

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

Diplôme d'Ingénieur d'état
Spécialité : Conception Mécanique et Innovation

**CONCEPTION ET EVALUATION DES MODELES GENERIQUES POUR LE
RAIDISSEUR PANNEAU HORIZONTAL ET LE RENFORT CHOC FRONTAL DU
PERIMETRE DE LA PORTE LATERALE**

Présenté par :

JAAOUAN Fatima Zahrae
&
BOUROUISSA Alae-Eddine

Encadré par :

- BOUJMAL Radouane, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès
- BOUDLICHE El Mustapha, Encadrant de la société
- EL HAMMOUDI Mouhcine, Encadrant de la société

Effectué à : **MG2**
ENGINEERING

Soutenu le 16 Juillet 2021

Le jury :

- Pr. BOUJMAL Radouane, FST Fès
- Pr. TOUACHE Abdelhamid, FST Fès
- Pr. BELATIK Mourad, FST Fès

Année Universitaire : 2020-2021

Dédicace

Je dédie ce Modeste travail

A ma mère, ma source d'amour inconditionnel, la lanterne qui éclaire mon chemin et m'illumine de douceur et d'amour.

Aucune dédicace ne sera à la hauteur de ses prières incessantes durant mon parcours pour ma réussite.

A mon père, homme de valeurs et de principes

En signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.

A mes sœurs Hajar, Loubna et Souad que je remercie pour tout ce qu'elles ont fait pour moi.

A mes deux nièces Inès et Salma que Dieu les protège pour moi.

À toute la famille JAAOUAN et EL ALAMI, ainsi à mes proches familles, cousins et cousines.

À tous mes amis, en témoignage de l'amitié sincère qui nous a liés et des bons moments passés ensemble, en particulier mon binôme Alae-Eddine, mes collègues Oumaima, Hayat et Taha.

Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux et plein de bonnes promesses.

À tous les gens qui me donnent l'envie d'aller en avant, Je vous remercie tous, votre soutien et vos encouragements me donnent la force de continuer.

M^{lle}. JAAOUAN FATIMA ZAHRAE

إهداء

الحمد لله الذي توكلت عليه في كل شيء ، الذي أغنىني بالعلم و وفقني في دراستي، لك الحمد والشكر كثيرا

إلى من ساندتني في صلاتها و دعت معيإلى من سهرت الليالي تنير دربيإلى نبع الحنان و العطف، مصدر سعادتي و طاقتي ...أمي الغالية

إلى من علمني أن الدنيا حرب و سلاحها العلم و المعرفة ...إلى من وجهني و نصحني ...إلى الذي لم يبخل علي بأي شيء ...أبي الغالي مصدر إجتهادي و عملي

إلى الذين رسموا الإبتسامة في وجهي ,إخوة فعرفوا معنى الأخوة ...أخي نسيم و أخي وائل ..و أختي الكريمة رانيا

إلى السيد مصطفى و محسن مؤطرين ذو كفاءة عالية ...شكراً لكم

إلى أفضل و ألطف قائد حمزة بوربيغ .شكراً على الفرصة أن أكون جزءا من الفريق

إلى صديق العمل ... إبراهيم عثمانى ...شكر خاص على النصائح و المعلومات القيمة

إلى أساتذنا و مؤطرننا الرانع رضوان بوجمال ..شكر و تقدير لكل مجهودك

إلى أفضل صديقة فاطمة الزهراء ...شكراً لك يا أغلى صديقة

إلى كل الأصدقاء ...تحياتي لكم و شكراً لمن ساندني و و لو بكلمة خير

أهدي هذا البحث إلى كل طالب علم يسعى لكسب المعرفة و رصيده المعرفي و الثقافي

" أهدي هذا البحث المتواضع لكم جميعا "

علاء الدين بورويصة

Remerciements

Tout d'abord nous remercions ALLAH le tout puissant et le miséricordieux, qui nous a donné la force, la patience et la volonté de mener à bien à ce modeste travail.

Que nos parents voient aujourd'hui leurs efforts et leurs sacrifices couronnés par ce rapport. Ils ont veillé à nous éduquer avec infiniment d'affection. Que Dieu nous permette de leur rendre au moins une partie, aussi infime qu'elle soit, de tout ce que nous leur devons.

*Au terme de ce modeste travail, nous remercions vivement l'ensemble des cadres scientifiques, administratifs et techniques de la **Faculté des Sciences et Techniques de Fès** et plus spécialement notre encadrant académique **Pr. BOUJMAL Radouane** de nous avoir guidé et dirigé tout le long de notre travail.*

*Nous tenons aussi à remercier sincèrement nos tuteurs de stage **Mr. BOUDLICH El Mustapha** et **Mr. EL HAMMOUDI Mouhcine** qui nous ont aidé dans notre projet à travers l'engagement et le professionnalisme qu'ils ont manifesté durant toute cette période de stage et qui nous ont appris l'art d'analyser et de concevoir.*

*Sans oublier d'exprimer notre profonde gratitude à **Mr. BOUIRIG Hamza** le leader du département des Ouvrants pour la confiance qui nous a donné en nous offrant l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de son service et nos formateurs **Mr. LAHMAR Yassine** le spécialiste responsable sur notre formation en méthodologie de conception tôlerie, **Mr. BELHAJ Amine** formateur en CATIA (Generative Shape Design) et **Mr. ISSAD Amine** formateur en PLM et CATIA V6.*

*Nos vifs remerciements s'adressent aussi aux membres de jury **Pr. TOUACHE Abdelhamid** ainsi qu'au **Pr. BELATIK Mourad** qui nous ont honoré le jour de notre soutenance.*

*Nos remerciements s'adressent au **Pr. EL HAKIMI Abdelhadi**, responsable de notre filière « Conception Mécanique et Innovation ».*

Nos remerciements et nos reconnaissances à nos parents pour l'amour et le soutien constants qu'ils nous témoigné tout au long de notre carrière d'étude.

Enfin, nous exprimons toute notre gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

F.Z. JAAOUAN et A. BOUROUISSA

Résumé

Le présent document dépeint le fruit de notre travail réalisé lors de notre projet de fin d'études, au sein de la société MG2 Engineering : la joint-venture entre Magna et Capgemini Engineering (EX Altran) spécialiste de l'innovation technologique et leader mondial dans la recherche appliquée et l'ingénierie avancée.

MG2 Engineering travaille actuellement avec différents constructeurs automobiles sur des projets diversifiés. Elle considère la réduction des délais de conception comme l'axe d'amélioration majeur qui lui autorise une grande réactivité au marché. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet intitulé : La conception et l'évaluation des modèles génériques pour le Raidisseur Panneau Horizontal et le Renfort Choc Frontal du périmètre de la porte latérale.

En vue d'atteindre cet objectif, on s'est inspiré des différents piliers de la conception automobile en combinant, à la fois, les connaissances acquises lors de notre formation universitaire, les préconisations et les exigences du client et tout le savoir-faire qu'on a eu l'occasion d'acquérir lors de cette période de stage.

A cet effet, une contextualisation générale du projet a été faite, afin de bien le cerner et le cadrer ainsi que le choix de la méthodologie et la planification adoptées pour sa réalisation.

Ensuite une analyse fonctionnelle et une étude comparative, comprenant le benchmarking externe et interne des produits existants, nous ont permis d'avoir des idées claires sur les pièces concernées par notre projet, mais aussi de détecter les clés d'inspiration et les pistes à suivre lors de la conception de nos propres modèles.

Suite à cela, on s'est lancé dans la conception du modèle générique pour le Raidisseur Horizontal et le Renfort Choc Frontal tout en respectant la méthodologie de conception imposée par le client et les règles de métier en tôlerie automobile.

Puis, on a testé la validité de ces modèles via l'effectuation des mises à jour fréquemment rencontrées et qui sont généralement dues au retour du test numérique et au retour d'emboutissage : procédé de fabrication du Raidisseur Horizontal. Ceci, afin d'en déduire, à la fin, le temps optimisé à travers ces modèles.

Abstract

This document describes the fruit of the achieved work during our end-of-studies project, within the company MG2 engineering: the joint venture between Magna and Capgemini Engineering (EX Altran), specialist in technological innovation and world leader in applied research and advanced engineering.

MG2 engineering is currently working with different powerful car manufacturers on various projects. It considers the reduction of design times as a major axis of improvement which allows it a great reactivity to the market. It is in this context that this project entitled: Design and evaluation of generic models for the Door Panel Stiffener and the Front Crash Reinforcer from the Side Door perimeter.

In order to achieve this objective, we were inspired by the different pillars of automotive design by combining the knowledge acquired during our university studies, the customer recommendations and requirements and all the know-how that we have had the opportunity to acquire during this internship period.

For this purpose, a general contextualization of the project was carried out in order to frame it properly, as well as the choice of the methodology and the planning that will be adopted for its realization.

Then a functional analysis and a comparative study, including the external and internal benchmarking of existing products, allowed us to have clear ideas on the parts concerned by our project, but also to detect the inspiration keys and the tracks to follow when designing our own models.

Following this, we started the design of the generic model for the Horizontal Stiffener, first, and for the Frontal Shock Reinforcement, second, respecting the design methodology imposed by the customer and the automotive sheet metal rules.

Then, we tested the validity of these models by performing the updates frequently encountered and which are generally due to the return of the simulation test and the return of stamping: manufacturing process of the Horizontal Stiffener. This in order to deduce the optimized time through these models.

Liste des abréviations

- SAS : Société par actions
- CAO : Conception Assistée par Ordinateur
- CATIA : Computer Aided Three-dimensional Interactive Application
- PLM : Product Lifecycle Management
- SOD : Schéma Opérationnel de Développement
- BIW : Body In White
- RETEX : Retour d'expériences
- EURO NCAP : Europeon New Car Assement Programme
- PSE : Point de Soudure Electrique
- AV : Avant
- AR : Arrière
- SUP : Supérieur
- INF : Inférieur
- MAJ : Mise à jour
- MOY : Moyenne

Liste des figures

Figure 1 : Logo du groupe Altran.....	4
Figure 2 : Implantation du groupe Altran dans le monde	5
Figure 3 : Principaux clients du groupe par secteur	5
Figure 4 : Pourcentage des principaux projets d'Altran Maroc	6
Figure 5 : Logo de Capgemini Engineering	7
Figure 6 : Logo de MAGNA	8
Figure 7 : Sites de production de Magna International dans le monde	8
Figure 8 : Logo de MG2 Engineering	9
Figure 9 : Organisation des départements de MG2 Engineering	10
Figure 10 : Périmètres du département Carrosserie	11
Figure 11 : Organigramme opérationnel	12
Figure 12 : Organigramme du département Carrosserie	12
Figure 13 : Organigramme du pôle Ouvrants.....	13
Figure 14 : Parties principales d'une automobile.....	92
Figure 15 : Caisse en Blanc d'un véhicule automobile.....	95
Figure 16 : Eléments d'habillage d'un véhicule automobile.....	96
Figure 17 : Processus de fabrication d'un véhicule	96
Figure 18 : Phases d'emboutissage	97
Figure 19 : Faces latérales d'un véhicule.....	16
Figure 20 : Porte latérale d'un véhicule automobile	17
Figure 21 : Vue éclatée des composants de la porte latérale droite	18
Figure 22 : Nécessité d'une conception itérative	21
Figure 23 : Importance de la disposition des modèles génériques organisés.....	21
Figure 24 : Environnement du Raidisseur Horizontal.....	23
Figure 25 : Environnement du Raidisseur Horizontal (suite)	23
Figure 26 : Environnement du Renfort Choc Frontal	24
Figure 27 : Processus de développement d'un produit	25
Figure 28 : Cercle d'analyse du besoin	28
Figure 29 : Diagramme Pieuvre du Raidisseur Panneau Horizontal.....	29
Figure 30 : Diagramme Pieuvre du Renfort Choc Frontal	29
Figure 31 : Logo du site A2MAC1	32
Figure 32 : Logo du site EuroNCAP	33
Figure 33 : Débosselage sans peinture du Panneau de porte.....	36
Figure 34 : Corps creux du raidisseur	36
Figure 35 : Raidisseur Horizontal de DS3 Crossback.....	38
Figure 36 : Renfort Choc Frontal de DS3 Crossback.....	38
Figure 37 : Différence de positions des différents Renforts et Raidisseurs	51
Figure 38 : Logos de CATIA V6 et PLM	54
Figure 39 : Modèle d'arbre de conception CATIA	55
Figure 40 : Données d'entrée du raidisseur horizontal	57
Figure 41 : Paramètres intervenant dans la construction.....	57
Figure 42 : Direction de dépouille du Raidisseur Horizontal.....	57
Figure 43 : Découpage en zones fonctionnelles du raidisseur horizontal	58
Figure 44 : Construction de la zone doublure	58
Figure 45 : Construction de la zone renfort charnière.....	59
Figure 46 : Construction de la zone Lêcheur	59

Figure 47 : Liaison Raidisseur - Panneau.....	60
Figure 48 : Règles à respecter sur les cordons de calage	60
Figure 49 : Esquisse de base de la zone collage Raidisseur - Panneau	61
Figure 50 : Assemblage des zones fonctionnelles.....	61
Figure 51 : Intégration des emboutis d'allègement.....	62
Figure 52 : Intégration des emboutis de manutention et d'isostatisme	63
Figure 53 : Importance des emboutis sur l'interface du Lécheur.....	63
Figure 54 : Intégration des emboutis sur l'interface du lécheur extérieur	64
Figure 55 : Surface CEMB.....	64
Figure 56 : Règles à respecter pour le détournage des zones AV et AR.....	65
Figure 57 : Règle à respecter pour le détournage de la zone INF	65
Figure 58 : Contours surfaciques du détournage.....	66
Figure 59 : Du détournage de la surface à la pièce solide finale.....	66
Figure 60 : Données d'entrée du renfort choc latéral.....	67
Figure 61 : Maintien entre le renfort choc frontal et le renfort charnière	67
Figure 62 : Sections des profilés du renfort choc frontal	68
Figure 63 : Positionnement du renfort par rapport à l'environnement.....	68
Figure 64 : Construction des Renforts pour les véhicules thermiques et PHEV.....	69
Figure 65 : Détrompage du Renfort Choc Frontal	69
Figure 66 : Construction des trous pilotes ferrage	70
Figure 67 : Obtention des surfaces finales des renforts choc frontal	70
Figure 68 : Pièces solides finales des Renforts Choc Frontal	71
Figure 69 : Décalage des emboutis sur l'interface du Lécheur.....	72
Figure 70 : Agrandissement de la surface et ajustement des emboutis d'allègement.....	72
Figure 71 : Etapes de lancement de l'analyse d'interférence	73
Figure 72 : Résultats de l'analyse d'interférence avec l'environnement	73
Figure 73 : Changement de l'embouti d'accostage avec le Renfort Encadrement.....	73
Figure 74 : Analyse d'interférence avec le Renfort Encadrement.....	74
Figure 75 : Loi comportementale pour un matériau de la famille des Aciers	74
Figure 76 : Domaines d'application des méthodes implicite et explicite.....	75
Figure 77 : Maillage du Raidisseur Horizontal	76
Figure 78 : Maillage du Renfort Choc Frontal	77
Figure 79 : Type de choc adopté	78
Figure 80 : Résultat du test crash sur le Renfort Choc Frontal	78
Figure 81 : Résultat du test crash sur le Raidisseur Horizontal	79
Figure 82 : Solution proposée	79
Figure 83 : Lancement de la simulation d'emboutissage.....	80
Figure 84 : Résultat du test d'emboutissage du Raidisseur Horizontal	81
Figure 85 : Intégration des Bulldozers	82
Figure 86 : Solutions proposées pour corriger le défaut d'amincissement	82
Figure 87 : Diagramme de formabilité (re-vérification)	83
Figure 88 : Analyse de dépouille du Raidisseur Horizontal.....	83
Figure 89 : Graphe d'évaluation du temps.....	85
Figure 90 : Gain du temps de conception.....	85

