

Chapitre 2

Modélisation de solutions et évolution

1. Modélisation de solution et évolution concernant l'impact tête

L'objectif de ce travail est d'évaluer les solutions existantes au regard de critères biomécaniques, décrits précédemment. Elle consiste à proposer une modélisation du point d'impact du capot par un modèle à paramètres localisés à partir des données accélérométriques en translation et rotation provenant de test d'impact de la fausse tête ISO piéton sur le capot. La procédure d'évaluation de la sévérité d'un capot de voiture à l'aide de critère biomécanique, est décrite dans la [figure](#) figure129. La prochaine étape de ce travail est d'appliquer cette procédure à des tests expérimentaux sur capots réels.

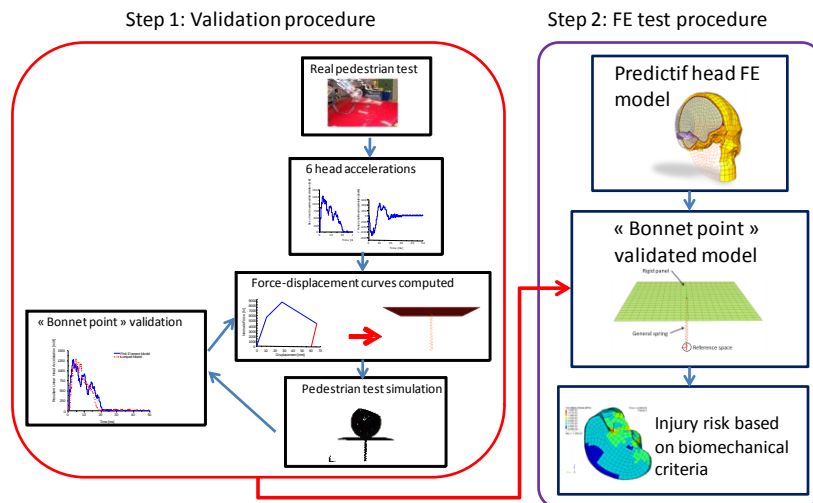


Figure 129. Représentation de la procédure d'évaluation de la sévérité du capot à l'aide du modèle par éléments finis de la tête humaine.

1.1. Cas d'étude

Notre attention s'est portée sur le capot et l'architecture supérieure du GCM5 (figure 130) représentatif d'un véhicule de segment D comme décrit lors de la 1ère année du projet (typologies des véhicules impliqués dans des accidents avec des piétons).

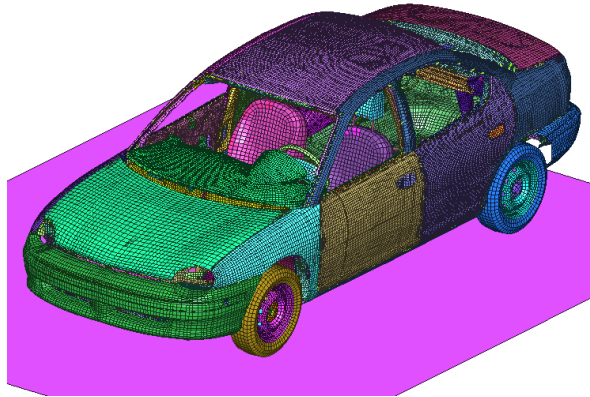


Figure 130. GCM5

En particulier, l'architecture sous la zone haute du capot du GCM5 laisse très peu de débattement pour amortir la tête d'un piéton en cas de choc : 25mm de débattement Z du capot avant contact sur la structure latérale ou les coupelles d'amortisseur (Figure 131).

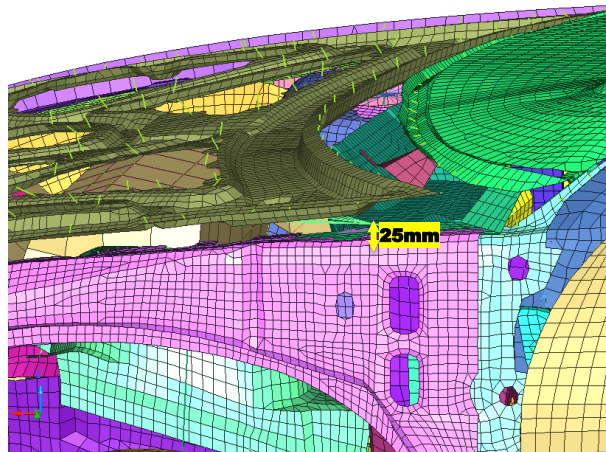


Figure 131. Architecture supérieure du GCM5

Par ailleurs, la proximité avec les charnières de capot, l'auvent et la boîte à eau rendent cette zone particulièrement dangereuse pour les piétons.

Nous avons donc décidé d'étudier cette zone. Cela étant, compte tenu du peu de place disponible pour amortir la tête du piéton, il faudrait modifier l'architecture véhicule mais comme il nous était demandé de ne pas faire de développement de solutions produit dans le projet ASP, nous avons fait comme décrit dans le plan de travail, une évaluation de l'existant (avec comme référence un capot aluminium) et investigué par calcul des aménagements de la zone permettant de réduire le HIC de la tête.

Conditions de simulation : tête enfant 3,5kg lancée en conditions Réglementaires (35km/h – 50° par rapport à l'horizontale) en zone haute du capot.

- ⇒ Le capot de référence aluminium donne un HIC très élevé (2205) – courbes en partie 1.3
- ⇒ Le capot avec une doublure SMC adaptée permet de réduire le HIC à 1028, en particulier grâce à des lignes de faiblesse aménagées dans le composite de telle sorte que le capot reste fonctionnel (torsion...) mais puisse casser en cas de choc avec la tête d'un piéton (132)

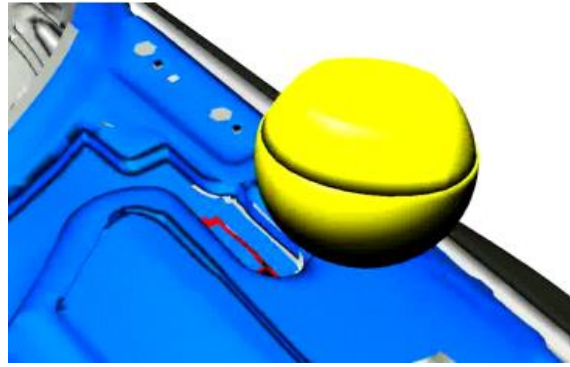


Figure 132. Rupture programmée du composite en cas de choc avec la tête d'un piéton

Les accélérations linéaires et de vitesse angulaire de la tête ont été fournies à l'Université de Strasbourg afin d'effectuer une comparaison de la réponse lésionnelle et segmentaire pour la référence aluminium et le capot traité composite en termes de protection piéton, l'objectif étant de pouvoir définir si le gain de HIC constaté en segmentaire est confirmé par l'analyse lésionnelle.

1.2. Evaluation du risque lésionnel

La figure 133 représente les courbes d'accélérations linéaires et de vitesses angulaires de tests numériques d'impact d'une fausse tête ISO piéton sur un point du capot aluminium (ALU) donnant un HIC de 2205 et de la solution technologique SMC donnant un HIC de 1028.

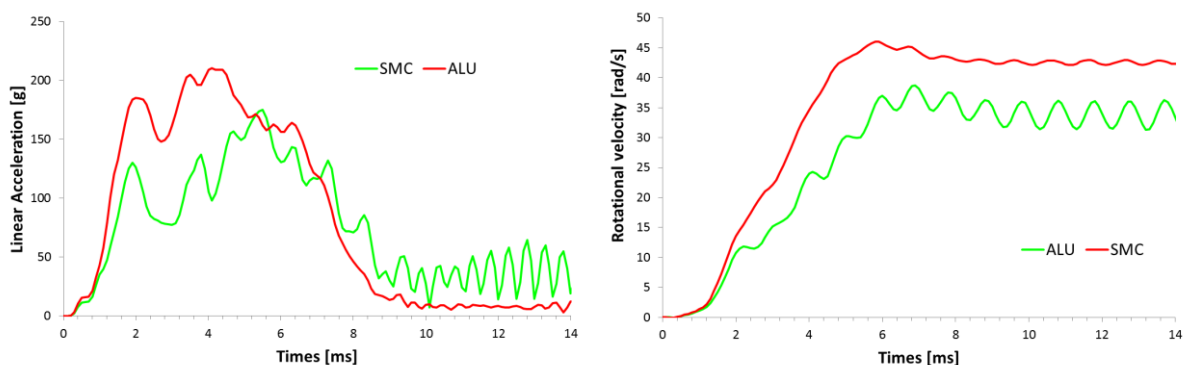


Figure 133. Courbes accélérométriques et de vitesses angulaires pour deux points d'impacts correspondant aux deux capots.

Les données des tests d'impacts de la fausse tête ont donc permis d'identifier les paramètres de chaque modèles à paramètres localisés « point capot » correspondant à chaque capot. Ces modèles ont été utilisés avec le modèle par éléments finis de la tête humaine (SUFEHM) afin d'évaluer le risque lésionnel encouru pour une vitesse d'impact de (35 km/h). Plusieurs configurations d'inclinaison de la tête ont été envisagées et présentées dans la figure 134.

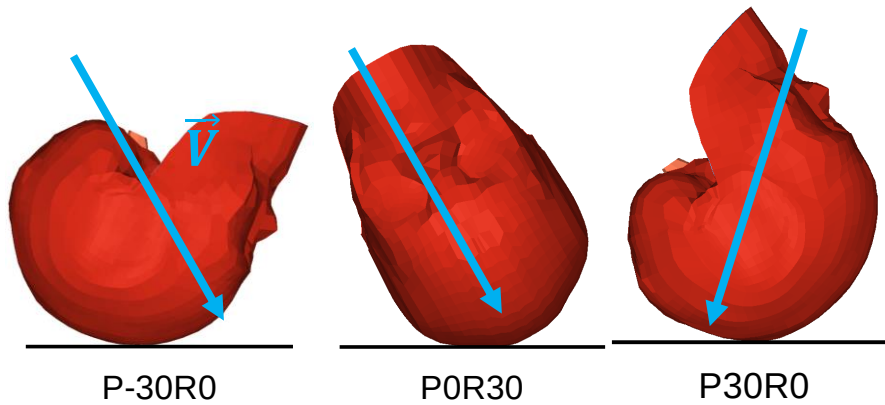


Figure 134. Représentation des différentes configurations d'impact de la tête. P correspond au Pitch et R au Roll et l'angle est donné en degré en accord avec le repère local de la tête.

