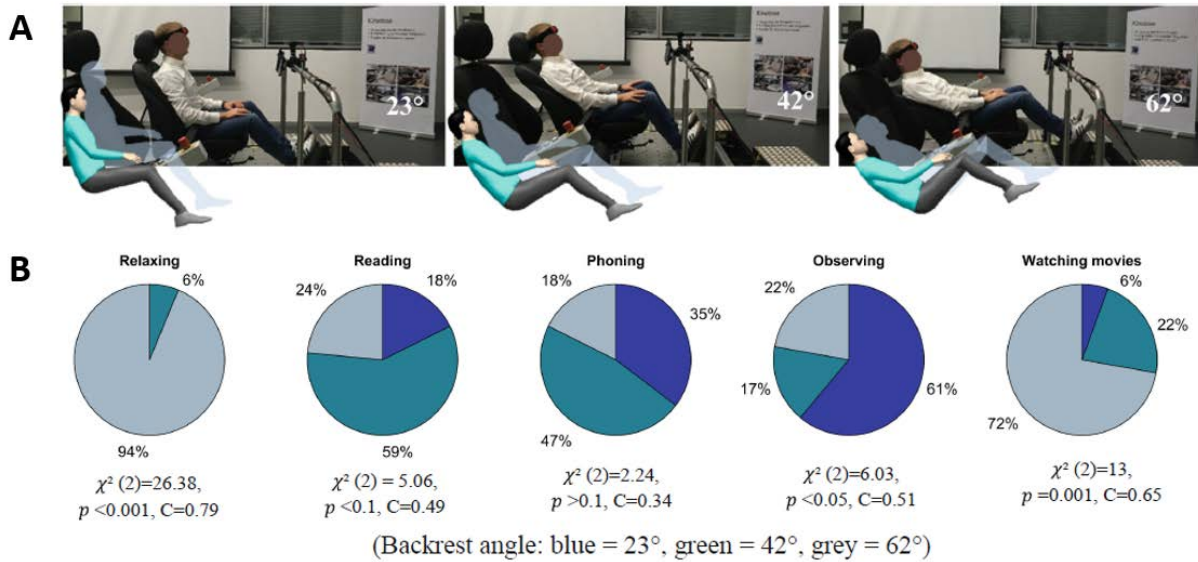
Fiorillo et al. [Erreur ! Signet non défini.]

Concernant les configurations *Reclined*, **Bohrmann et Bengler** [14] ont réalisé une étude sur volontaires afin de déterminer l’angle dossier désiré en fonction de l’activité réalisée. Dans un premier temps, des essais dynamiques ont été réalisés via 25 volontaires afin d’évaluer l’influence de l’angle dossier et de l’orientation du siège sur le mal des transports. Deux angles dossiers (23° et 38°) ainsi que deux orientations de siège (face et dos à la route) ont été évalués. Les résultats indiquent que l’augmentation de l’angle dossier diminue significativement le mal des transports, tandis que l’orientation du siège semble avoir un effet moins prononcé.

Dans un second temps, des essais ont été réalisés sur simulateur via 16 participants. Trois angles de dossier, illustrés Figure n° 10A, ont été étudiés. Ainsi, les participants ont déterminé l’angle dossier le plus adapté pour réaliser diverses activités. La Figure n° 10B détaille les configurations désirées par les participants pour les activités étudiées. Les résultats indiquent que les configurations dites *Reclined* sont particulièrement désirées pour diverses activités (e.g. Relaxing, Watching movies).