Liste des tableaux

Tableau 1 : Chiffres clés d'Altran Maroc	6
Tableau 2 : Chiffres clés de Magna International	8
Tableau 3 : Chiffres clés de MG2 Engineering	9
Tableau 4 : Segmentation des véhicules automobiles	92
Tableau 5 : Types de carrosserie d'un véhicule	94
Tableau 6 : Description des composants de la porte latérale	18
Tableau 7 : Charte de projet	22
Tableau 8 : Planification du projet	27
Tableau 9 : Fonctions de service du Raidisseur Panneau Horizontal.....	29
Tableau 10 : Fonctions de service du Renfort Choc Frontal	30
Tableau 11 : Caractéristiques de la voiture Citroën C4 Cactus.....	34
Tableau 12 : Caractéristiques de la voiture DS3 Crossback	34
Tableau 13 : Caractéristiques de la voiture VW Golf VIII	35
Tableau 14 : Formes et sections des Raidisseurs de l'échantillon	35
Tableau 15 : Tenue au choc frontal des véhicules de l'échantillon	37
Tableau 16 : Caractéristiques des 3 Raidisseurs Horizontaux analysés.....	39
Tableau 17 : Données d'entrée du Raidisseur P24.....	40
Tableau 18 : Données d'entrée du Raidisseur D34.....	41
Tableau 19 : Données d'entrée du Raidisseur P21	42
Tableau 20 : Emboutis d'allègement des 3 raidisseurs analysés.....	43
Tableau 21 : Techniques d'assemblage, avec le panneau, adoptées par les 3 Raidisseurs	44
Tableau 22 : Techniques d'assemblage, avec la doublure et le renfort charnière, adoptées par les 3 Raidisseurs	44
Tableau 23 : Détourage des surfaces des 3 raidisseurs	46
Tableau 24 : Trous de manutention & isostatisme dans les 3 Raidisseurs.....	47
Tableau 25 : Caractéristiques des 3 Renforts de Choc frontal analysés.....	48
Tableau 26 : Données d'entrée des Renforts de Choc Frontal.....	49
Tableau 27 : Techniques d'assemblage des Renforts Choc Frontal	50
Tableau 28 : Construction des Renforts Choc Frontal	50
Tableau 29 : Trous de manutention & isostatisme des Renforts Choc Frontal.....	51
Tableau 30 : Type de défaut par couleur.....	81
Tableau 31 : Temps des MAJ sur le modèle générique	84
Tableau 32 : Temps des MAJ dans les anciens projets	84

Liste des annexes

ANNEXE 1 : Règles métier ferrage	88
ANNEXE 2 : Règles métier emboutissage	89
ANNEXE 3 : Construction de la Zone de collage Raidisseur Horizontal – Panneau.....	90
ANNEXE 4 : GENERALITES SUR LE SECTEUR AUTOMOBILE.....	91

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL.....	3
1. Groupe ALTRAN : Un leader mondial d'ingénierie.....	4
1.1 Présentation.....	4
1.2 Présence internationale	4
1.3 Domaines d'activités	5
1.4 Altran Maroc	5
1.5 Faits et chiffres.....	6
2. CAPGEMINI Engineering	7
2.1 Présentation.....	7
2.2 Altran devient Capgemini Engineering.....	7
3. MAGNA International.....	7
3.1 Présentation.....	7
3.2 Faits et chiffres.....	8
3.3 Présence internationale	8
4. MG2 Engineering : Une joint-venture entre deux géants.....	9
4.1 Présentation.....	9
4.2 Faits et chiffres.....	9
4.3 Locaux et ressources	10
4.4 Organisation des activités de MG2 Engineering	10
5. Département Carrosserie.....	11
6. Organigrammes.....	12
6.1 Organigramme opérationnel	12
6.2 Organigramme du département Carrosserie.....	12
6.3 Organigramme du pôle Ouvrants	13
CHAPITRE II : PERIMETRE ET CONTEXTE DU PROJET	15
1. Introduction.....	16
2. Périmètre du projet : la porte latérale.....	16

2.1	Positionnement de la porte	16
2.2	Description de la porte latérale	17
2.3	Composition de la porte latérale	17
3.	Contexte du projet	20
3.1	Problématique	20
3.2	Formulation du problème	21
3.2.1	QQQOCP	21
3.2.2	Charte de projet	22
3.3	Zones de travail	23
3.4	Démarche de résolution	24
3.5	Planification	26
3.5.1	Objectifs implicites	26
3.5.2	Planning GANTT du projet	26
4.	Analyse fonctionnelle du besoin	28
4.1	Fonctions de base	28
4.2	Fonctions de performance	30
CHAPITRE III : ANALYSE COMPARATIVE		31
1.	Benchmarking externe	32
1.1	Introduction	32
1.1.1	« A2MAC1 Automotive Benchmarking »	32
1.1.2	« EURONCAP for safer cars »	33
1.2	Echantillon étudié	34
1.3	Analyse multicritère	35
1.3.1	Critère de forme	35
1.3.2	Critère de tenue au choc frontal	37
Conclusion		37
2.	Benchmarking interne	38
2.1	Analyse des modèles du Raidisseur Panneau Horizontal	39
2.1.1	Echantillon analysé	39
2.1.2	Données d'entrée	40
2.1.3	Forme	43
2.1.4	Techniques d'assemblage	44
2.1.5	Construction	46
2.1.6	Manutention et isostatisme	47
Conclusion		47

2.2	Analyse des modèles du renfort choc frontale	47
2.2.1	Echantillon analysé	47
2.2.2	Données d'entrée	49
2.2.3	Techniques d'assemblage	50
2.2.4	Construction	50
2.2.5	Manutention et isostatisme	51
	Conclusion	51
	Récapitulatif	51
CHAPITRE IV : CONCEPTION ET EVALUATION DES MODELES GENERIQUES.....		53
1.	Introduction	54
1.1	Outils utilisés	54
1.2	Méthodologie de conception	55
2.	Conception détaillée des modèles génériques	56
2.1	Conception du modèle générique du Raidisseur Panneau Horizontal	56
2.1.1	Données d'entrée	56
2.1.2	Construction des zones fonctionnelles	58
2.1.3	Assemblage	61
2.2	Création du modèle générique pour le renfort de choc frontal	67
2.2.1	Données d'entrée	67
2.2.2	Construction	67
2.2.3	Découpes	70
3.	Evaluation des modèles génériques	71
3.1	Introduction	71
3.2	Mises à jour dues au métier d'implantation	71
3.2.1	Règles de métier :	72
3.2.2	Analyse d'interférence	72
3.3	Mises à jour dues au calcul numérique	74
3.3.1	Choix du type de calcul	74
3.3.2	Maillage sous ANSA	76
3.3.3	Application des matériaux et des connexions	77
3.3.4	Calcul par le solveur RADIOSS	77
3.3.5	Interprétation des résultats	78
3.4	Mises à jour dues au retour d'emboutissage	80
3.4.1	Simulation	80
3.4.2	Interprétation des résultats	80



Conclusion : Bilan comparatif du temps	83
CONCLUSION GENERALE	86
REFERENCES	87
ANNEXES	88

INTRODUCTION GENERALE

Ayant une imposition comme un fer de lance de l'automobile sur le continent. Le royaume du Maroc a enregistré une croissance remarquable de son industrie automobile au cours des dernières années, en prenant le 31^{ème} rang mondialement avec plus de 184.962 véhicules produits. Une progression fulgurante qui n'est pas près de s'arrêter, puisque les regards des investisseurs se tournent, de plus en plus, vers le royaume, comme plateforme idéalement située pour inonder les marchés africains et européens selon une étude du cabinet d'Oxford Business Group (OBG).

Capgemini Engineering (EX Altran), le leader de l'ingénierie et de l'innovation, étant séduit par tous ces faits, s'installe en 2013 dans le parc d'offshoring Casanearshore renforçant ainsi les activités Nearshore avec l'Europe dans les domaines de la mécanique, l'automatique et l'électronique et s'associe avec Magna, le leader de la sous-traitance mondiale automobile en 2018 pour mettre en place le centre d'ingénierie automobile MG2 Engineering à Casanearshore.

Vu la grande importance du stage de Projet de Fin d'Etudes dans la formation d'ingénieur qui se présente comme un projet complet en situation professionnelle, l'effectuer au sein d'une entreprise qui s'intéresse à l'industrie automobile est une occasion qui nous ouvrira la porte pour immerger dans ce secteur prometteur par la suite. Pour ce faire, nous nous sommes adressées à MG2 Engineering dont l'activité dispose d'un lien direct avec la nature de notre formation et dont la stratégie se base essentiellement sur la collaboration qui développe un travail collectif nous mettant en conséquent sur le droit chemin pour mettre en pratique les connaissances acquises au sein de notre faculté.

Notre entrée à MG2 Engineering a eu lieu le 5 Mars 2021, et a commencé par une formation accélérée de 50 jours sur les outils de CAO CATIA V5 et V6 et la plate-forme de management des projets PLM ainsi qu'en méthodologie de conception en tôlerie automobile puisque l'équipe des Ouvrants à laquelle nous nous sommes affectés fait partie du département Carrosserie/CAO spécialisé dans la conception des pièces de tôlerie.

C'est au sein de cette équipe que nous étions chargés de concevoir et d'évaluer des modèles génériques pour le Raidisseur Panneau Horizontal et le Renfort Choc Frontal du périmètre de la Porte Latérale afin d'optimiser le temps de conception de ces pièces.

En vue de rendre compte de manière fidèle aux quatre mois passés au sein de MG2 Engineering, il s'est avéré convenable de présenter, à titre préalable, l'entreprise, ses activités, son organisation (**chapitre 1**) et son secteur d'activité (**chapitre 2**) avant de découvrir le périmètre étudié et le contexte du projet via la précision de sa problématique et le choix de la méthodologie et du planning adoptés pour sa réalisation (**chapitre 3**).

Ensuite, une analyse comparative, comprenant le benchmarking externe puis interne des produits existants, a été faite afin d'en tirer les bonnes idées de concurrence et de déterminer les solutions techniques proposées par les constructeurs automobiles pour le Raidisseur Horizontal et le Renfort Choc Frontal de la porte latérale du véhicule (**chapitre 4**).

Suite à cela, les modèles génériques pour ces pièces ont été conçus en respectant les préconisations du client et les règles apprises lors de la formation. Il a été judicieux, par la suite, de tester la validité de ces modèles via l'effectuation des mises à jour fréquemment rencontrées tout au long la période de développement du véhicule pour en déduire le temps optimisé à travers ces modèles (**chapitre 5**).

CHAPITRE I

PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

Ce présent chapitre englobe une présentation générale sur :

- ❖ *Le groupe Altran – Capgemini Engineering*
- ❖ *Magna International*
- ❖ *MG2 Engineering*

En précisant leurs historiques, leurs produits ainsi que l'organigramme et la constitution du département carrosserie au sein duquel le présent projet a été déroulé.

1. Groupe ALTRAN : Un leader mondial d'ingénierie

1.1 Présentation

Altran est le leader mondial des services d'ingénierie avancée et de Recherche & Développement. Il offre à ses clients une proposition de valeur unique au cœur de solutions innovantes, d'expertises métier, de nouvelles technologies et de modes d'engagement adaptés pour relever leurs défis de transformation et d'innovation en leur accompagnant, du concept à l'industrialisation, pour développer les produits et les services de demain et intervient depuis



plus auprès des grands acteurs de nombreux secteurs : Automobile, Aéronautique, Spatial, Défense & Naval, Infrastructure & Transport, Energie, Industrie & Sciences de la vie, etc. En anticipant intelligemment leur besoin croissant d'innovations technologiques et en répondant à leurs enjeux économiques par le talent, les savoir-faire multidisciplinaires et les expériences multisectorielles de ses équipes.



Figure 1 : Logo du groupe Altran

1.2 Présence internationale

L'empreinte internationale d'Altran offre un avantage unique sur le marché actuel. En phase avec une planète de plus en plus connectée, Altran est conçu pour offrir des services d'innovation et d'ingénierie de premier ordre à ses clients, tout en leur permettant de bénéficier des meilleures pratiques mondiales dans tous les secteurs d'activité. Le groupe ALTRAN compte désormais plus de 50 000 collaborateurs dans plus de 30 pays des différents continents.

- Europe / Afrique du Nord
- Asie
- Amérique

- Australie

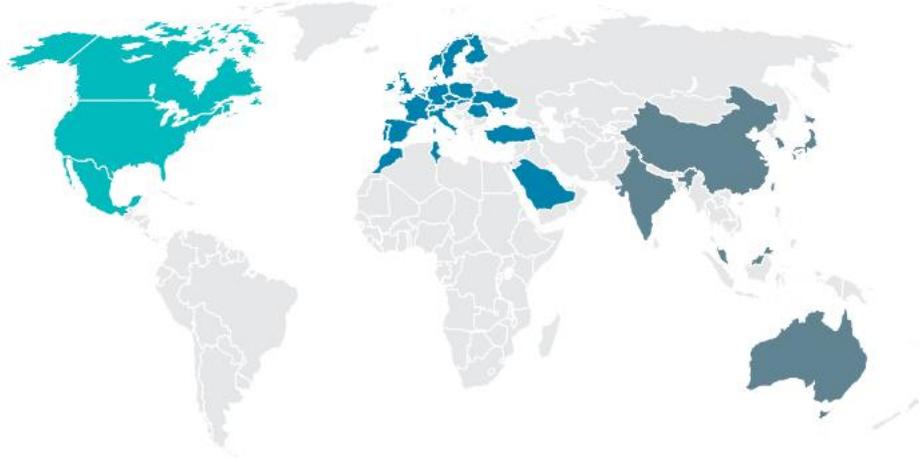


Figure 2 : Implantation du groupe Altran dans le monde

1.3 Domaines d'activités

Le groupe est présent sur la plupart des secteurs d'activités en offrant des services et des produits intégrés à ses différents clients diversifiés par secteurs comme suit :



Figure 3 : Principaux clients du groupe par secteur

1.4 Altran Maroc

Afin d'accompagner le développement international du groupe, notamment dans les secteurs de l'automobile. Un accompagnement dédié aux clients Altran dans leur stratégie d'innovation, d'optimisation de coût et d'internationalisation, Altran a voulu disposer d'une plateforme NearShore via son implantation au Royaume du Maroc.