La figure 135 représente les risques lésionnels extraits des simulations avec le modèle SUFEHM pour les deux capots sous trois configurations d'impact correspondant à trois inclinaisons de la tête. On observe clairement que le risque de lésions neurologiques sévères est de l'ordre de 90% pour le capot ALU tandis que la solution SMC fait diminuer ce risque à 30%. De même pour le risque d'hématome sous-dural, la solution SMC fait diminuer ce risque de 30% environ par rapport au capot en aluminium.

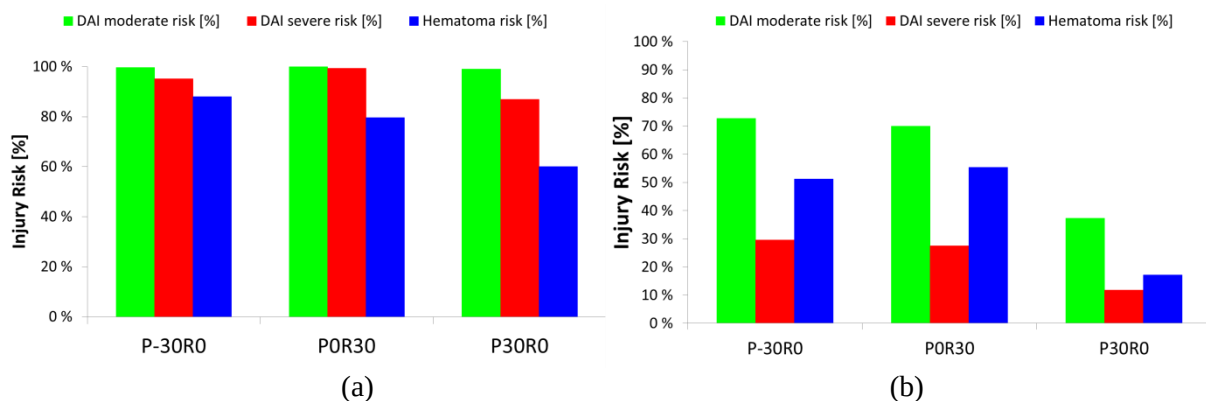


Figure 135. Représentation des risques de lésion de la tête en termes neurologique ou hématome sous dural pour les trois configurations d'impact pour le capot ALU (a) et SMC (b).

1.3. Perspectives

Nos travaux nous ont amenés à la conclusion qu'un capot avec une peau extérieure acier ou aluminium couplée à une doublure composite utilisant les matériaux que nous avons caractérisés permettrait d'améliorer la protection de la tête des piétons en cas de choc par rapport aux solutions conventionnelles.

La figure 136 illustre les principes d'un tel capot, en particulier l'utilisation pour la doublure :

- en partie centrale de renforts composites unidirectionnels permettant de limiter la flèche du capot (zone centrale souple) lors d'un impact tête afin d'éviter de heurter les points durs moteur
- sur le reste de la surface un SMC basse densité (pour l'allègement) et traité en conception pour casser dans les zones en appui sur la structure véhicule, en particulier la périphérie du capot

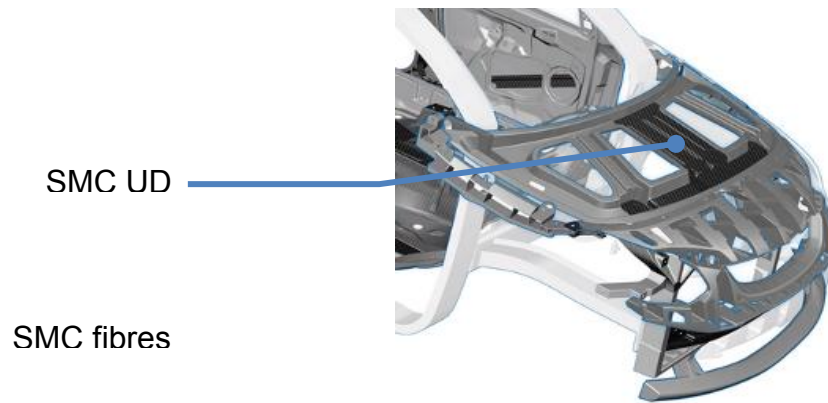


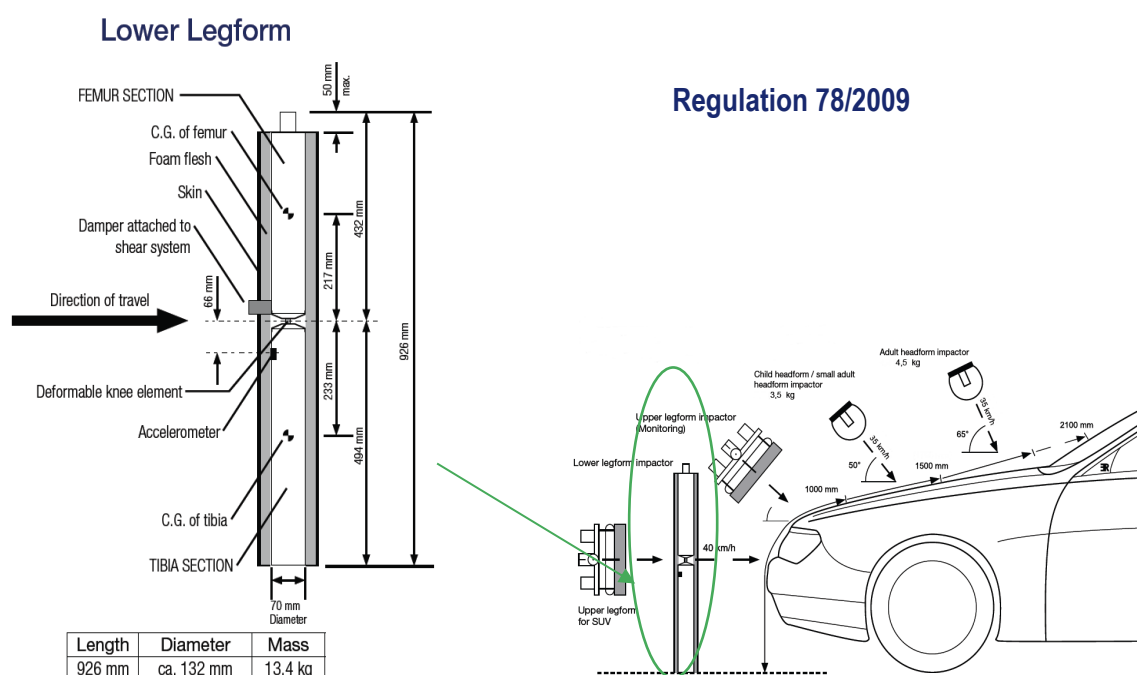
Figure 136. Capot à doublure composite (peau extérieure retirée de la vue)

2. Comment la piétonisation de véhicule et son optimisation peut-elle diminuer la vulnérabilité du piéton.

2.1. Introduction

L'objectif de cette tâche est l'étude de l'influence de la variabilité du bloc avant pour le choc piéton « lower leg », suivant la réglementation en vigueur.

Rappel de la réglementation



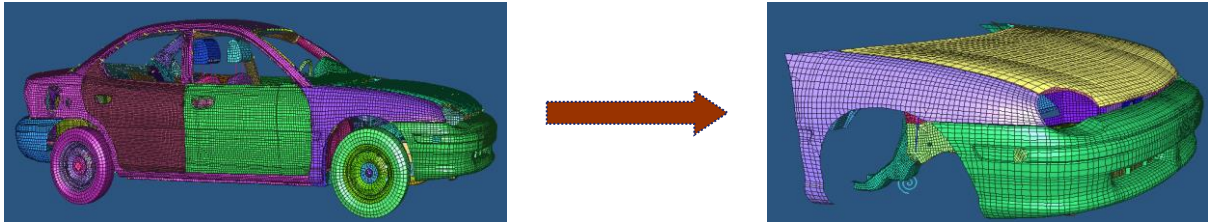
Les valeurs limites des critères jambe utilisés comme référence pour l'analyse sont présentés ci dessous:

Critères	Réglementation Europe	EuroNCAP
Décélération	170 g	150 g
Flexion	19°	15°
Cisaillement	6 mm	6mm

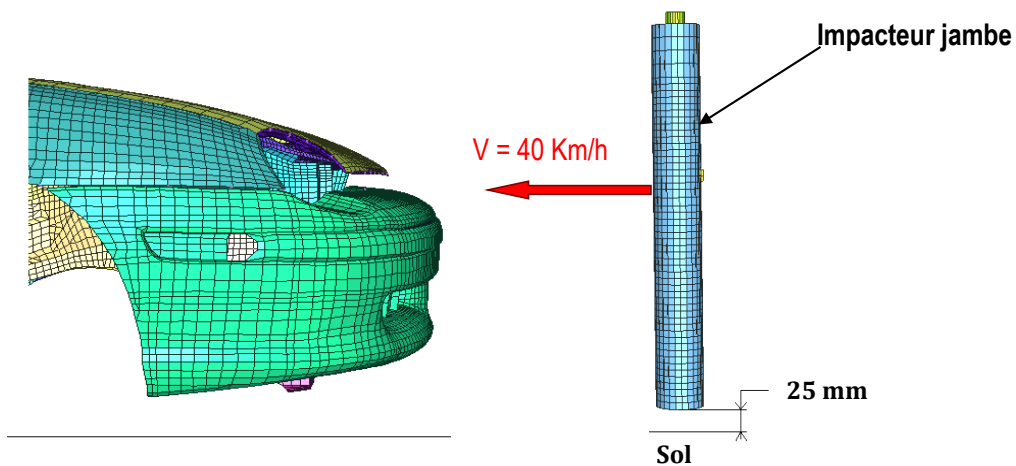
2.2. Mise en données et simulation du véhicule «GCM5»

Simplification du modèle

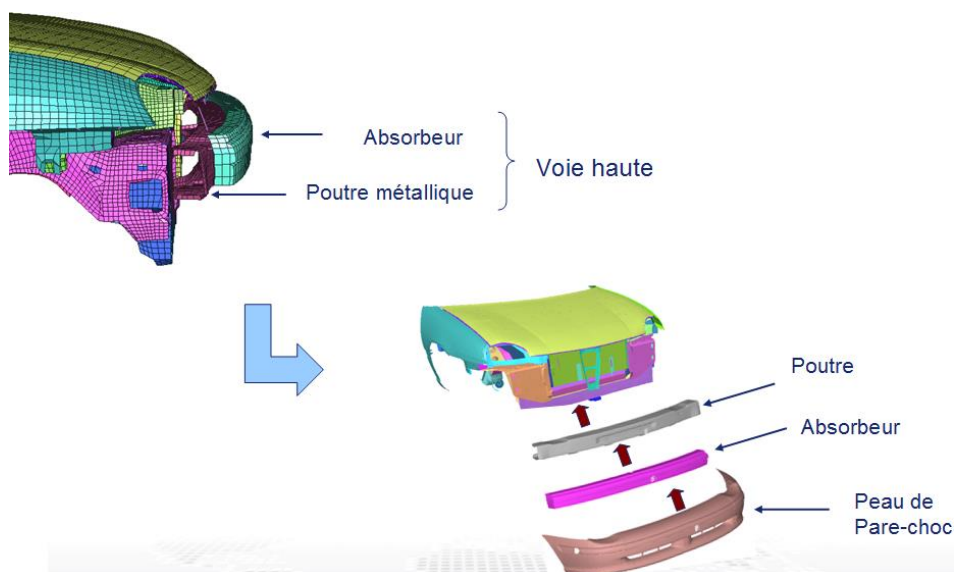
Afin de réduire le temps de calculs, la géométrie du véhicule a été simplifiée pour ne considérer que le bloc avant.