[14] Bohrmann B., and Bengler K., 2019, “Reclined Posture for Enabling Autonomous Driving”, International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications

**Figure n° 10 : Configurations Reclined désirées pour différentes activités (A : Angles dossier étudiés ; B : Angles dossier désirés par les participants en fonction de l'activité réalisée)**



Bohrmann et Bengler [14]

Pour conclure, les nouvelles configurations pouvant apparaître dans les futurs véhicules autonomes sont essentiellement basées sur deux axes : la rotation des sièges autour de l'axe vertical et l'inclinaison vers l'arrière. Concernant la rotation du siège, les études volontaires indiquent que des rotations importantes des sièges sont désirées (e.g. 45, 90, 180°). Cependant, en prenant en compte l'encombrement spatial des véhicules actuels, la rotation des sièges serait limitée à une vingtaine de degrés. De faibles rotations des sièges permettraient néanmoins d'augmenter le confort lors de la réalisation d'activités tel que converser. Concernant l'inclinaison du siège, les essais sur volontaires indiquent des angles dossier allant jusqu'à 60°. Cependant, ces différents essais sont réalisés sur des sièges automobile actuels et n'incluent donc pas de variation de l'angle d'assise (fixé à 15°).

### 3 PARAMÈTRES DE SIMULATIONS

Dans cette section, nous déterminerons la matrice de simulation en se basant sur les données obtenues lors de la revue bibliographique. La cinématique et la retenue de l'occupant ont été simulées à l'aide de modèles éléments finis (FE) d'un cockpit simplifié standard (Sled) et d'un corps humain. Les simulations ont été effectuées sous le code de calcul de crash LS-DYNA (version 971, R9.3.0, Livermore Software Technology Corporation).

#### 3.1 Modèle d'occupant

Les différentes simulations ont été, dans un premier temps, réalisées avec un homme de taille et de corpulence moyennes (M50). Ainsi, le modèle GHBMCM50-O v5.0 a été utilisé. Ce modèle détaillé permet notamment d'étudier à la fois les critères lésionnels tels que la compression thoracique ainsi que les fractures locales comme les fractures de côte. Dans un second temps, la réponse des occupants avec diverses anthropométries (F05, M95) sera analysée afin d'évaluer l'impact de ce paramètre sur la sécurité des occupants.

### 3.2 Profils de décélération

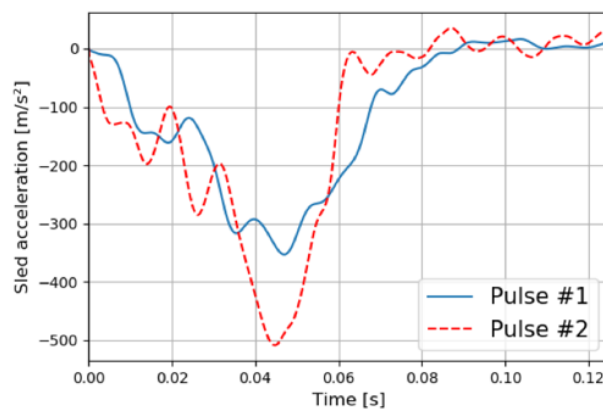
Comme détaillé dans la section **Véhicules autonomes – Direction d’impact lors d’accidents** de ce rapport, les collisions frontales semblent particulièrement critiques pour les futurs véhicules autonomes. Ainsi, dans un premier temps, les simulations se sont portées sur la prédiction de risque lésionnel lors de chocs frontaux. Deux profils de décélération, illustrés Figure n° 11, ont été utilisés. Le Pulse #1 (utilisé dans les essais de **Uriot et al.** [15]) représente une collision frontale à 56km/h sur barrière rigide avec un recouvrement complet et désévérisé de 20% (US-NCAP). Le Pulse #2, plus sévère, correspond à une collision frontale à 56km/h avec une barrière déformable (1400 kg) et un recouvrement de 50% (EURO-NCAP)