L'entité marocaine a également pour ambition d'être un acteur de proximité au service des grands comptes clients d'Altran installés sur le territoire national. Dans le cadre de la stratégie "émergence" lancé par le gouvernement marocain, de nombreuses sociétés étrangères, et à fort développement, s'y sont installées. Altran Maroc s'intéresse notamment à celles évoluant dans les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et de l'énergie renouvelable. Enfin, Altran Maroc s'appuie sur la stratégie d'offshoring mise en place par le gouvernement marocain offrant des avantages optimisant fortement la composante compétence / coût.

A moins de 3 heures d'avion des principales capitales européennes et dans une forte proximité linguistique avec l'Europe, Altran Maroc s'intègre comme une extension d'Altran Europe.

1.5 Faits et chiffres

Tableau 1 : Chiffres clés d'Altran Maroc

Date de création	2013
Numéro d'affiliation CNSS	9895874
Implantation	1100 Bd Al Qods, Quartier Sidi Maârouf - Casanearshore, Shore 17 20270 Casablanca
Téléphone	+212 (0)5 29 01 51 01
Effectif	Près de 1000 collaborateurs (fort développement en cours)
Industries principales	 Automobile  Aéronautique  Ferroviaire, Infrastructure & Transports  Sciences de la Vie  Télécoms & Media
Solutions principales	Autour de 4 domaines technologiques : Développement innovant du produit, Systèmes intelligents, Expérience du cycle de vie et Ingénierie mécanique

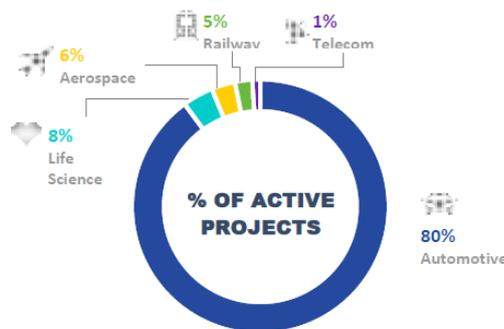


Figure 4 : Pourcentage des principaux projets d'Altran Maroc

La répartition des projets d'Altran Maroc n'est pas égalitariste d'un secteur à un autre. On trouve que pas moins de 80 % de ces projets concernent le domaine automobile

2. CAPGEMINI Engineering

2.1 Présentation

C'est un leader mondial du conseil, de la transformation numérique, des services technologiques et d'ingénierie. A la pointe de l'innovation, le groupe aide ses clients à saisir l'ensemble des opportunités que présentent le cloud, le digital et les plateformes. Fort de plus de 50 ans d'expérience et d'une grande expertise des différents secteurs d'activité, il accompagne les entreprises et organisations dans la réalisation de leurs ambitions, de la définition de leur stratégie à la mise en œuvre de leurs opérations.

2.2 Altran devient Capgemini Engineering

En Avril 2020, Capgemini a détenu 98 % du capital d'Altran. Un an après son achat, Altran termine son intégration au groupe et devient Capgemini Engineering. Cette nouvelle ligne d'activité globale du groupe rassemble 52 000 ingénieurs et scientifiques.



Figure 5 : Logo de Capgemini Engineering

3. MAGNA International

3.1 Présentation

Magna est l'un des leaders de la sous-traitance mondiale automobile de 1er rang. Son siège est situé à Aurora, dans la banlieue nord de Toronto, en Ontario. Il fournit ainsi ses clients en composants et pièces détachées, et suit les constructeurs dans leurs projets industriels : Magna International a ainsi ouvert une usine à Kalouga (au sud de Moscou) pour la fabrication des pièces pour les plates-formes russes de Volkswagen, Skoda, Renault et PSA Peugeot Citroën. Selon le service de presse de Magna, l'usine de Kalouga produira des pare-chocs, enjoliveurs et grilles de radiateur.



Figure 6 : Logo de MAGNA

3.2 Faits et chiffres

Tableau 2 : Chiffres clés de Magna International

Date de création	1957
Activité	Sous-traitance et construction automobile
Direction	Seetarama (Swamy) Kotagiri
Forme juridique	SAS
Effectif	Plus de 165 000 collaborateurs en 2019
Chiffre d'affaires	39 431 millions USD en 2019

3.3 Présence internationale

Le réseau d'activité de MAGNA International Inc. compte plus de 347 usines de fabrication et 94 centres de développement de produits, d'ingénierie et de vente dans cinq continents et 27 pays.



Figure 7 : Sites de production de Magna International dans le monde

4. MG2 Engineering : Une joint-venture entre deux géants

4.1 Présentation

Sous le nom de MG2 Engineering, Capgemini Engineering (anciennement Altran) et Magna se sont associés pour mettre en place un centre d'ingénierie automobile à Casablanca. La nouvelle Joint-Venture, sous le nom de MG2 Engineering, rassemble le savoir-faire des deux groupes en profitant des avantages qu'offre Capgemini étant un partenaire établi localement et Magna étant le leader sur le marché de la technologie miroir avancée et de l'innovation, chacune des deux entreprises détient 50% de l'entreprise commune.



Figure 8 : Logo de MG2 Engineering

Grâce à cette nouvelle installation, l'entreprise élargit sa portée en améliorant l'expérience des conducteurs grâce à des systèmes de vision intelligents.

4.2 Faits et chiffres

Tableau 3 : Chiffres clés de MG2 Engineering

Date de création	1 ^{er} Novembre 2018
Forme juridique	Société Anonyme
Capital	300.000 DH
Implantation	1100 Bd Al Qods, Quartier Sidi Maârouf - Casanearshore, Shore 12b, Plateau Altas & Shore 12c 20270 Casablanca
Direction	50% Groupe Altran & 50% Magna
Effectif	Plus de 700 salariés
Activités	Le conseil en ingénierie, technologies, innovation et conception

4.3 Locaux et ressources

Pas loin des locaux d'Altran Maroc, MG2 Engineering est installée au parc Casanearshore à Casablanca, capitale économique du Maroc. Les locaux de MG2 dans les Shores 12b et 2c de ce parc offrent un cadre de travail aux standards européens avec des facilités technologiques (fibre optique, salles de visio-conférence équipées) et des espaces de vie. Le choix d'aménagement a été motivé par le travail collaboratif, la performance et le respect mutuel via des espaces ouverts aérés par type d'activité.

MG2 Engineering a la possibilité de travailler sur des grands projets à l'échelle internationale grâce aux ressources humaines et matérielles qu'il possède. En effet, le centre peut travailler directement sur le réseau du client grâce à des ordinateurs virtuels, ou d'avoir le réseau entièrement dédié par client en possédant un accès illimité à une plateforme leur permettant l'utilisation de plus de nombreux logiciels professionnels, que cela soit au niveau de la conception mécanique, simulation des systèmes mécaniques ou électroniques ou calcul numérique et simulation du comportement des structures mécaniques.

4.4 Organisation des activités de MG2 Engineering

MG2 Engineering s'organise en six départements englobants plusieurs équipes dont les activités s'intéressent particulièrement à la conception et au développement des véhicules.

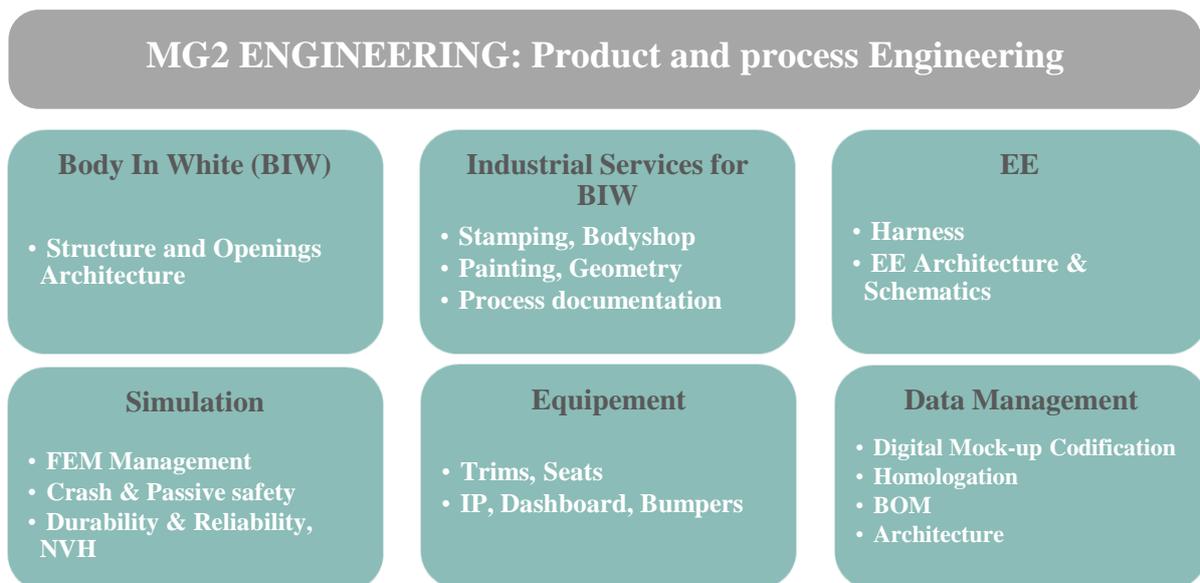


Figure 9 : Organisation des départements de MG2 Engineering

5. Département Carrosserie

Le service Carrosserie a comme activités de concevoir et développer des solutions techniques pour les différents projets et dans les périmètres qui lui sont attribués. Il est primordial que chaque travail réalisé garantisse le respect des règles du métier, la qualité de construction CAO ainsi que le délai impartit. Les collaborateurs disposent d'un niveau d'expertise confirmé et les demandes peuvent s'exécuter avec un front office ou directement avec les clients. Le service carrosserie englobe 7 périmètres distincts, répartis comme suit :

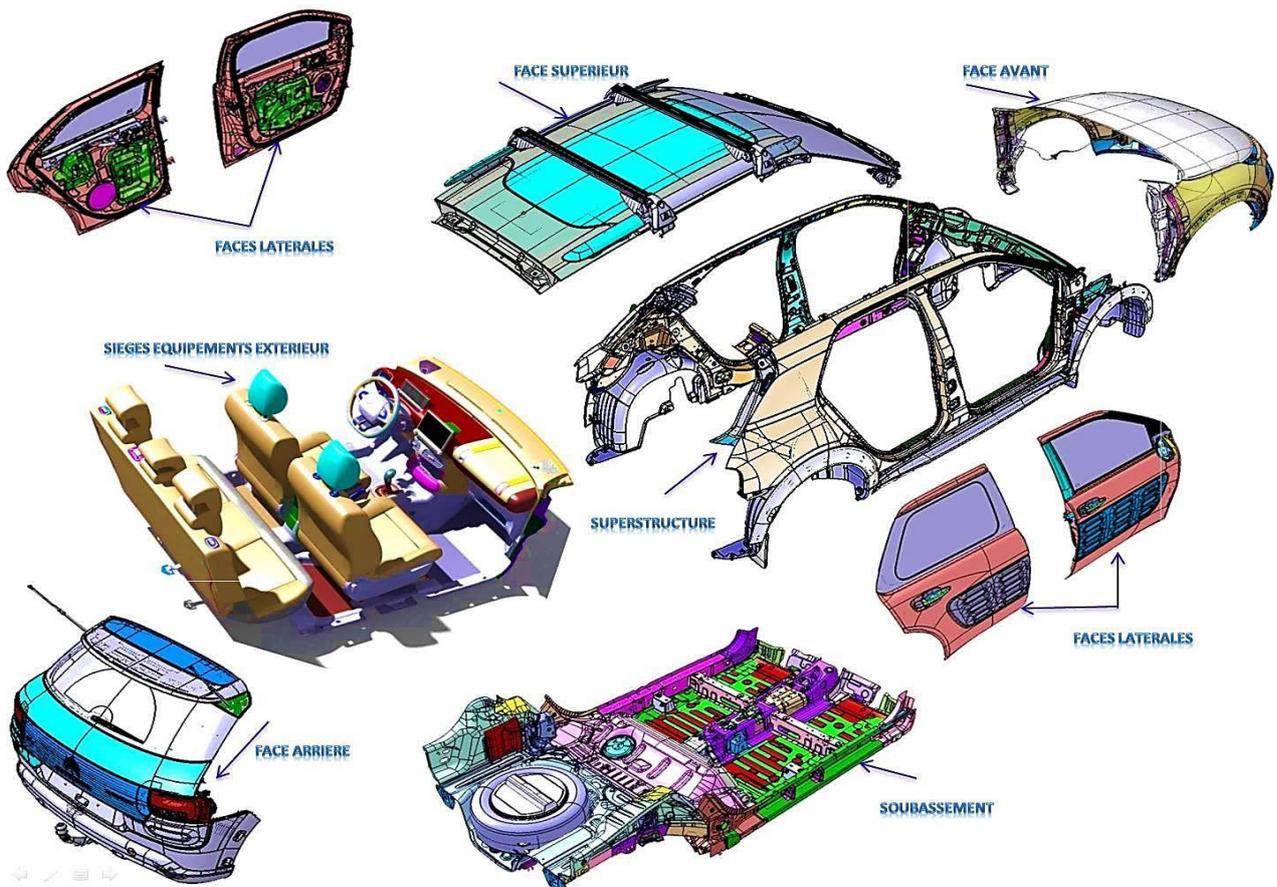


Figure 10 : Périmètres du département Carrosserie

6. Organigrammes

6.1 Organigramme opérationnel

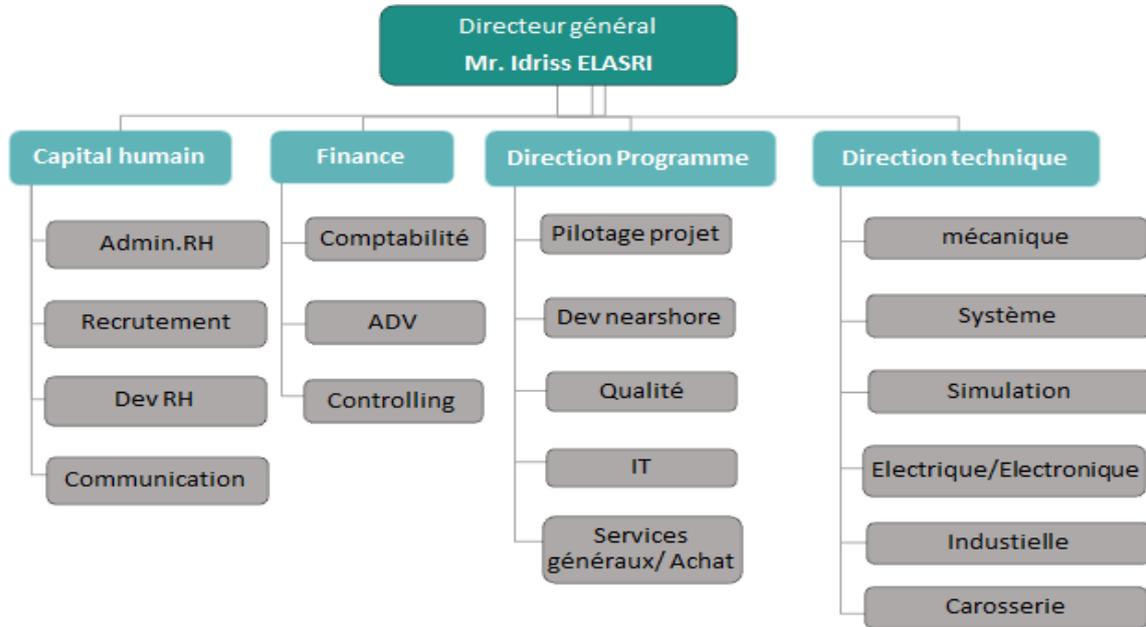


Figure 11 : Organigramme opérationnel

6.2 Organigramme du département Carrosserie

Le département Carrosserie au sein duquel ce stage a été effectué est organisé comme suit :