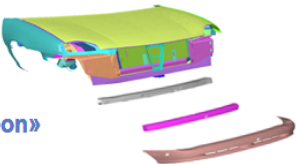
Mise en place du choc piéton :



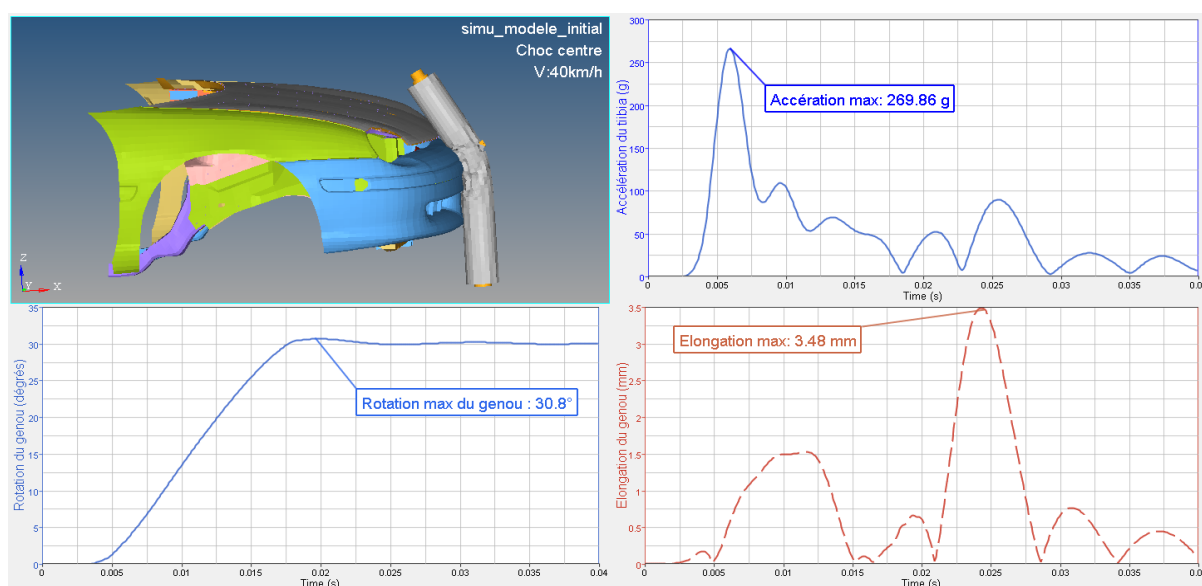
Détail des structures du bloc avant GCM5 utilisées dans les simulations :



Descriptif propriétés mécaniques des structures utilisées dans le modèle « GCM5 »

 Modèle «néon»			Systèmes d'unités: T , mm , s			
			Types	Caractéristiques		
			Matériaux	Propriétés	Lois	Géométries
Voie haute	poutre		Acier	Elasto-pastique E = 210 000 Rho = 7.89 E-9	Piece-wise linear (36)	Epaisseur (1.95 mm)
	absorbeur		Mousse	E = 1788 Rho = 1.47 E-10	Drucker prager (2)	
			Peau métallique en acier	Elasto-pastique E = 210 000 Rho = 7.89 E-9	Piece-wise linear (36)	Epaisseur (1 mm)
Voie basse						
Peau de pare-choc			Plastique	Elasto-pastique E = 2800 Rho = 1.2 E-9	Piece-wise linear (36)	Epaisseur: (3.5 mm)

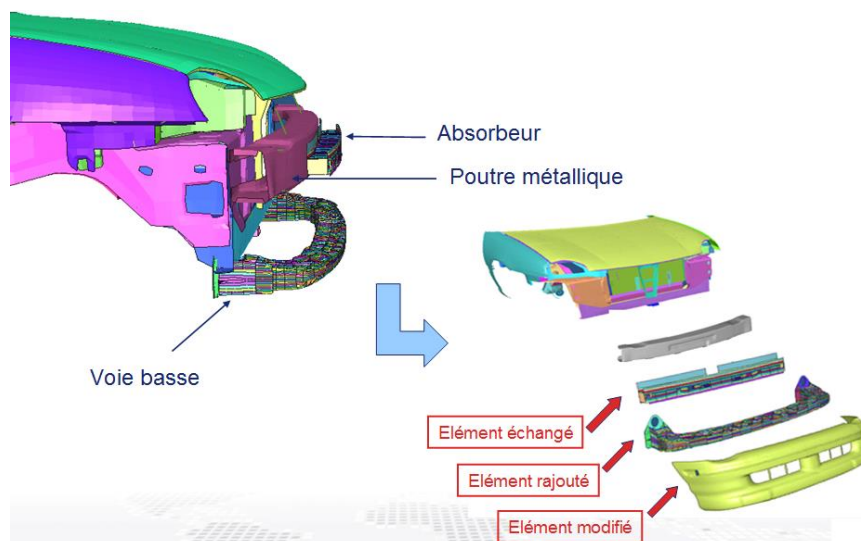
Résultat de simulation du modèle « GCM5 » de référence :



On constate que le véhicule ne répond pas aux critères, d'où la nécessité de reconcevoir le bloc avant vers un bloc avant dit piétonnisé.

2.3. Mise en données et simulation du véhicule « GCM5-modifié »

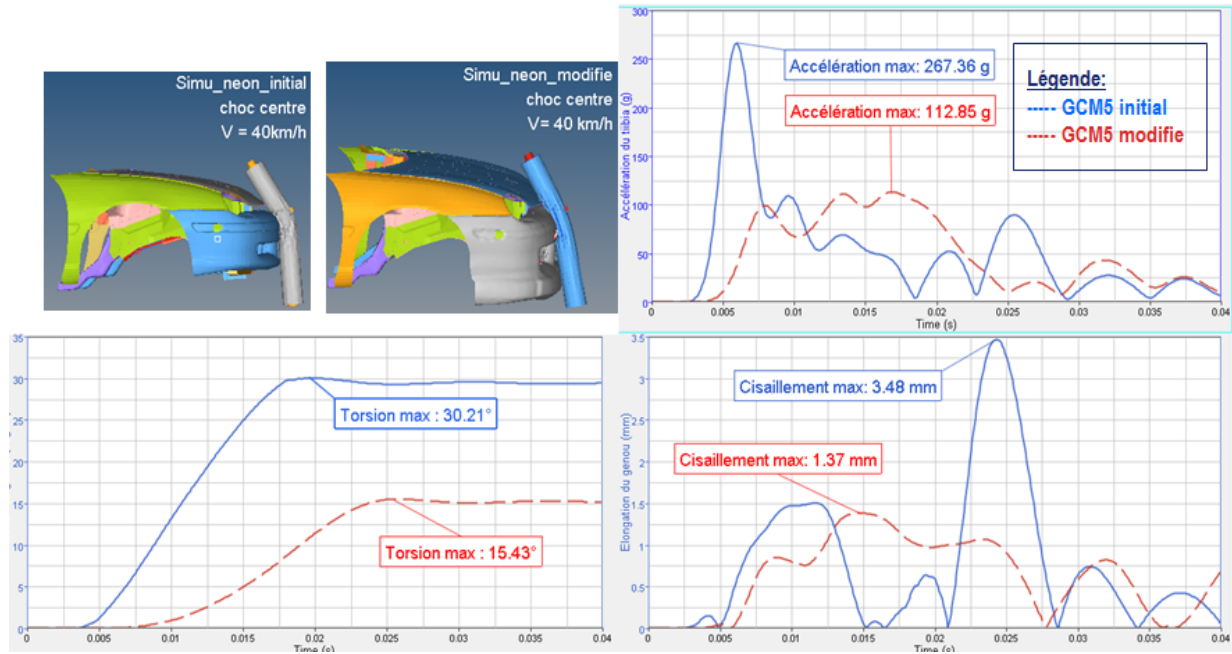
Structure du bloc avant « GCM5- modifié » consiste à remplacer l'absorbeur initial par deux structures distinctes (en références aux pratiques habituelles pour le design de face avant de véhicule) :



Descriptif propriétés mécaniques des structures utilisées pour le modèle «GCM5-modifié »

Modèle « GCM5-modifié »			Systèmes d'unités: T , mm , s			
			Types	Caractéristiques		
			Matériaux	Propriétés	Lois	Géométries
Voie haute	Poutre		Acier	Elasto-plastique $E = 210\ 000$ $Rho = 7.89\ E-10$	Piece-wise linear (36)	Epaisseur: (1.95 mm)
	Absorbeur		Plastique	P108 { Elasto-plastique $E = 1280$ $Rho = 8\ E-10$	Johnson-cook (2)	Epaisseur: (variable)
Voie basse			Plastique	P108 { Elasto-plastique $E = 1280$ $Rho = 8\ E-10$	Johnson-cook (2)	Epaisseur: (variable)
Peau de pare-choc			Plastique	P108 { Elasto-plastique $E = 1280$ $Rho = 8\ E-10$	Johnson-cook (2)	Epaisseur: (3 mm)

Résultats de simulation du modèle « GCM5-modifié »



Les modifications apportées (insertion de l'absorbeur en voie haute, d'une voie basse et la modification de la peau) permettent d'atteindre un niveau de protection piéton compatible avec la réglementation en vigueur (résultats EuroNCAP limites mais jugés suffisants).



Ce modèle peut être pris comme référence pour l'étude de sensibilité en fonction des paramètres que nous allons spécifier.