### 3.3 Configurations d’habitacle

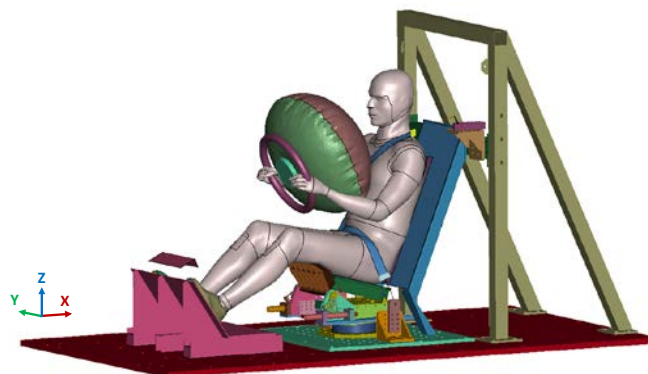
Le cockpit initial est illustré Figure n° 12. Ce dernier, fourni par le LAB, est constitué d’un siège semi rigide [15] complété par une ceinture trois points ainsi qu’un airbag pré-gonflé. L’environnement utilisé va être publié sous une licence Open Source et il est détaillé dans le **Livrable SURCA 7.2** [16]

Cette configuration représente un occupant en position de conduite dans un véhicule actuel. L’assise et la rampe anti-sousmarinage étaient inclinées respectivement de 15 et 32 degrés vers l’arrière par rapport à l’horizontal. Le dossier était incliné de 22 degrés par rapport à la verticale. Ces angles correspondent à ceux utilisés dans les essais de **Uriot et al.** [15].

**Figure n° 11 : Profils de décélération utilisés, représentant des collisions frontales**



**Figure n° 12 : Environnement d’habitacle initial, utilisé pour les simulations numériques**



[15] Uriot J., Potier P., Baudrit P., Trosseille X., Petit P., Richard O., Compigne S., Masuda M., and Douard R., 2015, "Reference PMHS Sled Tests to Assess Submarining", Stapp Car Crash Journal

[16] Poulard, D., Grébonval, C., Trosseille X. (2020), Livrable L7.2 « Modèle de cockpit générique », Projet SURCA, financé par la FSR, 13 p.

Comme détaillé dans la section

**Configurations d’habitacle des véhicules** autonomes, les nouvelles configurations d’habitacle sont essentiellement basées sur la variation de deux paramètres : la rotation du siège autour de l’axe vertical et l’inclinaison vers l’arrière. Ces deux types de configurations seront analysés.

### 3.3.1 Rotation du siège selon l’axe vertical [17]

Via simulations numériques, plusieurs études [18] ont déjà initié l’analyse des effets possibles de la rotation du siège sur la cinématique des occupants et sur l’efficacité des systèmes de retenue actuels. Ces études se sont focalisées sur des grands amplitudes de rotation (e.g. 45, 90, 180 degrés). Or, d’après les données de **Levallois et al.** [12], l’encombrement spatial des voitures actuelles limiterait la rotation des sièges à une vingtaine de degrés. Ainsi, dans le cadre du projet SURCA, nous nous sommes intéressés aux effets potentiels de faibles rotations du siège sur la sécurité de l’occupant. Les postures avec de grands angles (dos à la route essentiellement) n’ont pas été retenues pour l’instant car elles nécessiteraient des travaux spécifiques incompatibles avec la conduite des autres scénarios (les modèles humains ne sont pas validés pour des chocs arrière de forte sévérité, un environnement dédié serait nécessaire avec un dossier ajustable spécifique, etc.).

Quatre angles de rotation autour de l’axe vertical (swiveling) ont été analysés (0, 10, 20, et 30 degrés). De plus, trois postures d’occupants ont été étudiées (Figure n° 13). Les modifications posturales de l’occupant ont été réalisées en utilisant le logiciel PIPER ([www.piper-project.org](http://www.piper-project.org)).

La posture *Sedan driver* correspond à une position de conduite standard dans une berline Européenne de taille moyenne, et a été simulée en positionnant le modèle GHBMCM sur le siège par gravité. Les deux autres postures (i.e. *VAN driver* et *Laptop user*) se rapprochent davantage d’une position de travail [19, 20]. Pour ces deux nouvelles configurations, le siège a été pivoté de 10° autour de l’axe Y.

La présence d’un repose-pieds pour chaque angle de rotation ne semblant pas réaliste, le cockpit utilisé ne comprenait ni repose-pieds ni d’arrêtoir de genou. Initialement, l’airbag était maintenu dans sa position nominale pour chaque rotation du siège (AB Baseline). Cependant, pour la position *Sedan driver*, la rotation du siège induisait un désalignement entre l’airbag et la tête de l’occupant, comme illustré Figure n° 14.