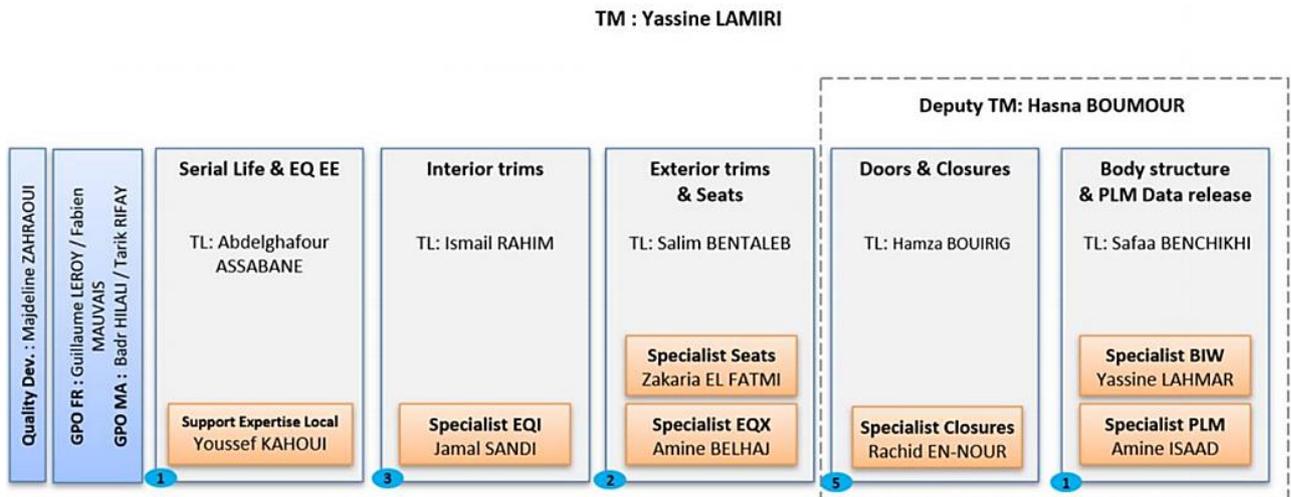


Figure 12 : Organigramme du département Carrosserie

6.3 Organigramme du pôle Ouvrants

L'équipe des ouvrants (Doors & Closures), avec laquelle on a eu l'honneur de travailler notre projet, est chargée de la conception des pièces ouvrantes du véhicule automobile (portes latérales, capots, etc.) tout en respectant les contraintes prestations, style, emboutissage et montage préconisées par le client sans oublier la collaboration avec les acteurs-métiers et le pilotage des fournisseurs dans tout ce qui concerne la réalisation de ces pièces. L'organisation de l'équipe est comme suit :

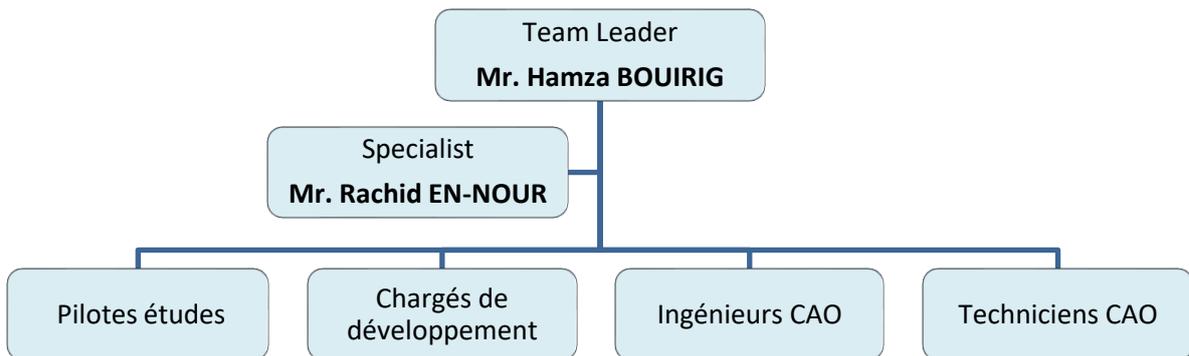


Figure 13 : Organigramme du pôle Ouvrants

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LE SECTEUR AUTOMOBILE

Ce présent chapitre représente des connaissances générales sur le secteur automobile, ainsi que le processus de fabrication d'un véhicule automobile et donne une idée générale sur l'emboutissage des pièces en tôlerie.

CHAPITRE II

PERIMETRE ET CONTEXTE DU PROJET

Ce chapitre présente, en premier lieu, le périmètre de la porte latérale en générale ainsi que ses différents composants afin de mieux comprendre le fonctionnement de chaque pièce, son rôle dans la structure globale.

En deuxième lieu, il définit le contexte général du projet à travers la problématique détaillée, la démarche suivie et le planning GANTT établis pour la résoudre ainsi qu'une formulation détaillée des exigences du projet à travers l'analyse fonctionnelle.

1. Introduction

Afin de mieux cerner notre projet, il est nécessaire de définir son périmètre qui est la porte latérale.

Après avoir suivi une formation consacrée aux outils de la conception de tôlerie automobile, particulièrement en Generative Shape Design, et en logiciel PLM V6 en ce qui concerne la gestion des projets et leur officialisation, ainsi qu'une formation en métier automobile, qui réside dans les règles de tôlerie et le schéma opérationnel de développement des véhicules, durant laquelle on a pu mettre à niveau les compétences nécessaires pour la conception. On a convergé ensuite vers le périmètre de travail qui est la porte latérale pour qu'on puisse cerner notre problème et le résoudre par la suite.

2. Périmètre du projet : la porte latérale

2.1 Positionnement de la porte

Les portes AV et AR se situent géographiquement sur les faces latérales du véhicule automobile ;

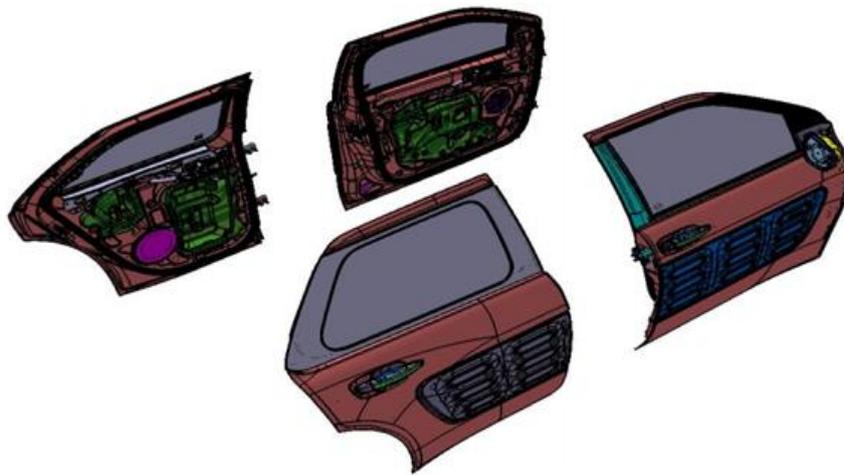


Figure 14 : Faces latérales d'un véhicule

Dans le cadre de notre projet, on s'est intéressé à la porte Avant Droite puisque, par défaut, l'habitude du pôle Ouvrants est de commencer par la face droite avant d'entamer celle de gauche.

Il est important de noter que dans la suite du projet, toutes les pièces du périmètre étudié seront orientées en se référant toujours au repère véhicule. Pour cela, il est primordial d'identifier l'orientation de ses axes. En effet cette identification est normalisée chez les constructeurs automobiles et est comme suit :

- Axe X : suivant la longueur du véhicule ;
- Axe Y : suivant la largeur du véhicule ;
- Axe Z : suivant la hauteur du véhicule.

2.2 Description de la porte latérale

La porte latérale représente l'élément ouvrant permettant l'accès des personnes (conducteur et passagers) ou des marchandises en offrant suffisamment d'espace lors de cet accès au siège conducteur et au compartiment passager tout en protégeant chaque occupant du véhicule des accidents causés par des impacts frontaux ou latéraux quel que soit leur niveau de danger, ce qui la rend un composant indispensable du véhicule.

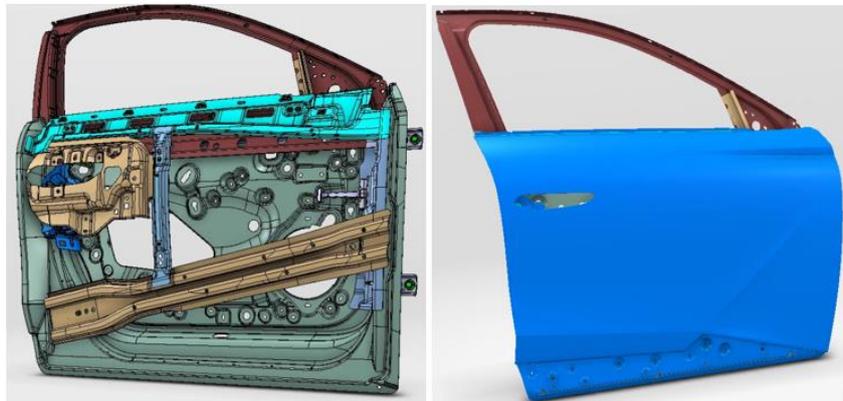


Figure 15 : Porte latérale d'un véhicule automobile

2.3 Composition de la porte latérale

Pour qu'elle soit rigide, de bonne tenue aux chocs et confortable au niveau vibrationnel et opérationnel tout en garantissant la contrainte de liaison entre la forme et le style, la porte est dotée d'un système spécifique constitué de toute une gamme de pièces. On trouve principalement le squelette lié au véhicule via des articulations, il est généralement en acier ou en aluminium, équipé des différents dispositifs électriques responsables au fonctionnement des vitres, des rétroviseurs et des haut-parleurs, des accessoires d'étanchéité et d'amortissement des

vibrations acoustiques et des éléments assurant le fonctionnement régulier et ergonomique de la porte comme les poignées.

La vue éclatée ci-dessous représente cette gamme de pièces :

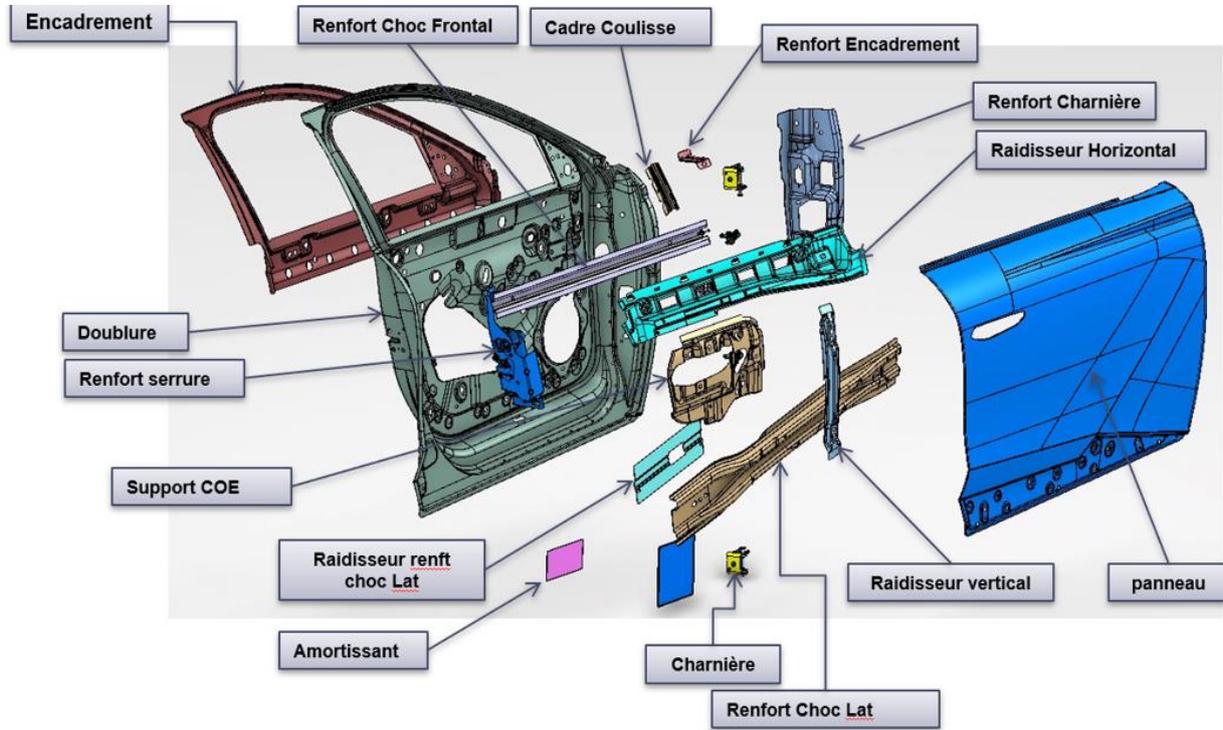
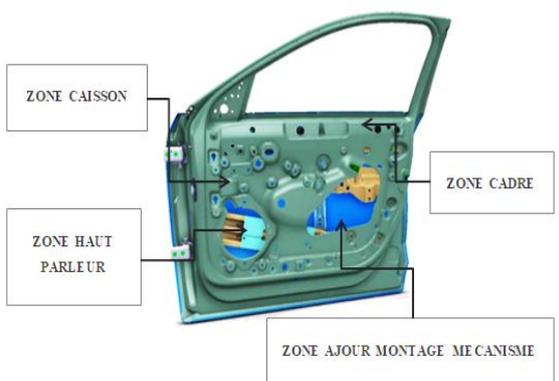
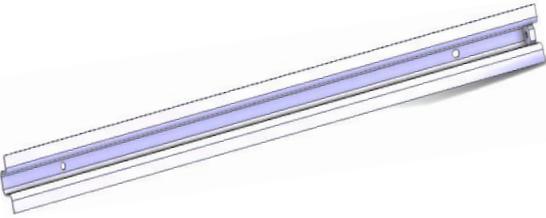
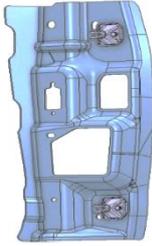
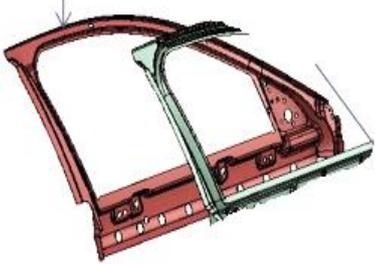


Figure 16 : Vue éclatée des composants de la porte latérale droite

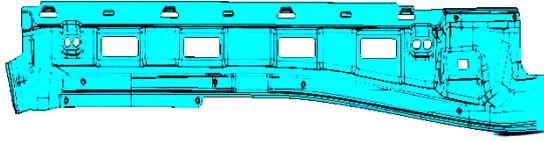
La description de chacune de ces pièces est détaillée comme suit :