2.4. Etude de sensibilité sur le design des structures et la vulnérabilité du piéton :

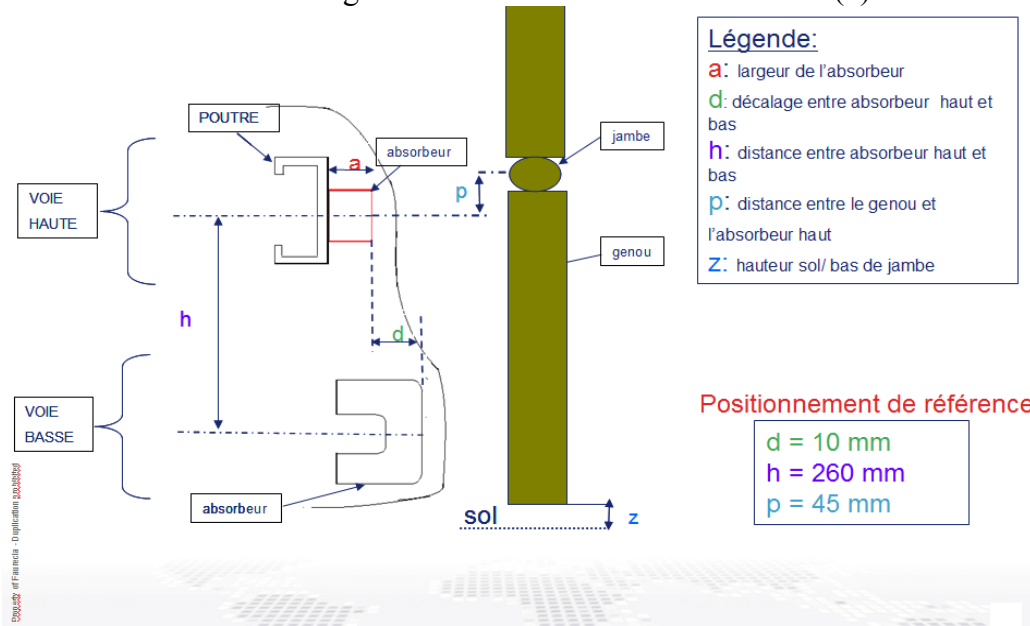
L'analyse de sensibilité considèrera des paramètres géométriques relatifs au design des structures, des paramètres mécaniques (variabilités des propriétés) et enfin des paramètres relatifs aux conditions normatives de tests (c'est-à-dire la position relative de l'impacteur au regard de la structure du véhicule).

2.4.1 Paramètres géométriques (Influence de positionnement)

Ces paramètres donneront des indications sur l'influence du positionnement des composants du bloc avant, nous en avons défini trois.

- Variation de la distance z entre l'absorbeur et la voie basse (h)
- Variation de la position verticale du genou (p)

- Variation du décalage x entre l'absorbeur et la voie basse (d)



2.4.2 Paramètres matériaux (Influence de la raideur)

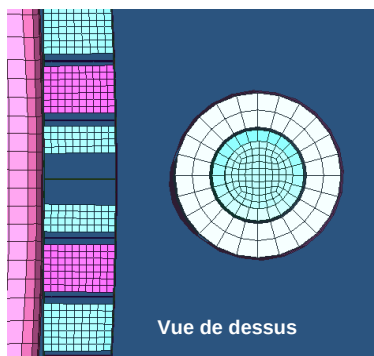
Ces paramètres permettront d'évaluer l'influence de la raideur des différents composants.

- ✓ Modification d'épaisseur de la peau de pare-choc
- ✓ Variation du module d'Young de l'absorbeur
- ✓ Variation du module d'Young de la voie basse

2.4.3 Conditions de test (Influence de la position Y de l'impacteur)

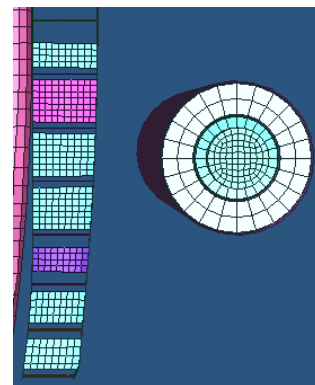
Deux positions sont étudiées : $Y=0$ et $Y=-125$

• Position $Y = 0$



L'impacteur se trouve en face d'une nervure verticale

• Position $Y = -125\text{mm}$



L'impacteur se trouve en face d'une nervure horizontale

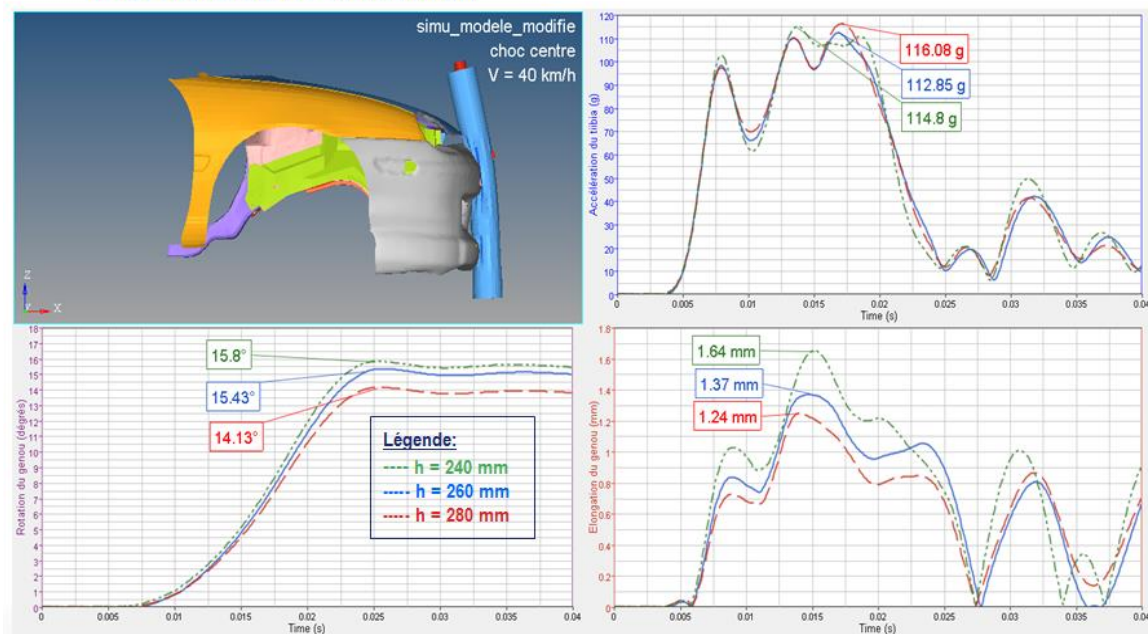
2.5. Résultats des simulations

2.5.1 Position Y=0

❖ Paramètres géométriques :

✓ Influence de la distance (h) en z entre l'absorbeur et la voie basse

Résultats de la simulation



Observations:

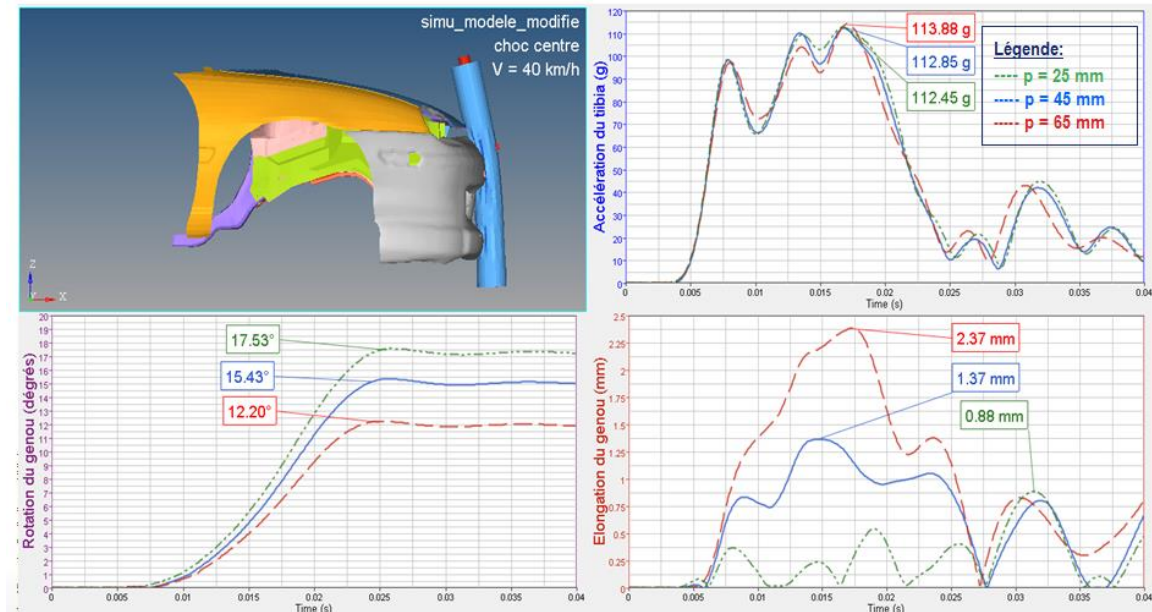
- à $h = 240 \text{ mm}$
 - Très légère augmentation de l'accélération (+1.8%)
 - Dégradation de la torsion (+6.5%)
 - Faible augmentation du cisaillement (+21%)
- à $h = 280 \text{ mm}$
 - Légère augmentation de l'accélération (+3.6%)
 - Diminution de la torsion (-6%)
 - Faible diminution du cisaillement (-9.5%)

Conclusions:

- ☐ Plus la distance h entre l'absorbeur et la voie basse augmente, plus on améliore la torsion et le cisaillement du genou.
- ☐ Par contre en réduisant ou en augmentant cette distance, on détériore très faiblement le critère d'accélération qui reste quasi constant.

- ✓ Influence de la distance (p) en z entre l'axe du genou et l'absorbeur.