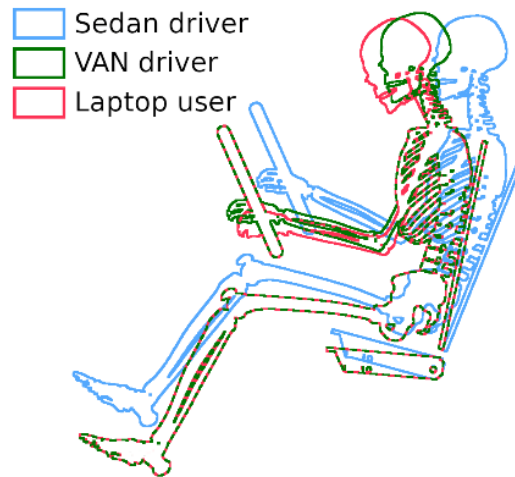
[17] Grébonval C., Trosseille X., Petit P., Wang X., and Beillas P., 2020, “The Effects of Small Seat Swiveling Angles on Occupant Responses During a Frontal Impact”, WCX 2020 SAE World Congress Experience.

[18] Zhao, J., Katagiri, M., Lee, S., and Hu, J., 2018, “GHBMCM M50-O Occupant Response in a Frontal Crash of Automated Vehicle”, 7th International Symposium: Human Modeling and Simulation in Automotive Engineering

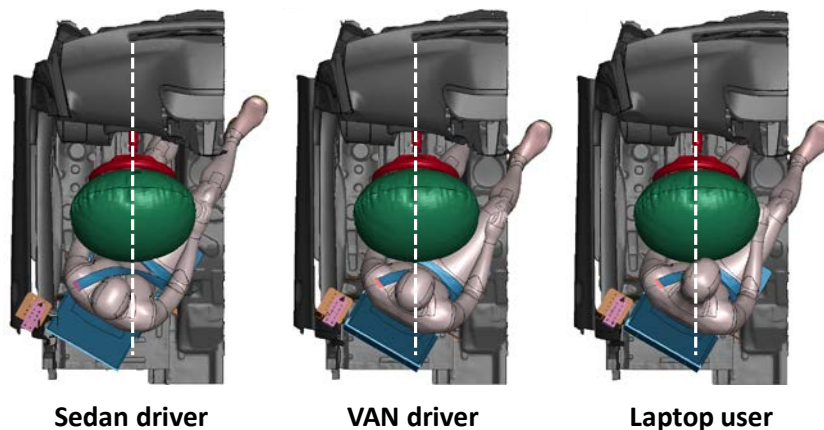
[19] Mandal, A.C., 1981, “The seated man (Homo Sedens) The seated work position. Theory and practice”, Applied Ergonomics

[20] Sommerich, C.M., Starr, H., Smith, C.A., Shivers, C., 2002, “Effects of notebook computer configuration and task on user biomechanics, productivity, and comfort”, International Journal of Industrial Ergonomics

**Figure n° 13 : Schéma des trois postures analysées pour les configurations Swiveled. L'occupant, le siège, ainsi que le volant sont représentés.**



**Figure n° 14 : Positions initiales de l'occupant et de l'airbag lors d'une rotation du siège de 30° (Plan XY). L'environnement automobile a été ajouté uniquement pour la présentation**



Etant donné que ce désalignement altérerait l'efficacité de la retenue par l'airbag, des simulations complémentaires ont été effectuées pour cette posture avec l'airbag déplacé le long de l'axe Y et centré sur la position latérale de la tête (AB Moved).

De plus, pour chaque position d'occupant, deux géométries d'assise ont été utilisées pour les configurations Swiveled. L'assise était soit non modifiée, i.e. plate, soit comportait des supports latéraux (Figure n° 15). Ces derniers avaient pour objectif de procurer un maintien latéral du bassin.