Tableau 4 : Description des composants de la porte latérale

DOUBLURE	
 <p>The diagram shows the inner door panel with four labeled zones: <ul style="list-style-type: none"> ZONE CAISSON: The main body of the panel. ZONE CADRE: The frame area. ZONE HAUT PARLEUR: The speaker area. ZONE AJOUR MONTAGE MECANISME: The area for mounting mechanisms. </p>	<p>La doublure est la partie intérieure principale de la porte d'automobile qui représente la pièce porteuse de tous ses équipements, elle forme un moyen de protection des occupants du véhicule en cas de choc latéral.</p> <p>La doublure contient deux zones principales : zone cadre et zone caisson dite aussi zone médaillant qui contient la zone réservée au haut-parleur et celle réservée au montage de tous les autres équipements et mécanismes électriques ainsi qu'au passage des câbles.</p>

RENFORT CHOC LATERAL	
	<p>Le renfort de choc latéral permet de supporter le choc latéral en cas de collision de la carrosserie, Il représente un élément central de la conception d'ensemble des pièces tôlerie de porte latérale, il se fabrique généralement à partir des matériaux a hautes résistances permettant d'absorber l'énergie dû à un choc latéral lors d'un accident.</p>
RENFORT CHOC FRONTAL	
	<p>Le renfort de choc frontal permet de supporter le choc frontal en cas de collision de la carrosserie. Il est pourvu d'un tronçon déformable destiné à s'étendre selon la direction du choc frontal.</p>
RENFORT CHARNIERE	
	<p>Le renfort charnière se situe sur la partie avant de la doublure de porte latérale. Il permet d'assurer la rigidité et la fixation des charnières et l'arrêt de porte et de renforcer plus efficacement la tenue de charnière aux chocs.</p>
RENFORT SERRURE	
	<p>Le renfort serrure est destiné à être interposé entre la serrure et la doublure. Il permet de renforcer plus efficacement la tenue des serrures aux chocs.</p>
ENCADREMENT	
	<p>L'encadrement représente la partie supérieure de la porte d'automobile. Il permet de renforcer la zone cadre de la doublure et d'assurer le montage des pièces d'équipements de cadre (enjolveur encadrement, coulisse vitre et rétroviseur extérieur).</p>

RAIDISSEUR PANNEAU HORIZONTAL



Le raidisseur panneau est un dispositif qui permet le renforcement de panneau de porte, il est interposé entre la doublure et le panneau et maintenu via des cordons de colle.

3. Contexte du projet

3.1 Problématique

La mondialisation des échanges exerce une pression commerciale sur les entreprises. Cette pression est particulièrement forte dans les pays développés qui doivent faire face à la concurrence de pays émergents qui proposent des produits performants. Dans ce contexte, la compétitivité des entreprises passe par trois axes d'amélioration majeurs se résumant dans la diminution des coûts, l'amélioration de la qualité et la réduction des délais de conception.

NECESSITE DE LA REDUCTION DES DELAIS DE CONCEPTION

Les entreprises doivent renouveler de plus en plus vite leurs produits pour rester en phase avec les attentes des consommateurs. Les services commerciaux multiplient les études marketing pour s'informer des derniers besoins des clients. A partir de ces informations et en fonction de la politique commerciale de l'entreprise, on définira les cahiers des charges des produits. La réduction des délais de conception contribue à la flexibilité de l'entreprise en lui autorisant une plus grande réactivité au marché.

Au sein de MG2 Engineering, les projets des véhicules sont diversifiés. La disposition des modèles génériques des pièces de véhicule, pour leur reconduction ou leur modification, afin de les adapter à de nouveaux projets est une clé de succès dans la réduction des délais de conception.

Or, à travers le temps, que peu de modèles génériques sont restés organisés au niveau de leur arborescence CATIA. Sans oublier qu'il y a des pièces qui ne possèdent même pas un modèle générique auquel le concepteur peut s'appuyer pour concevoir ces pièces.

En projetant ce cas sur le périmètre de la porte, on trouve que le Raidisseur Panneau Horizontal et le Renfort de Choc Frontal sont des pièces qui ne possèdent pas des modèles génériques

organisés. Le concepteur de ces pièces se trouve dans l'obligation de les créer à nouveau pour les nouveaux projets ou d'entrer dans un cycle de mises à jour difficilement effectuées à cause de la non organisation de la conception et la non structuration de l'arborescence Catia.

Ces modifications restent maintenues tout au long la phase de développement du véhicule à cause de la convergence entre les différents départements, notamment avec celui de Calcul & Simulation numérique où plusieurs en-cours se génèrent afin que les pièces 3D soient conformes avec les résultats des tests numériques. Sans oublier les allers – retours des autres pôles pour l'intégration ou la modification des interfaces de l'environnement.

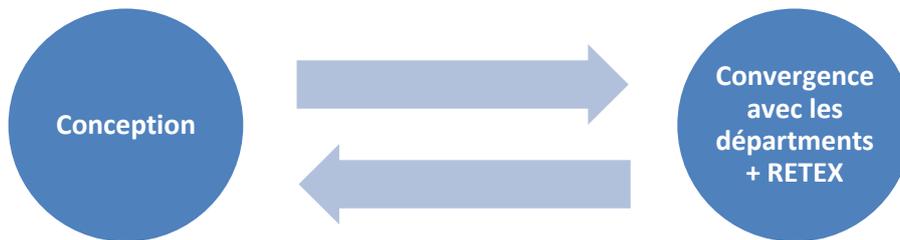


Figure 17 : Nécessité d'une conception itérative

L'importance de ces modèles génériques dans l'optimisation du temps de conception se présente, via le schéma, comme suit :

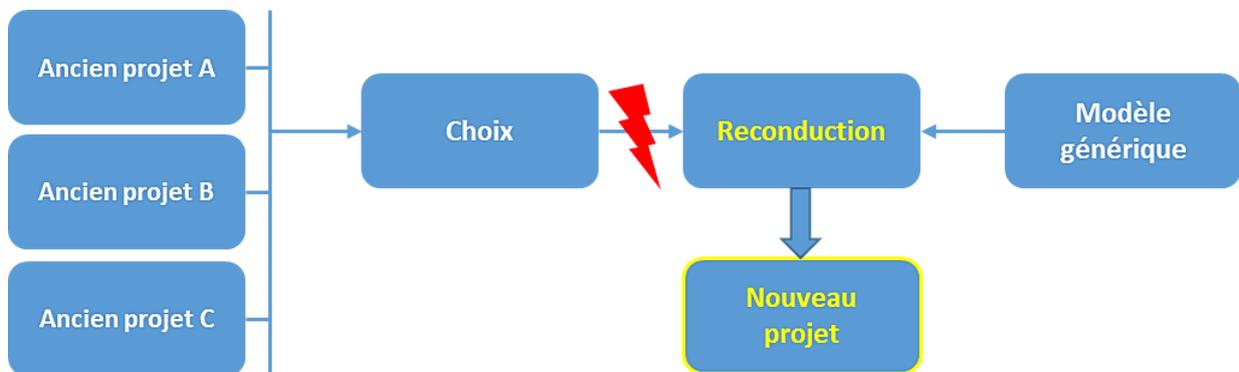


Figure 18 : Importance de la disposition des modèles génériques organisés

3.2 Formulation du problème

3.2.1 QQQOCP

La méthode QQQOCP désigne une technique d'analyse contextuelle, simple et efficace d'une situation donnée.

Qui ? Qui est concerné par le problème ?

- Les concepteurs de MG2 Engineering.

Quoi ? C'est quoi le problème ?

- Pas de modèles génériques pour la reconduction des pièces ;
- Perte du temps lors des mises à jour sur CATIA.

Où ? Où se déroule le problème ?

- Au sein de l'équipe des Ouvrants (département carrosserie).

Quand ? Quand apparaît-il le problème ?

- DFNU (phase d'étude de développement et convergence).

Comment ? Comment il est envisagé de résoudre le problème ?

- Création des modèles génériques organisés pour le Raidisseur Panneau Horizontal et le Renfort de Choc Frontal du périmètre de la porte en se basant sur le benchmarking, les règles de métier et le retour d'expériences.

Pourquoi ? Pourquoi résoudre le problème ?

- Pour une adaptation facile aux nouveaux projets ;
- Pour une conception de qualité et facile à modifier ;
- Pour gagner du temps.

3.2.2 Charte de projet

Tableau 5 : Charte de projet

Clients :		Impact :
<ul style="list-style-type: none"> • Aval : Equipe Ouvrants • Final : MG2 Engineering 		<ul style="list-style-type: none"> • Optimisation du temps de conception
Diagramme des CTQ		
Besoin :	Exigences :	Caractéristiques et spécifications :
<ul style="list-style-type: none"> • Modèle générique pour la reconduction des pièces. 	<ul style="list-style-type: none"> • Une MAJ rapide et adaptation facile aux nouveaux projets. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps réduit de la conception et des MAJ ; • Nombre réduit d'opérations lors de la conception.
Etat actuel :		Etat souhaité :
<ul style="list-style-type: none"> • Manque d'un modèle générique efficace pour le Raidisseur Horizontal et le Renfort Choc Frontal • Conception non structurée • Un grand délai de conception 		<ul style="list-style-type: none"> • Conception structurée dans des modèles génériques adaptables pour chaque projet • Un délai réduit de conception
Equipe :		
<ul style="list-style-type: none"> • Hamza BOUIRIG • El Mustapha BOUDLICH & Mouhcine EL HAMMOUDI • Redouane BOUJMAL • Alae-Eddine BOUROUISSA & Fatima Zahrae JAAOUAN 		<ul style="list-style-type: none"> • " Team Leader " • " Tuteurs du projet " • " Tuteur pédagogique " • " Stagiaires pilotes du projet "

3.3 Zones de travail

▪ Raidisseur Panneau Horizontal

Le Raidisseur Panneau Horizontal est positionné en partie SUP du caisson de porte et permet de :

- Apporter de la Raideur sur la partie haute du Panneau de porte.
- Rigidifier la ligne lécheur EXT.
- Fixer le Lécheur EXT



Figure 19 : Environnement du Raidisseur Horizontal

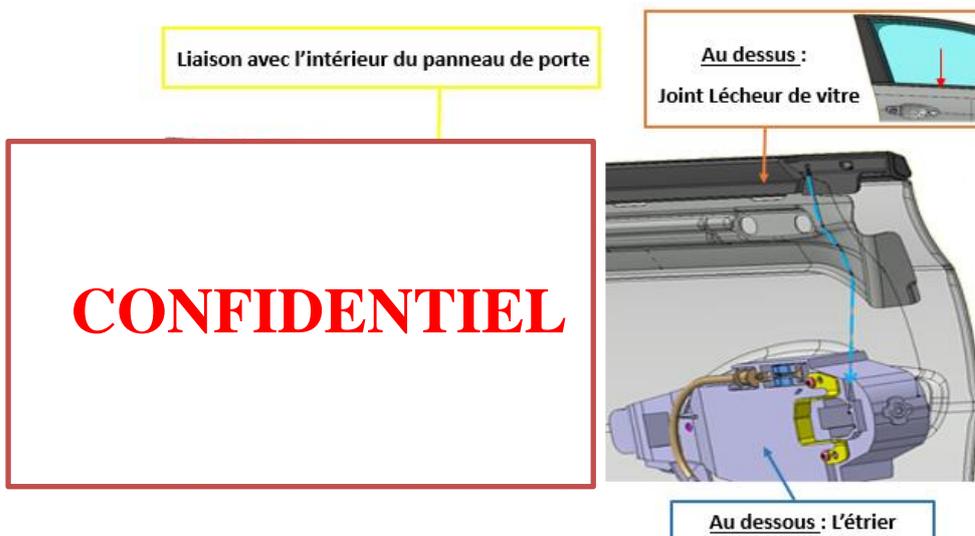


Figure 20 : Environnement du Raidisseur Horizontal (suite)

▪ **Renfort Choc Frontal**

A son tour, le Renfort Choc Frontal est interposé entre la doublure et l'encadrement et permet de :

- Protéger les occupants lors d'un choc frontal.

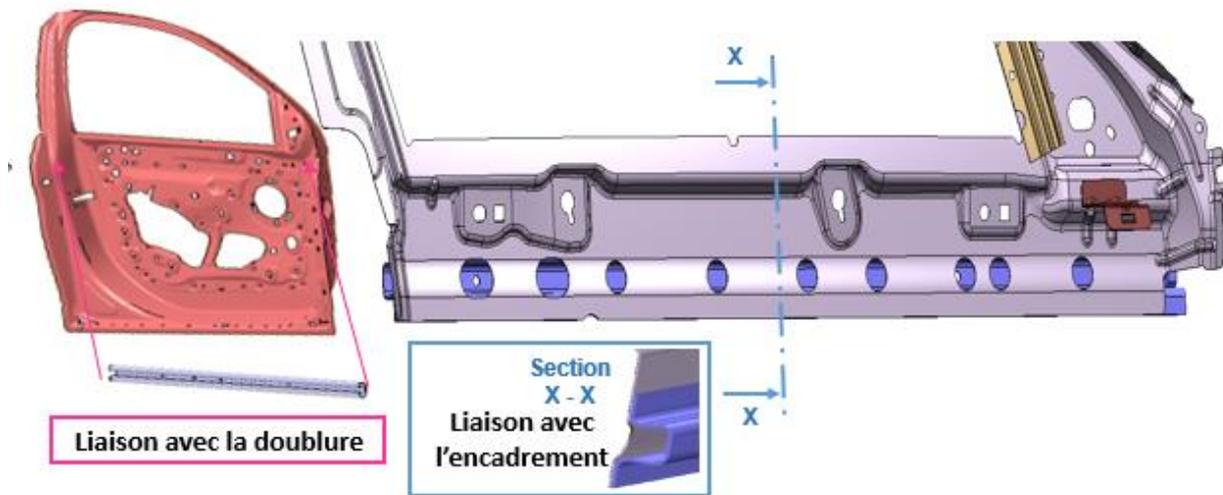


Figure 21 : Environnement du Renfort Choc Frontal

3.4 Démarche de résolution

Afin d'établir un développement du projet favorisant l'atteinte des objectifs principaux, il est primordial de suivre une démarche assez robuste permettant de réduire les écarts entre la situation actuelle et standard.

La diversité des méthodes de résolution de problème génère une certaine complexité lorsqu'il faut faire le choix de l'une d'elles.

Il est donc nécessaire de savoir si la stratégie de résolution de problème cherche à résoudre un problème bien déterminé ou s'appuie sur un processus d'amélioration sans problème détectable au début ?

En projetant ces critères sur notre situation, il s'avère que le **Processus de Développement d'un Produit (PDP)** est la démarche la plus adéquate pour traiter notre projet vu qu'il s'agit d'une résolution d'un problème bien spécifique.

C'est une séquence d'étapes et activités bien détaillées et organisées employées pour concevoir le produit attendu.