Résultats de la simulation



Observations:

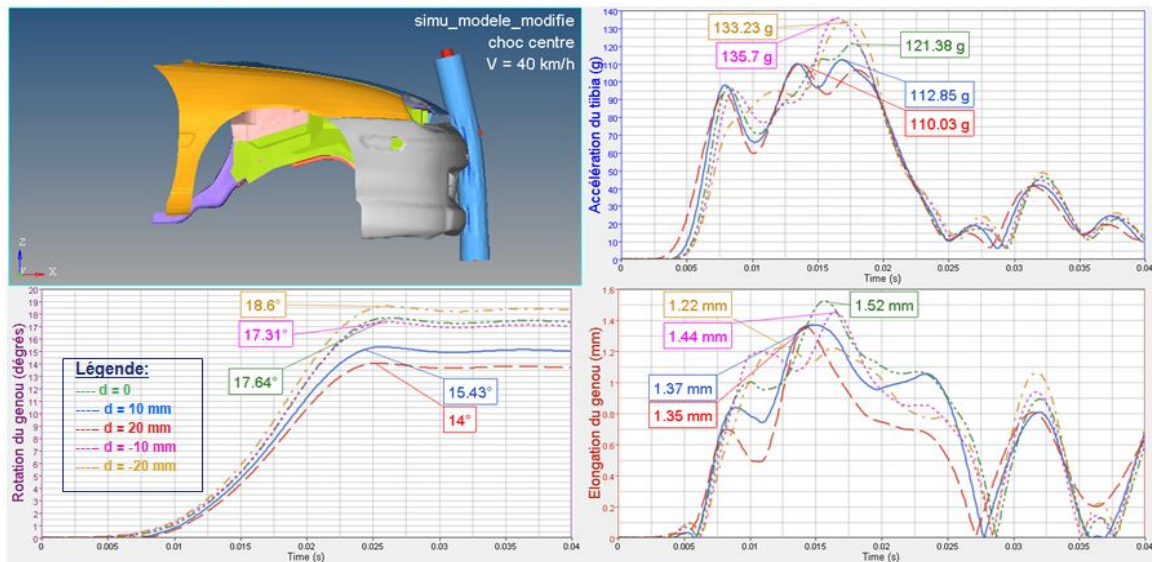
- à $p = 25 \text{ mm}$
 - l'Accélération est quasi constante (-0.4%).
 - Diminution de l'élongation de (-36%).
 - Augmentation de la torsion (+13%).
- à $p = 65 \text{ mm}$
 - l'Accélération est quasi constante (+0.9%) -
 - Diminution de la torsion (-21%).
 - Augmentation du cisaillement (+73%).

Conclusions:

- En augmentant la distance P, on obtient un meilleur angle de torsion du genou, avec un moins bon cisaillement.
- En revanche en réduisant cette distance p, la torsion du genou se détériore mais on améliore le cisaillement.
- l'Accélération est quasi constante.

- ✓ Influence du décalage (d) en x de la voie basse par rapport à l'absorbeur

Résultats de la simulation



Observations:

• à $d = 20 \text{ mm}$

-l'accélération quasi constante (-2.5 %), le cisaillement aussi (-1.5%). La torsion s'améliore de (-10%).

• à $d = 0$

-Augmentation de l'accélération de (+8.5%), de la torsion (+14%) et du cisaillement (+11%).

• à $d = -10 \text{ mm}$

-Diminution de l'accélération de (+20%), de la torsion (+14%) et légèrement du cisaillement (+5%).

• à $d = -20 \text{ mm}$

-Augmentation de l'accélération de (+18%), de la torsion de (+21%), le cisaillement lui s'améliore de (-11%)

Conclusions:

□ Dans la configuration avec une voie basse plus avancée par rapport à l'absorbeur, on améliore nettement les critères de décélération et torsion.

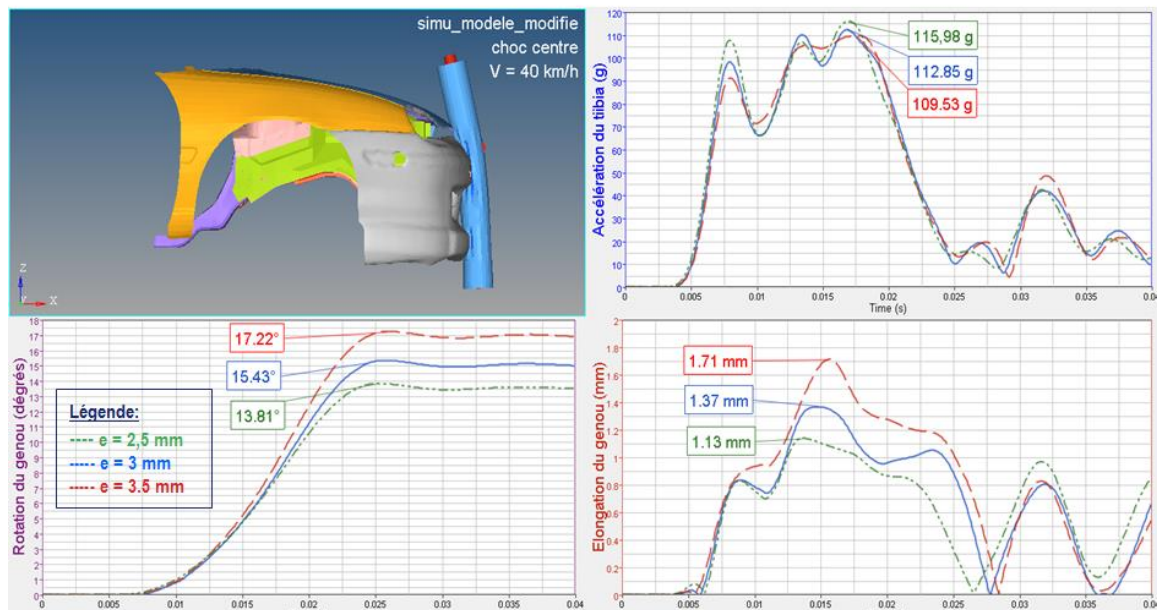
□ Tandis que, lorsque c'est l'absorbeur qui est plus avancée par rapport à la voie basse, on a cette fois ci une nette dégradation des critères.

□ Le cisaillement dans les deux cas reste lui très peu variable, avec une tendance de dégradation lorsqu'on a un faible décalage entre l'absorbeur et la voie basse.

❖ Paramètres matériaux

✓ Influence de l'épaisseur de la peau de pare-choc

Résultats de la simulation



Observations:

• à $e = 2.5$ mm

- Faible réduction de l'accélération (-3%).
- Augmentation de la torsion (+12%)
- Augmentation du cisaillement (+26%).

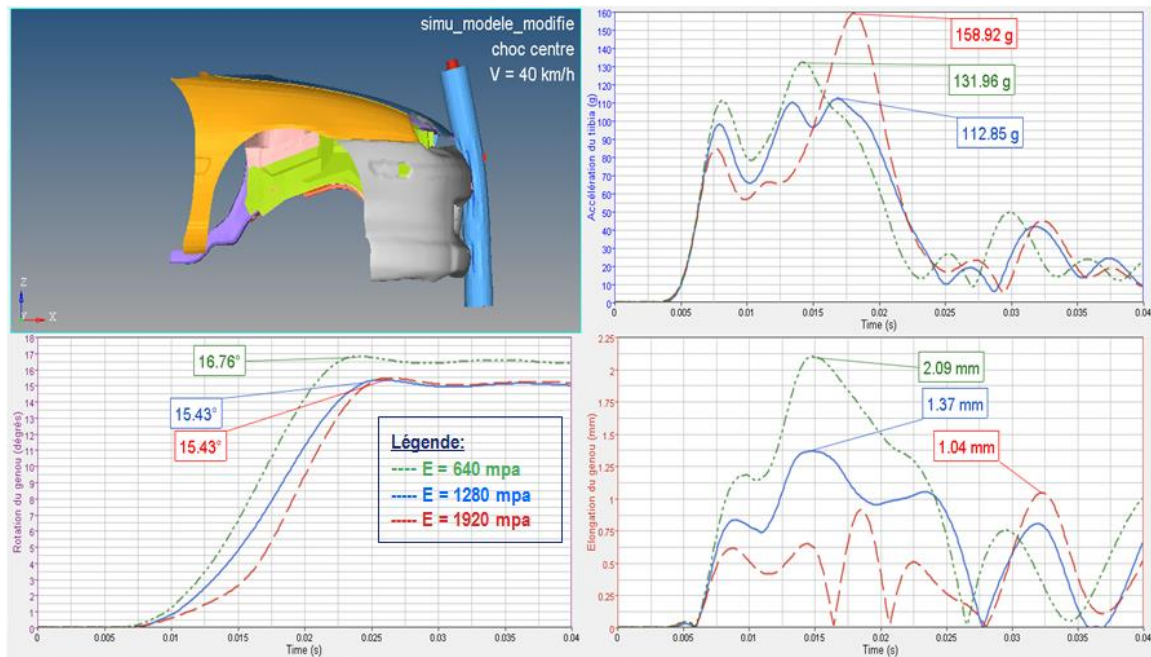
• à $e = 3.5$ mm

- Faible augmentation de l'accélération (+3%)
- Réduction de la torsion (-13%)
- Faible diminution du cisaillement (-18%)

Conclusions:

- ☐ L'augmentation de l'épaisseur améliore l'angle de rotation.
- ☐ La décélération reste très peu variable au changement d'épaisseur, même si elle tend à s'améliorer avec une épaisseur plus fine.
- ☐ Idem, l'élongation reste quasi constante, en restant plus favorable avec une épaisseur moins fine

✓ Influence du module d'Young (E) de l'absorbeur



Observations:

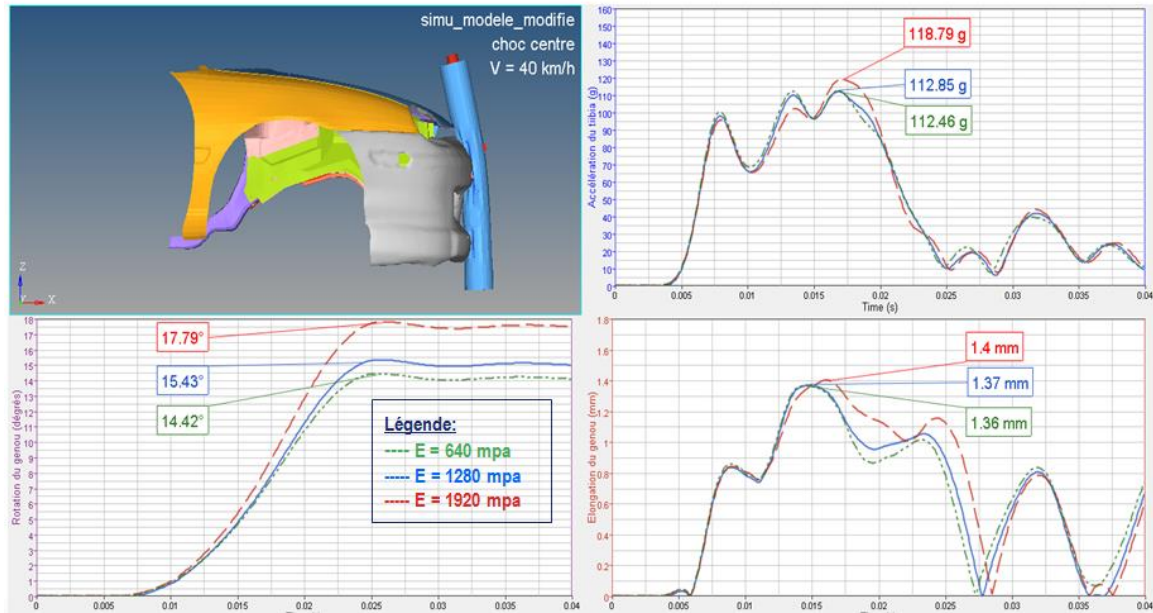
- à $E = 640 \text{ mpa}$
 - Forte dégradation de l'accélération autour de (+40%).
 - Torsion constante.
 - Faible diminution du cisaillement (-24%).
- à $E = 1920 \text{ mpa}$
 - Nette augmentation de l'accélération (+18%).
 - Légère dégradation de la torsion (6.5%).
 - Augmentation du cisaillement (51%).