Les trente-huit configurations simulées sont détaillées Tableau n° 3. Les résultats de ces simulations sont détaillés dans Grébonval et al. [17].

Figure n° 15 : Géométries d’assise, avec (gauche) ou sans (droite) supports latéraux

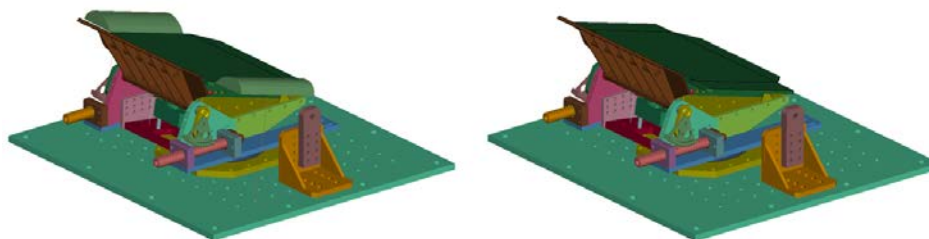


Tableau n° 3 : Matrice de simulations utilisée pour l’étude de la rotation du siège. AB : airbag

Occupant position	Occupant model	Seat rotation angle (deg)	AB position	Seat pan supports	Pulse	n# of simu.
3 positions	GHBMC M50-O v5.0	0	Baseline	Without	#1, #2	6
3 positions	GHBMC M50-O v5.0	30	Baseline	Without	#1	3
3 positions	GHBMC M50-O v5.0	10, 20 and 30	Baseline	Without	#2	9
Sedan	GHBMC M50-O v5.0	30	Moved	Without	#1	1
Sedan	GHBMC M50-O v5.0	10, 20 and 30	Moved	Without	#2	3
3 positions	GHBMC M50-O v5.0	30	Baseline	With	#1	3
3 positions	GHBMC M50-O v5.0	10, 20 and 30	Baseline	With	#2	9

### 3.3.2 Inclinaison du siège

Plusieurs études ont déjà initié l’étude des effets de l’inclinaison du dossier sur la cinématique des occupants et sur l’efficacité des systèmes de retenue actuels, via simulations numériques. Les résultats suggèrent que, lors de chocs frontaux, une position inclinée du dossier peut conduire à un sous-marinage de l’occupant (i.e. le bassin tourne et glisse sous la ceinture qui charge alors l’abdomen, ce qui peut provoquer des lésions graves). **Gepner et al.** [21] ont montré que pour une inclinaison de dossier donnée, les occupants plus petits (femme 5<sup>ième</sup> centile par exemple) étaient plus sujets à sous-mariner que les occupants plus grands (homme 95<sup>ième</sup> centile par exemple). **Boyle et al.** [22] ont montré que le maintien des membres inférieurs de l’occupant pouvait influencer la survenue du sous-marinage. Ainsi, en position relaxée, l’ajout d’un repose-pieds semble diminuer le risque de sous-marinage.

Cependant, ces différentes études n’incluaient pas d’airbag ce qui pourrait affecter la cinématique globale de l’occupant. Afin d’évaluer le risque associé à une position relaxée dans un environnement de HAV (highly automated vehicle), il serait plus pertinent d’évaluer la réponse de l’occupant avec un système de retenue plus plausible (e.g. inclure un airbag). De plus, les études précédentes ont étudié les effets de plusieurs angles de dossier (e.g. 20, 40 et 60 degrés) sans modifier l’angle de l’assise du

[21] B.D. Gepner, D. Draper, K. Mroz, R. Richardson, M. Ostling, B. Pipkorn, J. L. Forman, J. R. Kerrigan, 2019, “Comparison of Human Body Models in Frontal Crashes with Reclined Seatback”, In International Research Conference on the Biomechanics of Impact, IRCOBI.