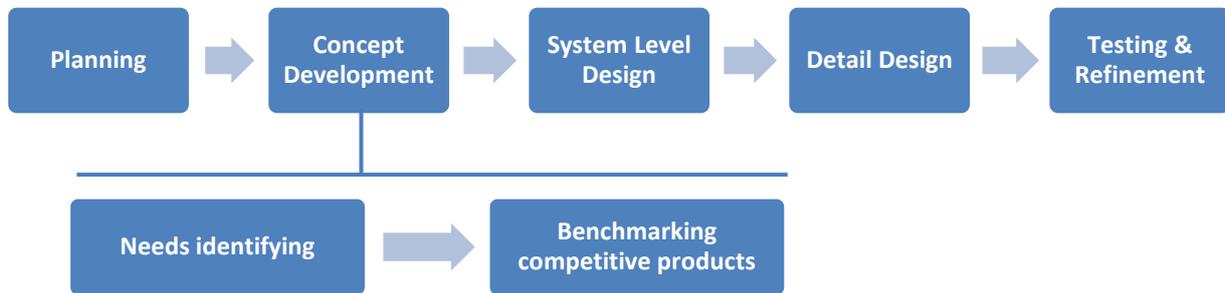


Figure 22 : Processus de développement d'un produit

- **PLANNING**

Après avoir établi un planning de développement détaillé, en élaborant une stratégie permettant de minimiser le temps de développement et en identifiant les ressources nécessaires pour mener à bien le projet. Les principaux résultats de cette phase de planification peuvent être utilement capturés à travers la charte de projet représentée précédemment, qui contient l'énoncé de mission, les parties intervenantes et la problématique détaillée, ainsi qu'à partir du planning établi, par la suite, pour le développement de ce projet.

- **CONCEPT DEVELOPMENT**

IDENTIFY CUSTOMER NEEDS

Afin de bien comprendre les exigences du projet et de les communiquer efficacement. La sortie de cette étape est un ensemble d'énoncés des fonctions de base et de performance de différents niveaux d'importance aussi élaborées et organisées soigneusement.

BENCHMARKING COMPETITIVE PRODUCTS

C'est le benchmarking externe, Il s'agit d'une compréhension des produits concurrents pour un positionnement réussi au cœur du marché en découvrant les différentes solutions adoptées par les autres constructeurs automobile dans le cadre de notre périmètre de travail. Pour ce fait, un benchmarking concurrentiel a été réalisé pour 5 modèles de véhicules.

- **SYSTEM LEVEL DESIGN**

Il s'agit d'une analyse de modèles 3D pour mieux comprendre les données d'entrée nécessaires pour la réalisation du projet ainsi que les éléments de construction et son organisation selon la méthodologie exigée par le client.

- **DETAIL DESIGN**

C'est l'action de concevoir, c'est-à-dire la conception détaillée du produit et qui respecte les règles tirées à partir des référentiels techniques et les règles de métier en conception tôlerie.

- **TESTING & REFINEMENT**

C'est l'action de tester la validité de la solution proposée pour pouvoir la juger conforme pour qu'elle se considère solution à la problématique.

3.5 Planification

3.5.1 Objectifs implicites

Dans le but de remplir à bien les missions concernées par le projet, On a été amené à :

- Apprendre à bien manipuler les logiciels CATIA V5 – V6 et PLM.
- Apprendre le métier de conception des structures automobiles et les règles de tôlerie
- Analyser les différentes solutions existantes chez les constructeurs automobiles concurrents et choisir / concevoir la solution optimale.

3.5.2 Planning GANTT du projet

Notre mission, à travers ce stage, vis-à-vis la résolution de la problématique a été correctement répartie en sous tâches à effectuer selon des délais fixés pour une bonne organisation du projet. Pour ce fait, le planning GANTT ci-dessous a été établi au début de cette mission :

Tableau 6 : Planification du projet

Description de la tâche	Pourcentage cumulatif d'importance	Début	Durée
Formation sur outils et métier	40 %	01/03/21	50 jours
Documentations (Clients, Altran / MG2, Automobile)		01/03/21	3 jours
Formation sur CATIA V5		04/03/21	20 jours
Formation de Tôlerie (règles de métier du client)		01/04/21	5 jours
Formation sur CATIA V6 et PLM V6		08/04/21	20 jours
Formation en SOD des véhicules		06/05/21	2 jours
Etude préparatoire	55%	10/05/21	12 jours
Construction du planning		10/05/21	1 jour
Etude sur la structure de véhicule		11/05/21	2 jours
Définition des objectifs du projet et son périmètre		13/05/21	3 jours
Analyse détaillée du besoin		16/05/21	6 jours
Etude comparative	70%	22/05/21	12 jours
Benchmarking externe		22/05/21	4 jours
Benchmarking interne		26/05/21	7 jours
Choix des solutions adaptables		02/06/21	1 jour
Conception des modèles génériques	85%	03/06/21	16 jours
Constructions des zones		03/06/21	6 jours
Assemblage des zones fonctionnelles		09/06/21	1 jour
Intégration des emboutis		10/06/21	4 jours
Détourage des pièces		14/06/21	4 jours
Construction des pièces solides finales		18/06/21	1 jour
Evaluation des modèles	100%	19/06/21	9 jours
Test d'emboutissabilité		19/06/21	1 jour
Maillage & calcul numérique		20/06/21	2 jours
Interprétation des résultats		22/06/21	1 jour
Mises à jour		23/06/21	3 jours
Etude comparative et bilan du temps		26/06/21	2 jours

4. Analyse fonctionnelle du besoin

Cette analyse représente l'étape « **Needs Identifying** » de la phase « **Concept Development** » dans le PDP. Elle est primordiale pour bien comprendre les besoins et attentes des futurs clients du produit, elle consiste à transformer ces besoins en fonctions. Cette façon de faire permet de mieux cerner le besoin réel et, ensuite, de trouver une solution optimale répondant à celui-ci.

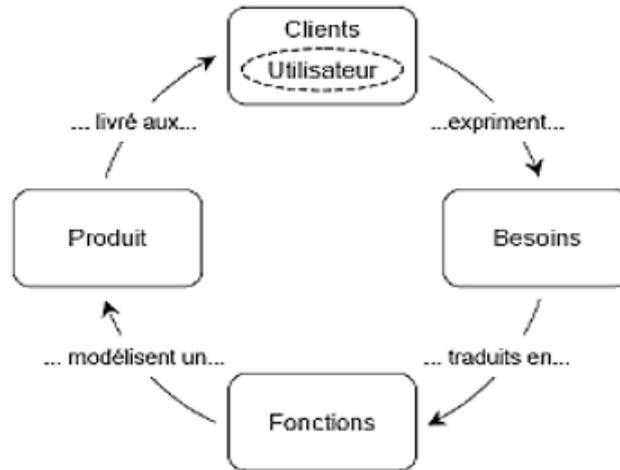


Figure 23 : Cercle d'analyse du besoin

Une fonction est une action réalisée par le produit, exprimée sous forme de but à atteindre, en faisant abstraction de toutes solutions. Elle est classifiée selon sa typologie en : fonctions de base et fonctions de performance.

4.1 Fonctions de base

Dans la pratique, le Raidisseur Panneau Horizontal et le Renfort Choc Frontal sont créés pour satisfaire un besoin correspondant à leur utilisation principale. Mais chaque phase de leur cycle de vie ajoute des contraintes de service représentant un compromis entre le besoin satisfait et le besoin souhaité.

L'examen de l'environnement représenté par le **diagramme Pieuvre** permet d'imaginer le produit en situation d'utilisation, avec les éléments de son environnement. Ce produit est considéré comme un ensemble fonctionnel assurant un certain nombre de fonctions, et non pas comme un assemblage de composants.

▪ **RAIDISSEUR PANNEAU HORIZONTAL**

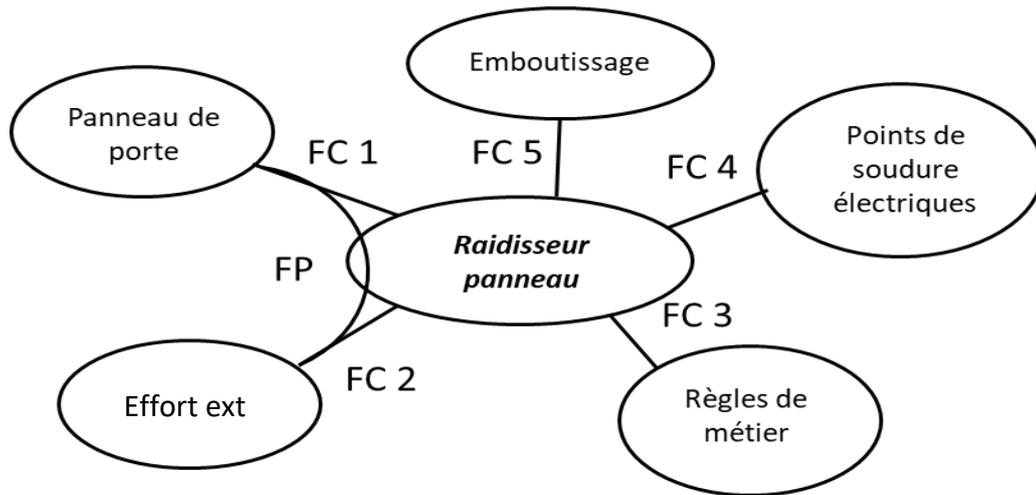


Figure 24 : Diagramme Pieuvre du Raidisseur Panneau Horizontal

Tableau 7 : Fonctions de service du Raidisseur Panneau Horizontal

Fonctions	Expressions des services
FP	Permettre le renforcement du panneau de porte
FC1	Pouvoir être conçu en respectant la position du panneau
FC2	Absorber l'énergie due à un effort appliqué au panneau
FC3	Respecter les règles de métier et les préconisations du client
FC4	Vérifier la soudabilité et respecter l'emplacement des PSE
FC5	Pouvoir être emboutissable

▪ **RENFORT CHOC FRONTAL**

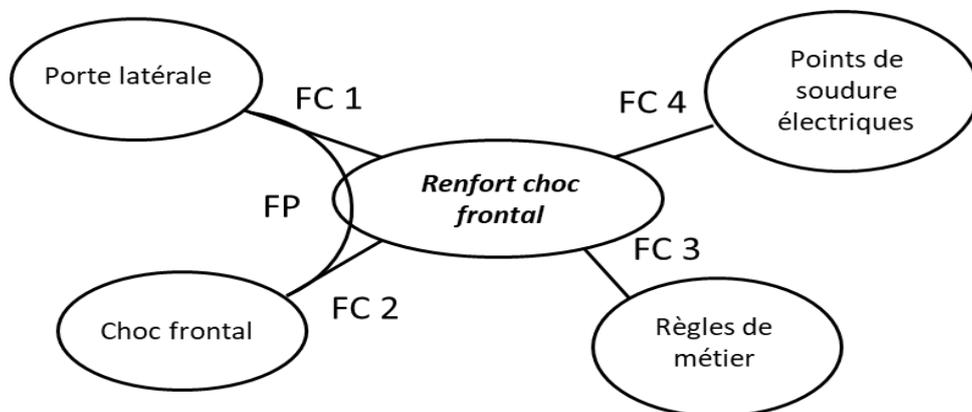


Figure 25 : Diagramme Pieuvre du Renfort Choc Frontal

Tableau 8 : Fonctions de service du Renfort Choc Frontal

Fonctions	Expressions des services
FP	Permettre la protection de la porte latérale contre le choc frontal
FC1	Pouvoir être conçu en respectant la position de la porte
FC2	Absorber l'énergie due à choc frontal appliqué sur la porte
FC3	Respecter les règles de métier et les préconisations du client
FC4	Vérifier la soudabilité et respecter l'emplacement des PSE

4.2 Fonctions de performance

Ces fonctions traduisent les attentes pour que le produit ne soit pas seulement fonctionnel mais qu'elle réponde, aussi, à un besoin non exprimé et non exigé pour son fonctionnement qu'on appelle de performance. Elles sont déduites par l'intuition ;

Pour le cas de nos Raidisseur Horizontal et Renfort Choc Frontal, la fonction de performance est d'assurer une conception qui sera facile à la modification et à la reconduction vers de nouveaux projets, sur laquelle le concepteur peut s'appuyer dans sa tâche en la considérant comme modèle de départ facilement adaptable et clairement compréhensible au niveau de la construction.

CHAPITRE IV

ANALYSE COMPARATIVE

Dans ce chapitre, un benchmarking externe, en premier lieu, des solutions proposées par les différents constructeurs automobiles a été fait, en premier lieu, en se basant sur les formes données aux pièces étudiées. Les données récoltées servent pour un meilleur positionnement au cœur du marché ;

Ceci est suivi d'un benchmarking interne des modèles 3D pour pouvoir en tirer les données de départ et les paramètres à garder ou à modifier pour la conception de nos modèles génériques.

1. Benchmarking externe

1.1 Introduction

L'analyse de concurrence, correspondant à l'étape « **Benchmarking Competitive Products** » de la phase « **Concept Development** » dans le PDP, permet de se comparer aux meilleures marques, celles qui possèdent les performances les plus remarquables dans leur domaine. L'objectif de cette analyse des solutions existantes, est d'analyser les composants de la porte avant du véhicule automobile et plus particulièrement ceux concernés par notre projet qui sont le renfort choc frontal et le raidisseur horizontale, en vue d'avoir des idées sur les solutions proposées par les différents constructeurs dans chaque véhicule et de les évaluer selon quelques critères afin d'en extraire les clés d'inspiration menant à une conception robuste par la suite.

1.1.1 « A2MAC1 Automotive Benchmarking »

L'entreprise généralement démonte puis photographie chaque année des milliers de pièces, avant de compiler ses observations sous forme de base de données. L'outil professionnel de benchmarking approvisionnée par les constructeurs est A2MAC1, grâce à cette gigantesque carte mémoire de l'industrie automobile, les grands groupes mondiaux scrutent les réalisations de la concurrence et s'en inspirent pour leurs futures créations. Il offre des analyses des caisses en blanc (BIW) de plus de 60 véhicules via :

- Des scans 3D de la surface entière du BIW.
- Photos des renforts et vues panoramiques depuis l'intérieur du BIW.
- Désassemblage et observation des tôles métalliques extérieures.
- Identification des types de soudages et du nombre de points de soudure.
- Des données sur la dureté, l'épaisseur et la composition chimique des tôles métalliques.
- Une comparaison des masses des tôles individuelles.



Figure 26 : Logo du site A2MAC1

1.1.2 « EURONCAP for safer cars »

Le but lors d'un test crash d'une voiture n'est pas qu'elle soit la plus solide possible. En effet cette erreur a été commise dans le passé par les constructeurs qui faisaient en sorte que les autos soient résistantes, or cela n'a pas vraiment aidé les occupants à résister aux impacts. Tout a alors changé, les ingénieurs ont compris qu'il fallait que la voiture se déforme au contraire d'être très solide. En effet, toute la partie avant des voitures modernes sont conçues pour avoir le rôle d'amortisseur et donc de réduire la décélération au moment de l'impact. En revanche, la cellule de l'habitacle doit rester très résistante.