Conclusions:

- ☐ Si on a un matériau très « mou » ou trop « raide », on fait croître la décélération dans les 2 cas. En effet si l'absorbeur est très « mou » il ne retiendra pas la jambe qui va aller s'écraser contre la poutre sur laquelle est fixé l'absorbeur. De même si l'absorbeur est trop raide il se comportera comme un « point dur » donc il absorbera moins le choc.
- ☐ Pour un matériau à fort module d'élasticité on accroît le cisaillement.
- ☐ La torsion reste quasi constante, néanmoins elle tend augmenter avec un absorbeur plus raide.

- ✓ Influence du module d'Young (E) de la voie basse.

Résultats de la simulation



Observations:

- à $E = 640 \text{ mpa}$
 - Légère augmentation de l'accélération (5.5 %).
 - Dégradation de la torsion (+13%).
 - Très faible augmentation (+2%).
- à $E = 1920 \text{ mpa}$
 - Accélération et le cisaillement sont quasi constants.
 - Légère baisse de la torsion (6.5%)

Conclusions:

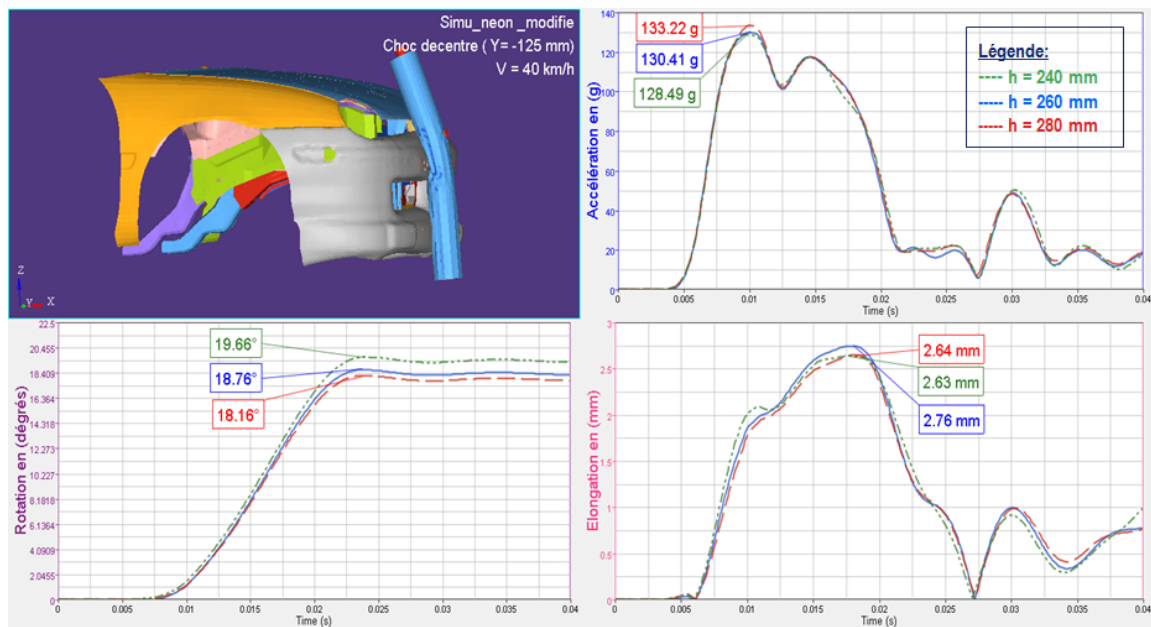
- ☐ Avec un matériau à faible module d'élasticité, on augmente la torsion.
- ☐ La décélération reste quasi constante, avec cependant une très légère tendance d'amélioration lorsque le matériau est plus raide.
- ☐ Le cisaillement dans les deux cas est quasi constant.

5. Résultats des simulations

5.2. Position Y=-125

- ❖ Paramètres géométriques
- ✓ Influence de la distance (h) en z entre l'absorbeur et la voie basse

Résultats de la simulation



Observations:

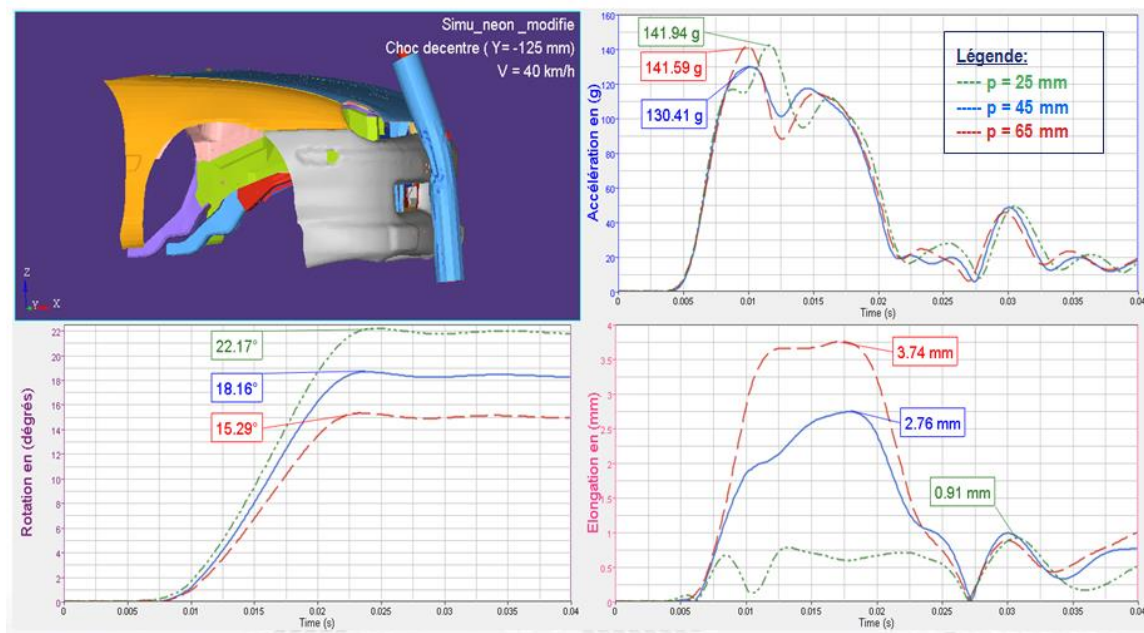
- à $h = 240 \text{ mm}$
 - Accélération quasi constante de (+1.5%).
 - Dégradation légère de la torsion de (+ 5%).
 - Faible hausse du cisaillement de (- 4%).
- à $h = 280 \text{ mm}$
 - Accélération quasi constante de (+2.5%).
 - Torsion quasi constante de (+3%).
 - Faible diminution du cisaillement de (-4%).

Conclusions:

- ☐ Globalement les critères varient peu.
- ☐ Il y'a tout de même une légère tendance à l'amélioration lorsque la distance h augmente.

- ✓ Influence de la distance (p) en z entre l'axe du genou et l'absorbeur.

Résultats de la simulation



Observations:

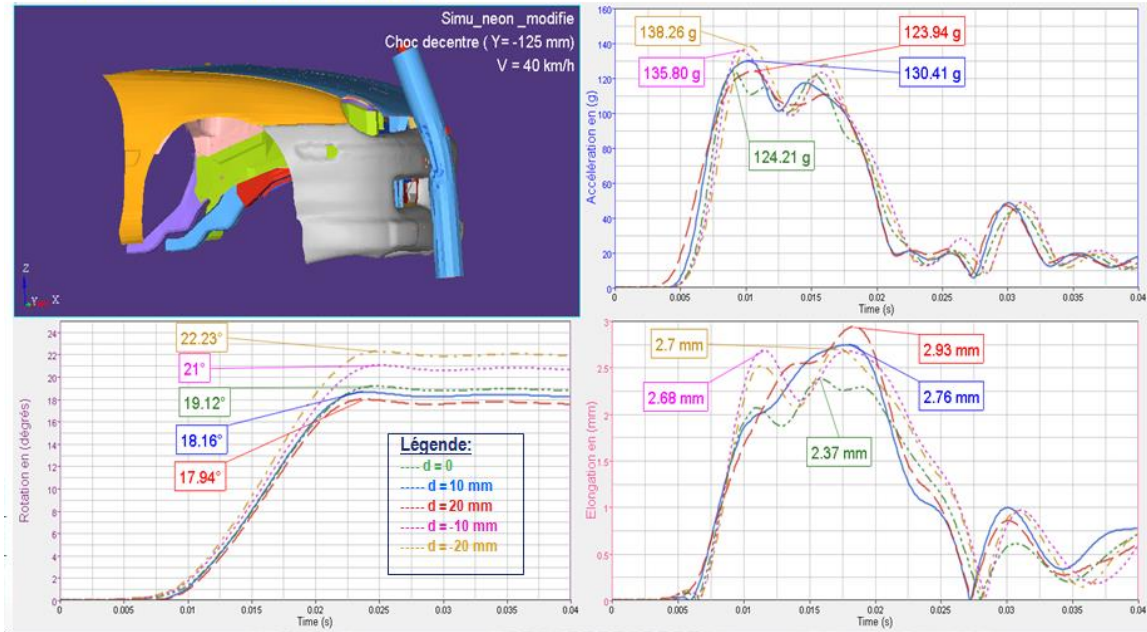
- à $p = 25$ mm
 - l'Accélération augmente de (+9%).
 - Hausse de valeur de la torsion (+19%).
 - Nette amélioration du cisaillement (-61%).
- à $p = 65$ mm
 - Une réduction de l'accélération de (-9%).
 - Baisse de l'angle torsion de (-19%).
 - Hausse de la valeur du cisaillement de (+32%)

Conclusions:

- En augmentant la distance p , on a un accroissement de l'accélération et de la torsion, mais le cisaillement baisse.
- En position $p=25$ mm, on constate un cisaillement quasi nul, ce qui modifie le scénario du choc entrainant ainsi une variation du profil de l'accélération qui augmente de nouveau.