[22] Kyle J. Boyle, Matthew P. Reed, Lauren W. Zaseck, Jingwen Hu, 2019, “A Human Modelling Study on Occupant Kinematics in Highly Reclined Seats during Frontal Crashes”, In International Research Conference on the Biomechanics of Impact, IRCOBI.

siège, fixé à 15 degrés. Cependant, afin d'adopter une position confortable, tout en inclinant le dossier du siège, l'occupant pourrait également souhaiter modifier l'angle de l'assise [23]. La modification de l'angle d'assise pourrait influencer la posture initiale de l'occupant et donc la cinématique globale ainsi que le risque de sous-marinage.

Aussi, dans le cadre du projet SURCA, nous nous sommes focalisés sur l'analyse de la réponse de l'occupant, lors de chocs frontaux, en position relaxée (i.e. reclined) avec modification de l'angle d'assise.

Afin de simuler des occupants en position relaxée, l'angle dossier a été fixé à 40° par rapport à la verticale. Trois angles d'assise ont été analysés (5, 15, et 25 degrés par rapport à l'horizontale). Les points d'ancrage des ceintures (pelvienne et thoracique) ont été pivotés avec le siège (respectivement l'assise et le dossier). De plus, pour chaque angle d'assise trois angles de bassin ont été analysés, correspondant à des postures plus ou moins relaxées (Less Slouch  $\approx 60^\circ$  ; Base  $\approx 70^\circ$  ; et More Slouch  $\approx 80^\circ$ ). Ainsi, dix postures ont été analysées (i.e. 1 Baseline + 9 Relaxées). Pour chacune des configurations, le cockpit incluait un cale-pieds (contrairement au cockpit utilisé pour étudier l'influence du swiveling).

Concernant les configurations relaxées, la position de l'airbag a été ajustée (selon les axes X et Z) afin de garder la distance avec le point H constante. De plus, la hauteur du siège a été conservée pour chaque angle d'assise, et l'angle genou de l'occupant a été fixé à environ 110° pour chaque posture relaxée.

La matrice de simulations utilisée pour cette étude est détaillée Tableau n° 4. Les simulations ont déjà été conduites et un article est en préparation concernant les résultats.

**Tableau n° 4 : Matrice de simulations utilisée pour l'étude de l'inclinaison du siège**

Occupant position	Occupant model	Seat back angle (deg)	Seat pan angle (deg)	Pelvis angle (deg)	Pulse
<b>Baseline</b>	GHBMC M50-O v5.0	22	15	52.1	#1, #2
<b>SP25 Less Slouch</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	25	59.5	#1, #2
<b>SP25 Base</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	25	69.1	#1, #2
<b>SP25 More Slouch</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	25	77.5	#1, #2
<b>SP15 Less Slouch</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	15	59.9	#1, #2
<b>SP15 Base</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	15	69.9	#1, #2
<b>SP15 More Slouch</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	15	79.0	#1, #2
<b>SP05 Less Slouch</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	5	58.0	#1, #2
<b>SP05 Base</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	5	67.8	#1, #2
<b>SP05 More Slouch</b>	GHBMC M50-O v5.0	40	5	76.2	#1, #2

[23] Theodorakos, Ilias, Léo Savonnet, Georges Beurier, and Xuguang Wang, 2018, "Can Computationally Predicted Internal Loads Be Used to Assess Sitting Discomfort? Preliminary Results". In Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association.

## 4 RESULTATS PRELIMINAIRES ET PERSPECTIVES

Les résultats des deux études présentées précédemment ont indiqué que les postures relaxées semblent particulièrement critiques pour les occupants en choc frontal, notamment à cause du risque de sous-marinage. Les configurations Swiveled semblent augmenter le risque de lésions cérébrales et de fractures bassin, mais de simples contre-mesures (e.g. adapter la position de l'airbag, ajouter des supports latéraux à l'assise) font baisser ce risque. Les configurations Reclined, quant à elles, augmentent le risque de lésions abdominales (notamment à cause du sous-marinage). Le sous-marinage est influencé à la fois par l'angle d'assise et par la posture de l'occupant (i.e. un angle d'assise faible et un angle bassin élevé accroissent le risque de sous-marinage). Ainsi, dans la suite du projet SURCA, nous allons étudier davantage la réponse de l'occupant en position relaxée.