Pour vérifier la performance des pièces automobiles vis-à-vis les chocs qu'elles subissent, EuroNCAP "the European New Car Assessment Programme" est un organisme international indépendant créé en 1997 et basé à Bruxelles en Belgique qui s'occupe de l'effectuation des essais de choc afin de tester les capacités dans le domaine de la sécurité passive des véhicules, notamment automobiles



Figure 27 : Logo du site EuroNCAP

Les chocs utilisés par EuroNCAP se veulent représentatifs des accidents les plus fréquents, ainsi chaque véhicule testé, subit :

- Un choc frontal : le véhicule est lancé sur une barrière fixe déformable à 64 km/h. Ce choc représente la collision entre deux voitures ;
- Un choc latéral : une barrière mobile déformable est lancée à 50 km/h sur le côté du véhicule statique. Ce cas simule la collision d'un véhicule avec un autre à l'arrêt (par exemple au feu tricolore) ;
- Un choc poteau : le véhicule est lancé contre un poteau de 25,4 cm de diamètre au niveau du siège conducteur à 29 km/h. Ici le véhicule n'est plus sous contrôle et percute un mobilier urbain ;

- Un choc piéton : il est fait sur l'avant du véhicule. Ces tests représentent les accidents avec un piéton à 40 km/h.

Le Renfort Choc Frontal concerné par notre projet se teste au niveau de sa validité en choc frontal, pour cela, on s'est référé particulièrement à la rubrique des impacts frontaux sur le site EuroNCAP.

1.2 Echantillon étudié

Dans le but d'établir des modèles pour s'inspirer des détails qui leur sont associés. **Trois véhicules**, appartenant au même **segment B**, ont été choisis à partir du site A2MAC1 :

Tableau 9 : Caractéristiques de la voiture Citroën C4 Cactus

CITROËN C4 CACTUS				
	Renfort Choc Frontal		Spécifications	Valeurs
			Puissance	82 CH
			Couple	118 N.m
			Vitesse maximale	172 Km/h
	Raidisseur Panneau		Poids	1070 Kg
			Emission CO2	100 g/Km
			Energie	Essence
			Nbr de cylindres	3
		Prix moyen	19 150 €	

Tableau 10 : Caractéristiques de la voiture DS3 Crossback

DS 3 CROSSBACK				
	Renfort Choc Frontal		Spécifications	Valeurs
			Puissance	115 CH
			Couple	240 N.m
			Vitesse maximale	208 Km/h
	Raidisseur Panneau		Poids	1261.35 Kg
			Emission CO2	115 g/Km
			Energie	Essence
			Nbr de cylindres	3
		Prix moyen	24 900 €	

Tableau 11 : Caractéristiques de la voiture VW Golf VIII

VW GOLF VIII			
	Renfort choc frontal	Spécifications	Valeurs
		Puissance	150 CH
		Couple	250 N.m
		Vitesse maximale	224 Km/h
	Raidisseur panneau	Poids	1369.779 Kg
		Emission CO2	106 g/Km
		Energie	Essence
		Nbr de cylindres	4
Prix moyen		21 500 €	

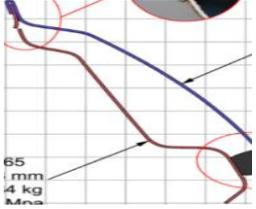
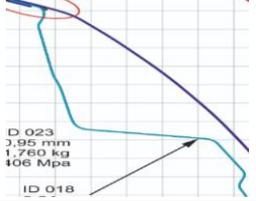
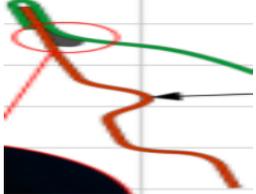
L'ensemble des Raidisseurs Horizontaux sont fabriqués à partir de l'acier par le même procédé qui est l'emboutissage. De même pour les Renforts Choc Frontal, ils sont de l'acier mais obtenus par découpage des profilés commercialisés.

1.3 Analyse multicritère

1.3.1 Critère de forme

Le tableau suivant représente la forme et la vue de section de chacun des trois Raidisseurs ;

Tableau 12 : Formes et sections des Raidisseurs de l'échantillon

Marque	Géométrie	Section
Citroën C4 Cactus		 <p>65 mm 4 kg Mpa</p>
DS3 Crossback		 <p>D 023 3,95 mm 1,760 kg 106 Mpa ID 018</p>
VW Golf VIII		

- **Les ajours**

Il est bien d'ajouter le Raidisseur au maximum, ces ajours permettent de l'alléger et donc d'économiser la matière et gagner, ainsi, au niveau du coût.

Il est important de noter que ces ajours servent, également, comme passage de cuillère de débosselage du Panneau de Porte en Après-vente.



Figure 28 : Débosselage sans peinture du Panneau de porte

De ce fait, il est remarquable que celui de DS3 Crossback et de Citroën C4 excellent, par rapport à leurs concurrents, au niveau d'allègement grâce aux 4 grands trous d'allègement qu'ils comportent.

- **Le volume creux**

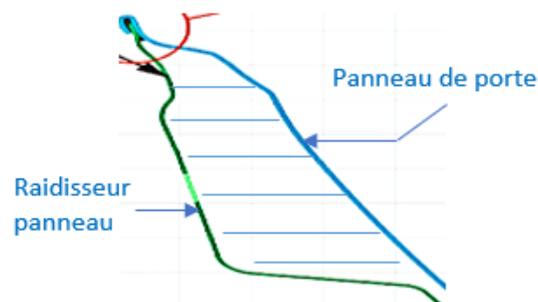


Figure 29 : Corps creux du raidisseur

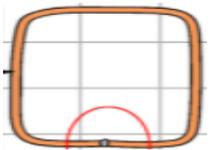
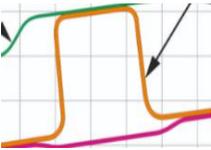
Pour que le Raidisseur Horizontal fasse idéalement sa fonction de renforcement du panneau, il faut qu'il crée le corps creux le plus important possible avec le panneau.

En projetant cette préconisation sur les Raidisseurs des modèles représentés ci-dessus, on peut constater que celui de DS 3 Crossback représente le corps le plus creux par rapport aux modèles concurrents, dont celui qui représente le plus petit corps est le raidisseur de Citroën C4.

1.3.2 Critère de tenue au choc frontal

En se référant au site EuroNCAP, on a pu extraire les données relatives au test crash des 3 véhicules étudiés. Leur notation nous permettra de juger la qualité de leurs Renforts Choc Frontal au niveau de la résistance à ce choc ;

Tableau 13 : Tenue au choc frontal des véhicules de l'échantillon

	Section du renfort	Nombre d'étoiles	Sécurité d'occupant adulte	Impact frontal
C4 CACTUS (2014)			Adult Occupant 	Frontal Offset Deformable Barrier 6.3 Pts 
DS 3 CROSSBACK			Adult Occupant 	Frontal Offset Deformable Barrier 7.6 Pts 
VW GOLF VIII (2020)			Adult Occupant 	Frontal Offset Deformable Barrier 7.5 / 8 Pts 

Il est clairement constatable que le véhicule DS 3 Crossback es doté d'une bonne tenue au choc frontal, par rapport aux autres véhicules, avec un haut pourcentage de sécurité d'occupant et une classification de 5 étoiles. Cela ne pourra que justifier la bonne qualité de son Renfort Choc Frontal : pièce responsable à la protection de la porte contre ce choc.

Conclusion

Dans cette analyse de benchmarking externe, on a pu capter les points forts du Renfort de Choc Frontal et du Raidisseur Horizontal de chacun des 3 modèles de l'échantillon. Ceci aide à nous inspirer des idées obtenues sur les solutions existantes afin de chercher des compromis pour répondre mieux aux attentes de notre propre conception. Pour cela on a conclu que :

- ✓ La technique d'allégement des raidisseurs par des trous dans les zones indépendantes de l'environnement représente un point fort, pour la réduction de la matière aux zones dont on n'a pas besoin, qu'on doit prendre en considération lors de la création de notre propre modèle par la suite.
- ✓ On prendra, par la suite, en considération la nécessité de création du corps le plus creux possible pour réaliser un bon raidisseur au niveau de sa fonctionnalité.

En projetant ces conclusions sur les différents modèles des raidisseurs, on trouve qu'elles sont vérifiées par celui de **DS3 Crossback**, donc on peut le considérer comme modèle d'inspiration, dans la suite de notre travail, pour la conception de notre modèle générique.



Figure 30 : Raidisseur Horizontal de DS3 Crossback

- ✓ L'utilisation du profilé en U pour le Renfort Choc Frontal entraînera une bonne tenue de ce dernier contre le choc frontal.

On peut, donc, considérer le Renfort de DS3 Crossback comme modèle d'inspiration avant d'entamer notre propre conception.



Figure 31 : Renfort Choc Frontal de DS3 Crossback

2. Benchmarking interne

Dans cette partie, qui correspond à la phase « **System Level Design** » de notre processus, une analyse de trois modèles de projets précédemment réalisés : P21, P24 et D34, consultés sur la plate-forme PLM, a été faite afin de comprendre leur construction et leurs techniques

d'assemblage adoptées et d'en tirer les points communs et les éléments inchangeables dans leur conception pour en déduire les données de départ aidant à la création de nos modèles génériques. Ces points en commun serviront comme points clés pour une adaptation et reconduction faciles des pièces par la suite. L'ensemble de ces raidisseurs est analysé selon les critères suivants :

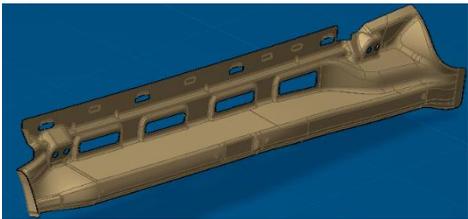
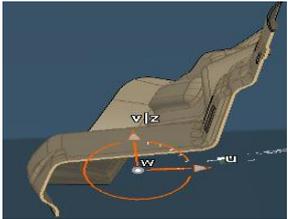
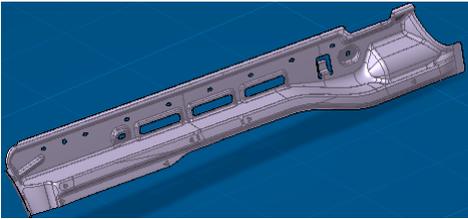
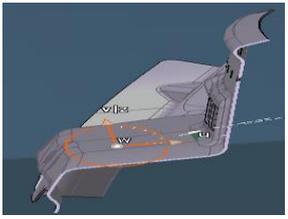
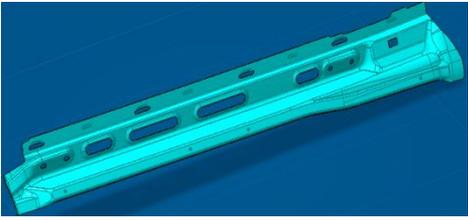
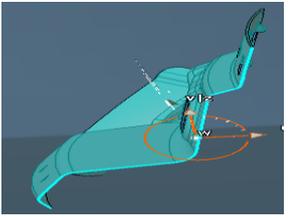
Données d'entrée – Forme – Techniques d'assemblage – Construction.

2.1 Analyse des modèles du Raidisseur Panneau Horizontal

2.1.1 Echantillon analysé

Les données concernant les raidisseurs étudiés sont dressées sur le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Caractéristiques des 3 Raidisseurs Horizontaux analysés

RAIDISSEUR P24			
		Poids	0.737 Kg
		Epaisseur	0.65 mm
		Longueur	1030.515 mm
		Matériau	Acier E275D
RAIDISSEUR D34			
		Poids	0.828 Kg
		Epaisseur	0.65 mm
		Longueur	1031.177 mm
		Matériau	Acier E275D
RAIDISSEUR P21			
		Poids	0.729 Kg
		Epaisseur	0.65 mm
		Longueur	1023.42 mm
		Matériau	Acier E275D

L'ensemble de ces trois modèles ont exactement la même épaisseur, presque la même longueur puisque ces Raidisseurs seront interposés (suivant l'axe X du repère véhicule) entre le panneau de porte et la doublure dont la largeur (suivant l'axe X) ne varie pas beaucoup d'un véhicule à

un autre chez le constructeur client. Cela ne pourra que justifier, par conséquent, la quasi-égalité des poids de ces raidisseurs fabriqués du même matériau qui est l'acier E275D.

→ L'utilisation de ce matériau est exigée par le constructeur client. Par conséquent, c'est le matériau qui va être affecté, à notre modèle générique par la suite.

2.1.2 Données d'entrée

Tableau 15 : Données d'entrée du Raidisseur P24

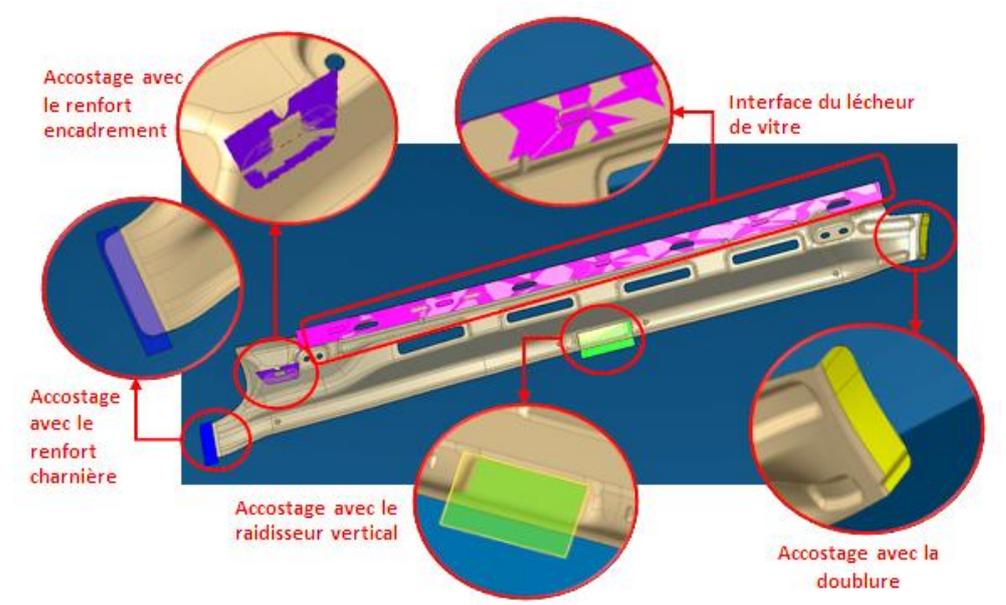
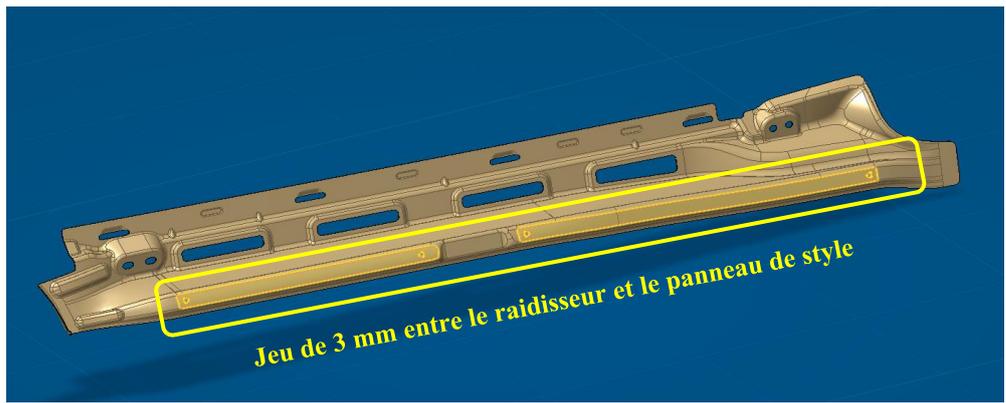
RAIDISSEUR P24	
INTERFACES ET SURFACES DE PIÈCES EN ACCOSTAGE	
PANNEAU DE PORTE	