✓ Influence du décalage (d) en x de la voie basse par rapport à l'absorbeur

Résultats de la simulation



Observations:

- à $d = 20 \text{ mm}$

- Légère baisse de l'accélération (-5 %) et de la torsion (-4.5%). Légère hausse du cisaillement (+6%).

- à $d = 0$

-Légère baisse de l'accélération de (-5%), une torsion quasi constante (+2%), un cisaillement amélioré (-14%)

- à $d = -10 \text{ mm}$

-Légère hausse de l'accélération (+4.5%), pour la torsion (+12.5%) et légèrement du cisaillement (+5%).

- à $d = -20 \text{ mm}$

-Légère hausse de l'accélération (+6.5%), un peu plus pour la torsion (+21%), le cisaillement lui est quasi constant (-2%).

Conclusions:

☐ Dans la configuration avec une voie basse plus avancée par rapport à l'absorbeur, on a une légèrement diminution de la décélération et la torsion.

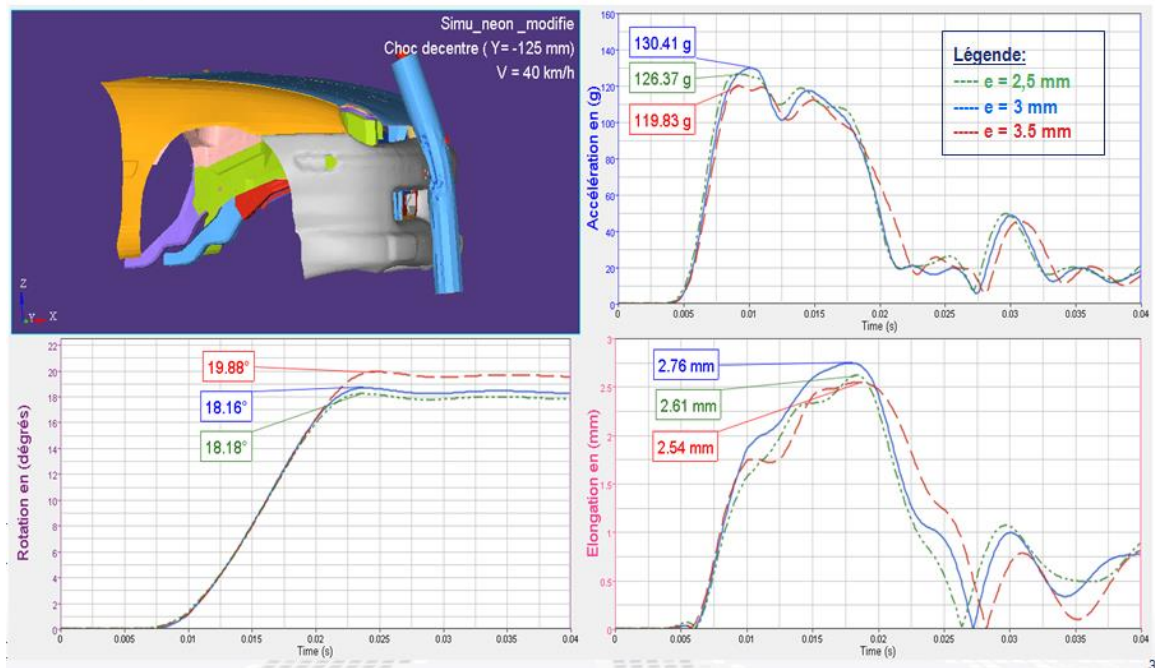
☐ Lorsque c'est l'absorbeur qui est plus avancé, on a une augmentation de la décélération et la torsion.

☐ Le cisaillement reste globalement très peu variable. Il est le plus favorable lorsqu'on n'a aucun décalage entre l'absorbeur et la voie basse.

❖ Paramètres matériaux

✓ Influence de l'épaisseur (e) de la peau de pare-choc

Résultats de la simulation



Observations:

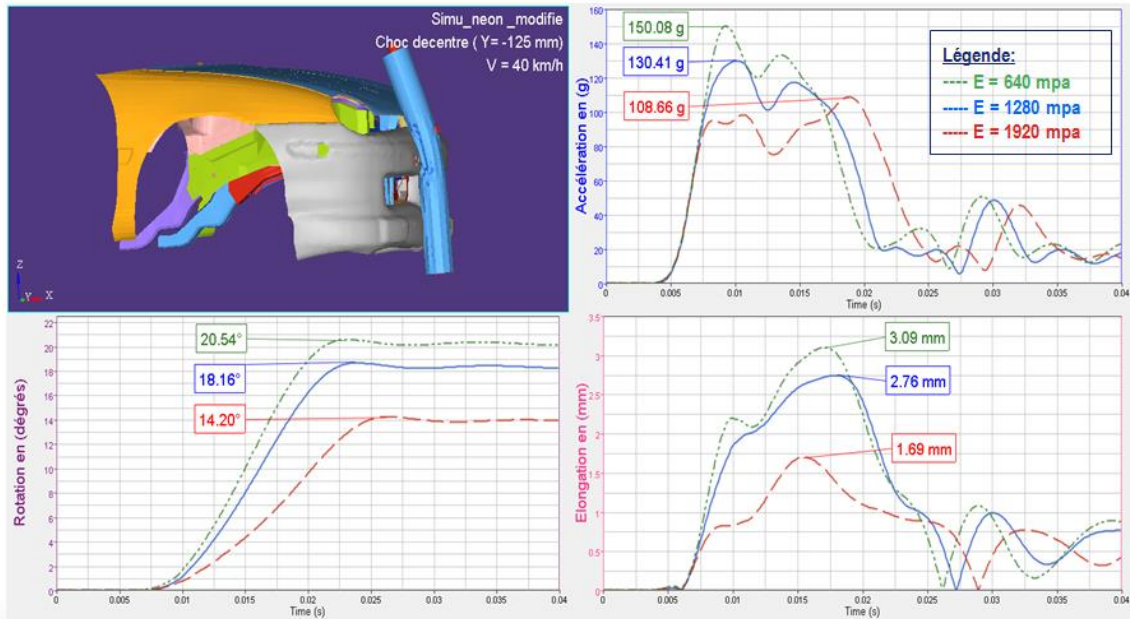
- à $e = 2.5 \text{ mm}$
 - Réduction de l'accélération (-8%)
 - Faible augmentation de la torsion (+6%)
 - Baisse du cisaillement de (-7%)
- à $e = 3.5 \text{ mm}$
 - Faible réduction de l'accélération (-3%)
 - Très légère réduction de la torsion (-3%)
 - Faible diminution du cisaillement (-5%)

Conclusions:

- ☐ L'accélération s'améliore globalement quand on diminue l'épaisseur.
- ☐ La torsion reste très peu variable au changement d'épaisseur, même si elle tend à diminuer quand on augmente l'épaisseur.
- ☐ Idem l'élongation reste quasi constante.

✓ Influence du module d'Young (E) de l'absorbeur

Résultats de la simulation



Observations:

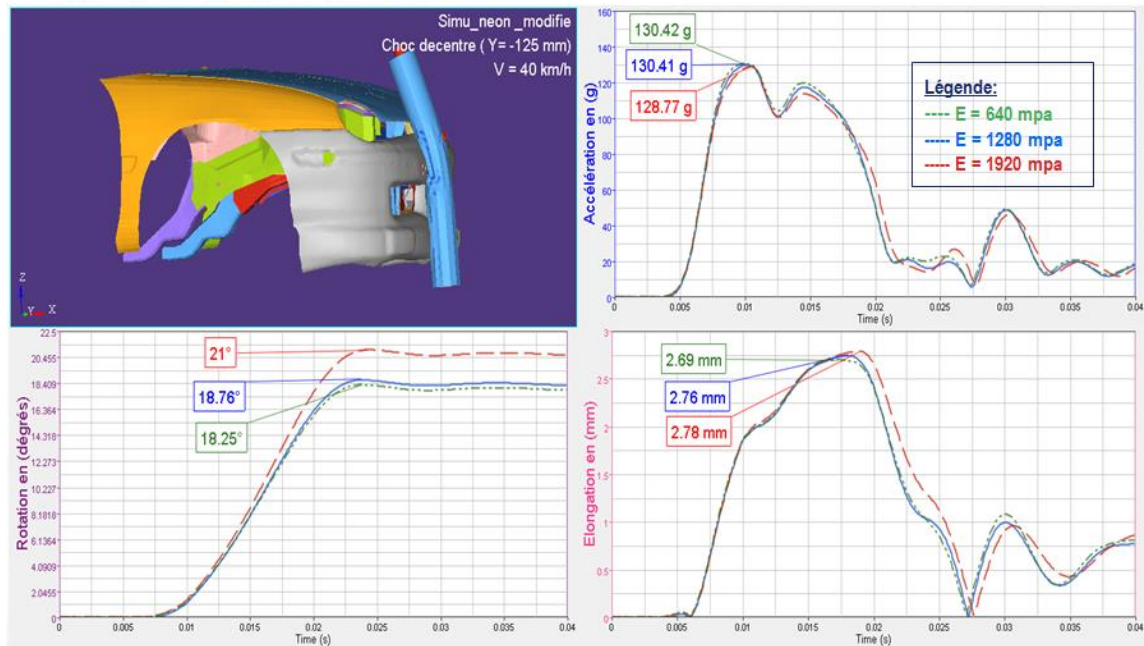
- à $E = 640 \text{ mpa}$
 - Réduction de l'accélération autour de (-17%)
 - Baisse de l'angle de la torsion de (-25%)
 - Diminution du cisaillement de (-35%)
- à $E = 1920 \text{ mpa}$
 - Augmentation de l'accélération de (+16%)
 - Dégradation de la torsion de (+10%)
 - Augmentation du cisaillement de (+11%)

Conclusions:

- Avec un matériau à fort module d'élasticité on accroît la décélération, la torsion et le cisaillement.

✓ Influence du module d'Young (E) de la voie basse.