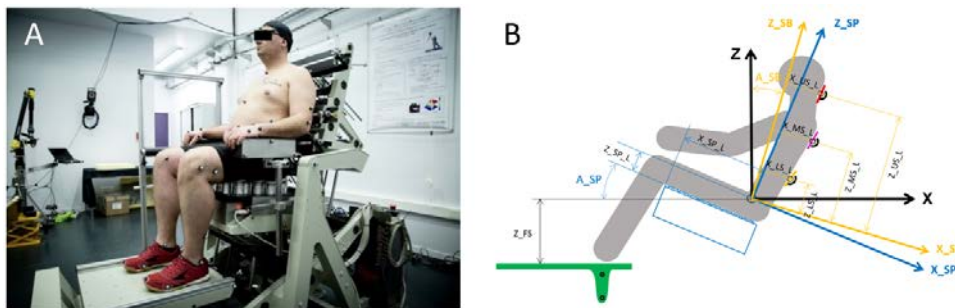
Etant donné que le positionnement de l'occupant dans ces configurations était réalisé arbitrairement (par manque de documentation dans ces conditions), une expérimentation sur volontaires va être menée afin de d'évaluer la position de confort des occupants en conditions relaxées. Pour ce faire, le conformateur [24] disponible au LBMC (Figure n° 16) semble être un outil pertinent afin de représenter un siège de véhicule autonome, notamment via la possibilité de modifier indépendamment l'un de l'autre l'angle dossier ( $A_{SB}$ ) et celui d'assise ( $A_{SP}$ ).

L'expérimentation sera divisée en deux parties (Figure n° 17).

Dans la première partie, la position de confort des participants sera quantifiée pour des angles d'assise et de dossier fixés. Ainsi, le participant aura la possibilité de modifier uniquement la position du repose pied afin d'adopter une posture confortable.

Dans la seconde partie, les participants auront la possibilité de moduler l'angle d'assise afin de trouver la position la plus confortable pour un angle de dossier donné, puis la position sera quantifiée. Ainsi, pour cette partie, le participant aura la possibilité de modifier davantage de paramètres du conformateur, à savoir l'angle d'assise, la position du repose pied ainsi que la position des supports dorsaux.

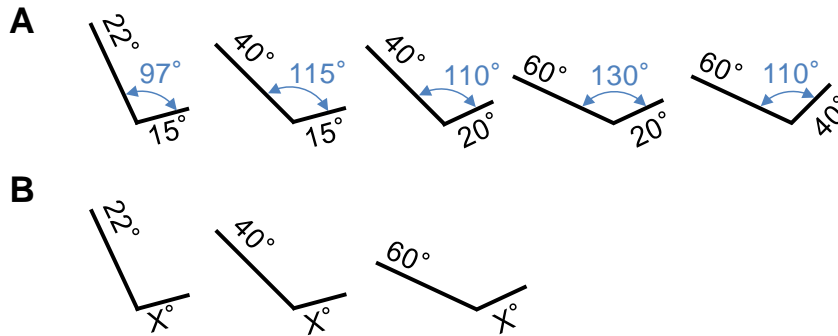
**Figure n° 16 : Siège expérimental (A: Photographie du conformateur ; B: Paramètres du conformateur)**



*Beurier et al. [24]*

[24] G. Beurier, M. Cardoso, X. Wang, « A New Multi-Adjustable Experimental Seat for Investigating Biomechanical Factors of Sitting Discomfort », 2017, Conference: WCX™ 17: SAE World Congress Experience



**Figure n° 17 : Matrice d'essais utilisée lors de l'expérimentation**

Ces différents résultats serviront de paramètres initiaux pour de nouvelles simulations afin d'évaluer le risque lésionnel associé à des configurations relaxées dans des conditions plausibles et confortables pour l'occupant.

Par ailleurs cette expérimentation portera sur des participants avec diverses anthropométries, ce qui permettra d'évaluer l'impact de l'anthropométrie sur la position de confort et sur le risque de lésion en position relaxée.