Résultats de la simulation



Observations:

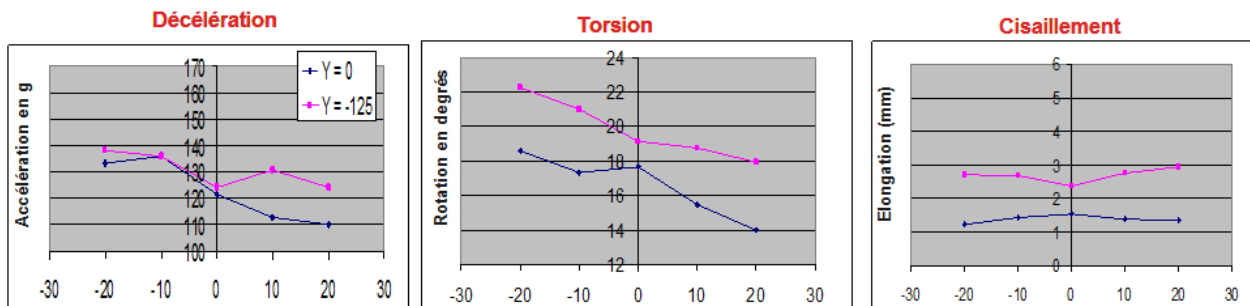
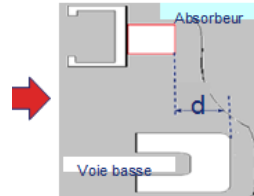
- à $E = 640 \text{ mpa}$
 - Légère augmentation de l'accélération (5.5 %).
 - Dégradation de la torsion (+12%).
 - le cisaillement est quasi constant (+0.6%).
- à $E = 1920 \text{ mpa}$
 - l'Accélération est constante (+0.008%).
 - La torsion aussi reste très peu variable (-3%).
 - le cisaillement également (-2%).

Conclusions:

- ❑ Avec un matériau à faible module d'élasticité, on augmente la torsion.
- ❑ La décélération reste quasi constante, avec cependant une très légère tendance d'amélioration lorsque le matériau est plus raide.
- ❑ Le cisaillement dans les deux cas reste très peu variable. Avec tout de même une légère tendance à l'amélioration pour le matériau à fort module d'élasticité.

5. Synthèse des résultats obtenus et conclusions.

❖ Variation du décalage (d) en x entre absorbeur et voie basse



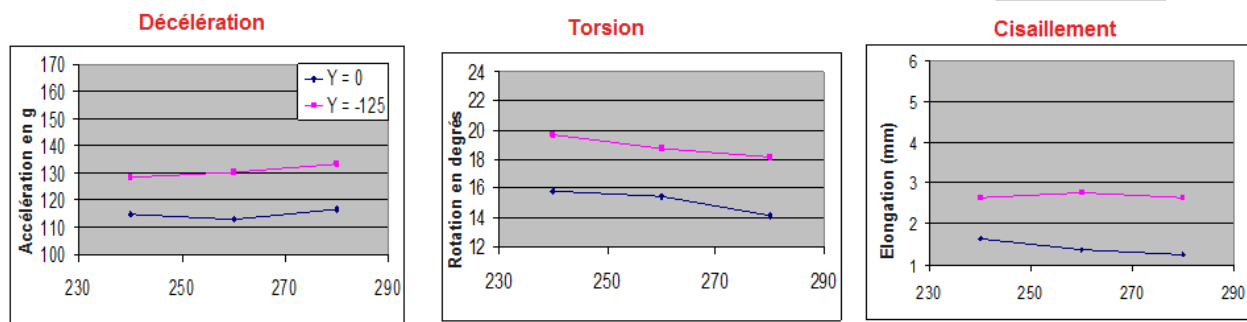
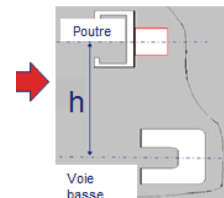
Bilan

L'évolution des critères suivant le décalage d est quasi identique pour les deux positions d'impact.

L'avancée de la voie basse améliore la décélération et la torsion.

Le cisaillement reste quasi constant.

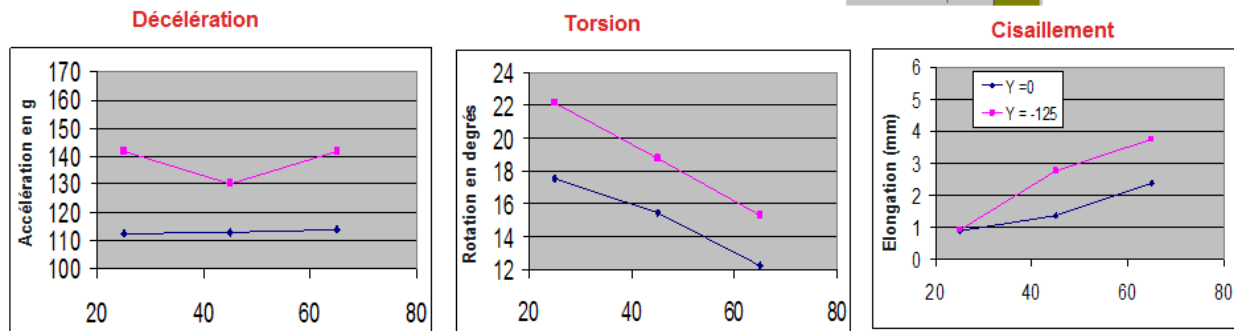
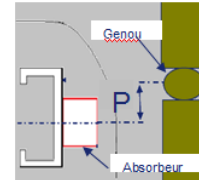
❖ Variation de la distance (h) en z entre absorbeur voie basse



Bilan :

On note une évolution quasi linéaire et identique des critères pour les 2 positions d'impact. L'accélération et le cisaillement restent quasi constants tandis que la torsion décroît lorsque la distance h augmente.

❖ Variation de la position (p) en z entre axe du genou et absorbeur

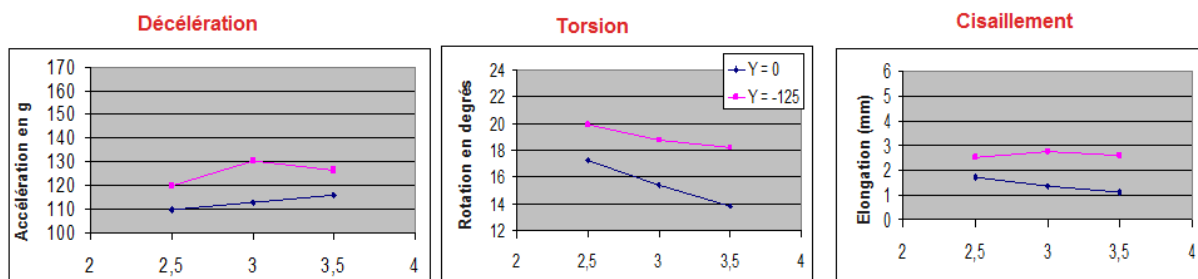


Bilan:

En position $Y = -125$ mm pour $p = 25$ mm, on constate un cisaillement quasi nul, ce qui modifie le scénario du choc entraînant ainsi une variation du profil de l'accélération qui augmente de nouveau.

Néanmoins le comportement globale reste similaire dans les 2 positions d'impact, avec une amélioration de la torsion associée à une dégradation du cisaillement, lorsque la distance (p) entre le l'axe du genou et l'absorbeur augmente.

❖ Variation de l'épaisseur (e en mm) de la peau de pare-choc

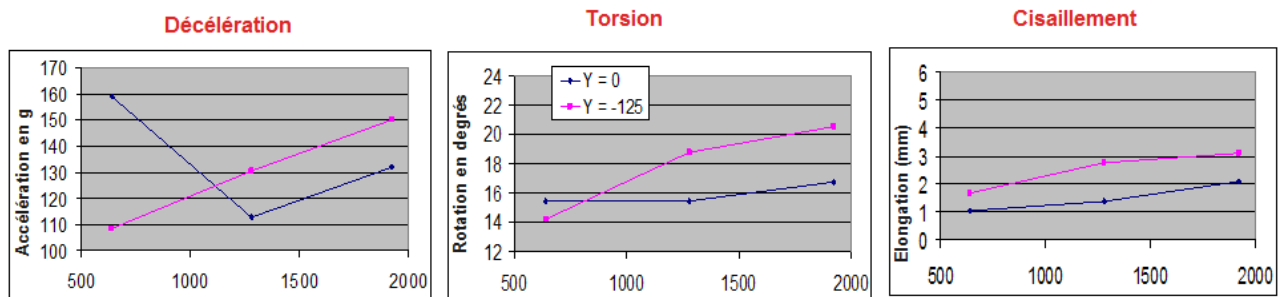


Bilan

En faisant varier l'épaisseur du pare-choc, il se dégage une tendance d'évolution semblable pour les 2 positions d'impact, avec tout de même une évolution plus linéaire en position $Y = 0$.

En augmentant l'épaisseur de la peau de pare-choc, il en résulte une légère dégradation de l'accélération et une amélioration de la torsion. Le cisaillement est quasi constant avec tout de même une légère tendance à l'amélioration.

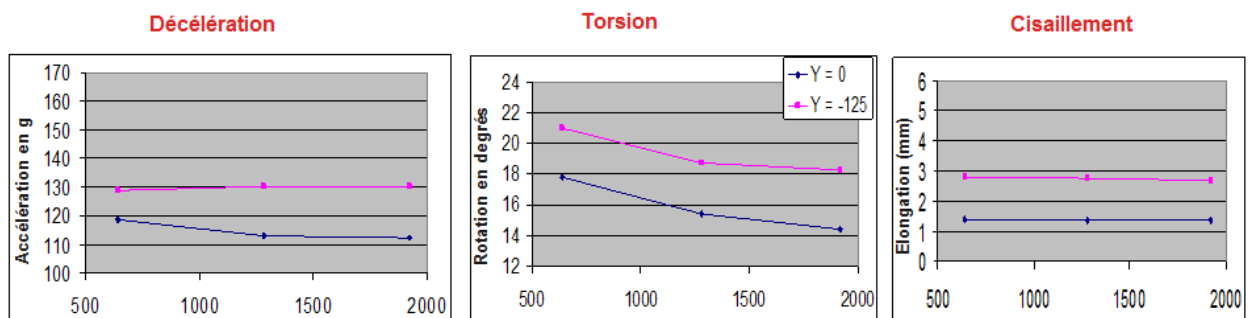
❖ Variation du Module d'Young (E en mpa) de l'absorbeur



Bilan:

Il se dégage une tendance d'augmentation de l'accélération, de la torsion et du cisaillement avec un absorbeur plus raide ceci quelque soit la position Y du point d'impact. Cependant la différence d'évolution de l'accélération observée pour un matériau très « mou » peut s'expliquer par les particularités de conception de cet absorbeur. En effet en position Y= 0 la jambe étant en face d'une nervure verticale l'absorbeur n'est pas suffisamment profond pour retenir la jambe qui va s'écraser contre la poutre en acier qui porte l'absorbeur, d'où l'accentuation de l'accélération. Par contre en position Y=-125 mm, la jambe se trouve face à une nervure horizontale qui favorise absorption du choc et par conséquent réduit la décélération.

❖ Variation du module d'Young (E en mpa) de la voie basse



Bilan

On note une évolution quasi linéaire et identique des critères dans les 2 positions d'impact. L'augmentation de la raideur de la voie basse améliore la torsion, mais influe faiblement sur l'accélération et le cisaillement qui sont quasi constants.