Tableau 16 : Données d'entrée du Raidisseur D34

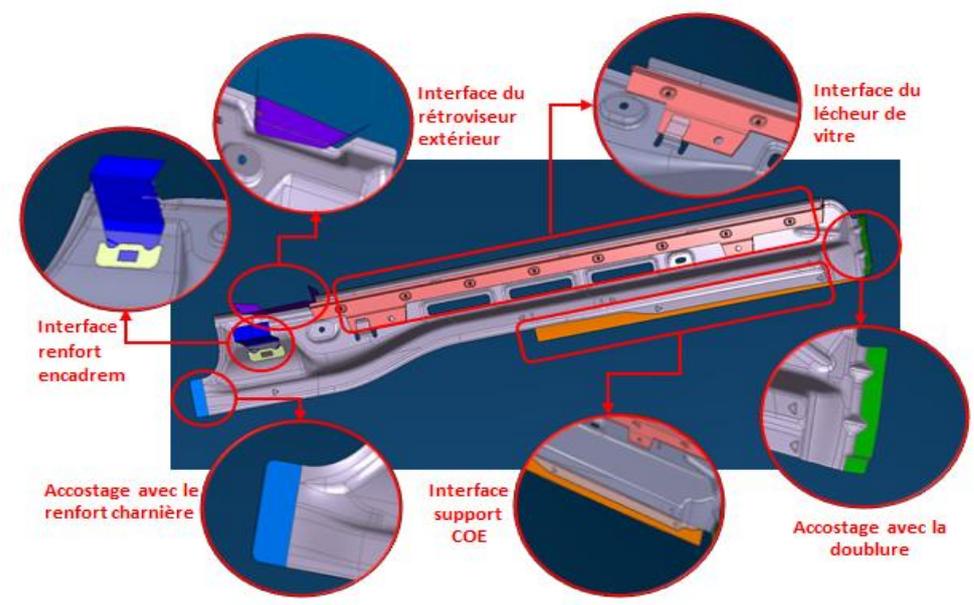
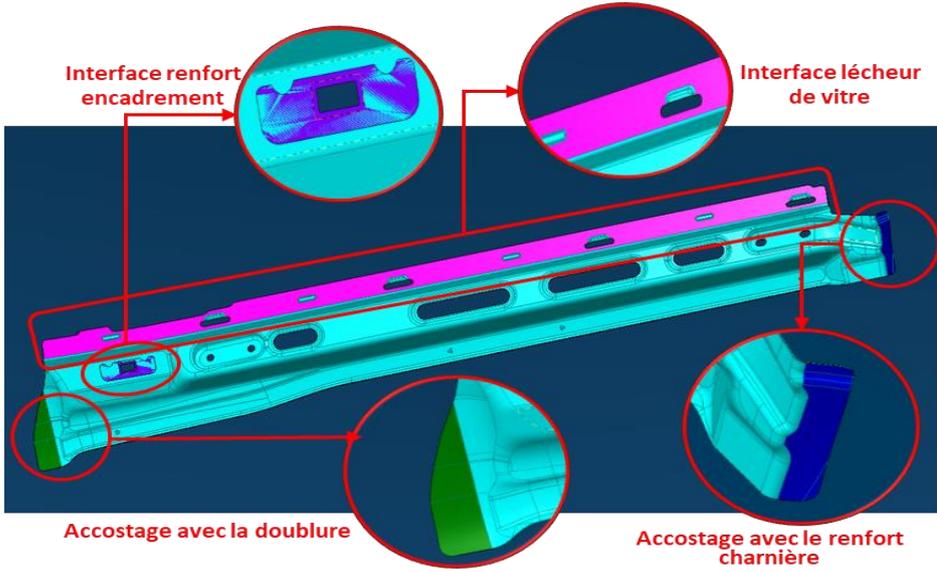
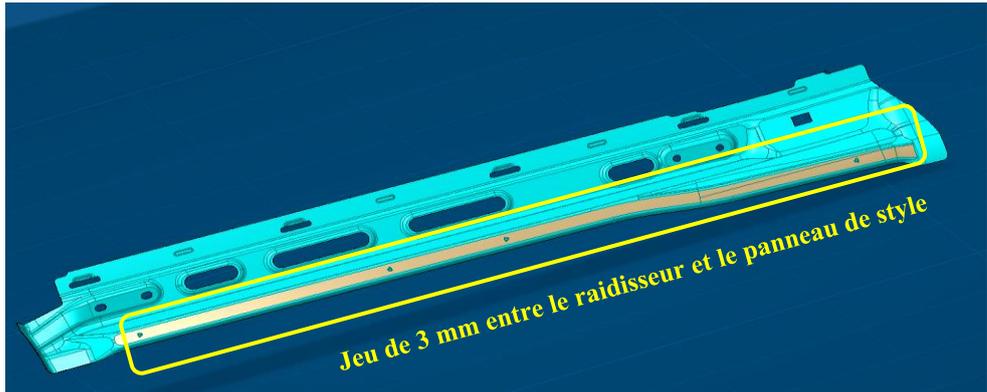
RAIDISSEUR D34	
INTERFACES ET SURFACES DE PIECES EN ACCOSTAGE	 <p>Interface du rétroviseur extérieur</p> <p>Interface du lécheur de vitre</p> <p>Interface renfort encadrem</p> <p>Accostage avec le renfort charnière</p> <p>Interface support COE</p> <p>Accostage avec la doublure</p>
PANNEAU DEPORTE	 <p>Jeu de 3 mm entre le raidisseur et le panneau de style</p>

Tableau 17 : Données d'entrée du Raidisseur P21

RAIDISSEUR P21	
INTERFACES ET SURFACES DE PIÈCES EN ACCOSTAGE	
PANNEAU DE PORTE	 <p style="text-align: center;"><i>Jeu de 3 mm entre le raidisseur et le panneau de style</i></p>

Le panneau de la porte est l'élément de style du périmètre de la porte latérale. C'est la partie qui sera visible par l'utilisateur. Les données d'entrées pour les trois raidisseurs contiennent ce panneau du styliste.

D'autre part, on trouve également comme données d'entrée permanentes dans tous les projets l'interface du lécheur de vitre qui est responsable sur la longueur du raidisseur (suivant l'axe X), l'interface du renfort encadrement, les surfaces d'accostage avec la doublure et le renfort charnière qui assurent la liaison avec le raidisseur.

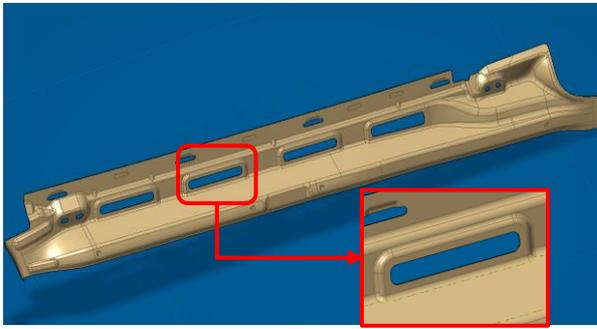
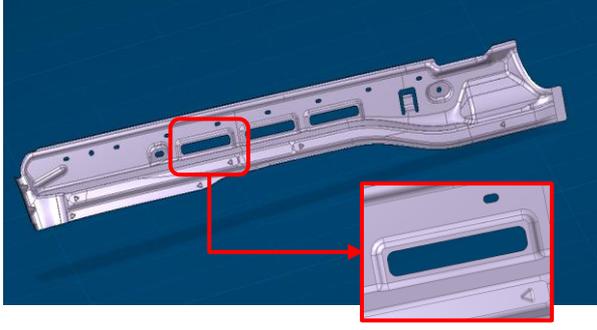
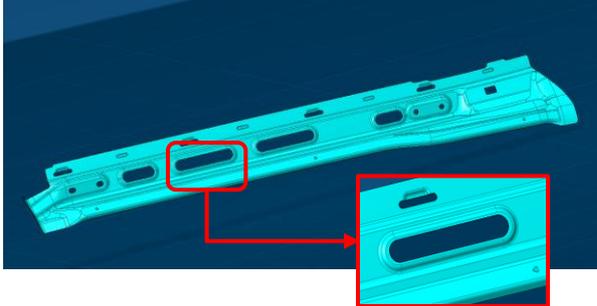
→ Toute la construction de notre modèle générique sera basée sur ces données de départ. La première étape à faire après la récupération du modèle est de remplacer ces données par celles issues du nouvel environnement du projet auquel on souhaite adapter le modèle.

Il est remarquable que les autres données telles que la surface d'accostage avec le raidisseur vertical ou l'interface du support COE ne sont pas fréquentes dans tous les projets puisque les véhicules ne sont pas tous équipés par ces pièces, leur présence dépend de la gamme et du modèle.

2.1.3 Forme

Comme pour les raidisseurs issus des modèles des autres constructeurs automobiles vus précédemment dans la partie de benchmarking externe, ces raidisseurs adoptent presque la même forme.

Tableau 18 : Emboutis d'allègement des 3 raidisseurs analysés

<p>RAIDISSEUR P24</p>		<p>Le principe d'intégration des emboutis pour la rigidification du raidisseur et des trous d'allègement pour l'alléger est adopté par les trois raidisseurs.</p>
<p>RAIDISSEUR D34</p>		<p>Le nombre des emboutis varie selon la surface, si la surface plane est longue, on augmente le nombre pour assurer sa rigidité et on en profite pour insérer encore des trous d'allègement afin d'économiser en matière.</p>
<p>RAIDISSEUR P21</p>		

2.1.4 Techniques d'assemblage

Tableau 19 : Techniques d'assemblage, avec le panneau, adoptées par les 3 Raidisseurs

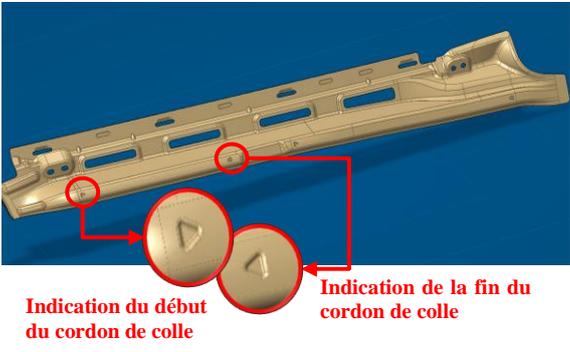
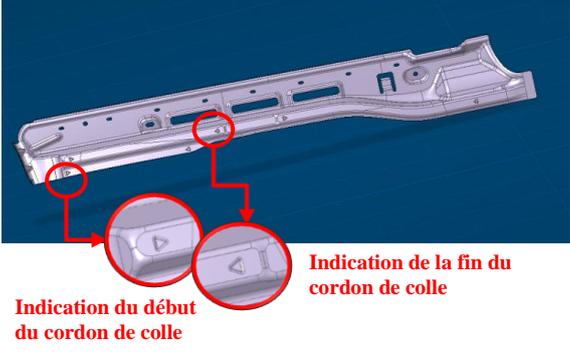
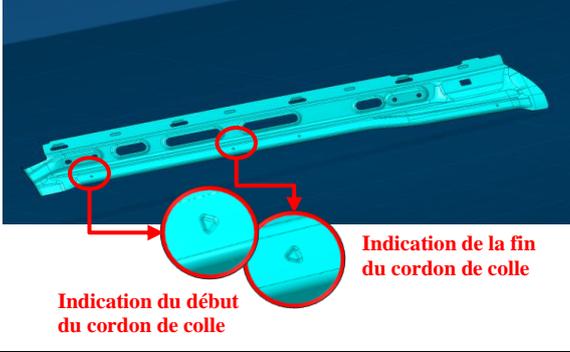
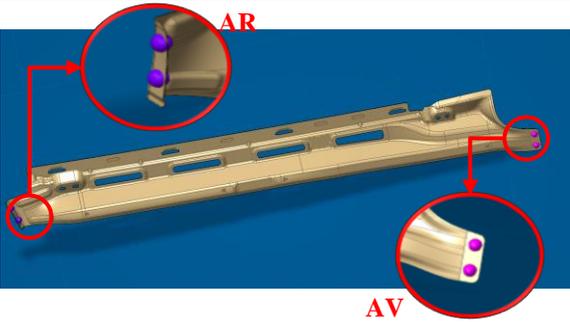
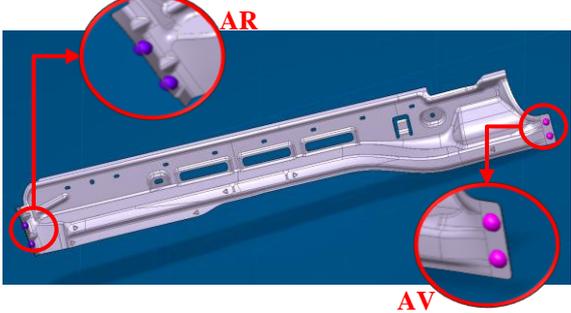
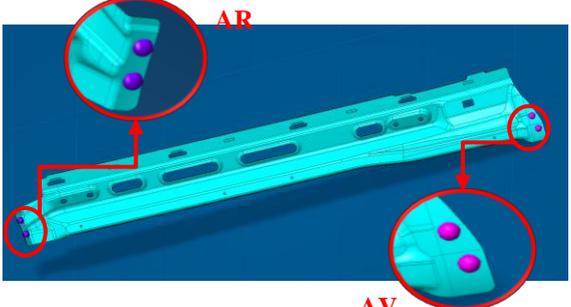
Assemblage avec le panneau de porte		Remarques
<p>RAIDISSEUR P24</p>  <p>Indication du début du cordon de colle</p> <p>Indication de la fin du cordon de colle</p>	<p>Les 3 raidisseurs sont assemblés avec les panneaux des portes sur lesquelles ils sont intégrés par des cordons de colle.</p> <p>Les repères visuels sont utilisés pour indiquer les positions de début et de fin des cordons afin d'aider leur dépose manuelle et le contrôle conformité.</p>	
<p>RAIDISSEUR P34</p>  <p>Indication du début du cordon de colle</p> <p>Indication de la fin du cordon de colle</p>	<p>Le vide entre un cordon et un autre est assuré pour interrompre les cordons pour des raisons de circulation de la cataphorèse et de l'eau et pour garantir une place pour le raidisseur vertical si le véhicule est équipé par ce dernier.</p>	
<p>RAIDISSEUR P21</p>  <p>Indication du début du cordon de colle</p> <p>Indication de la fin du cordon de colle</p>		

Tableau 20 : Techniques d'assemblage, avec la doublure et le renfort charnière, adoptées par les 3 Raidisseurs

Assemblage avec la doublure et le renfort charnière		Remarques
<p>RAIDISSEUR P24</p>  <p>AR</p> <p>AV</p>	<p>Le moyen d'assemblage de chacun de ces raidisseurs avec son environnement comprenant la doublure et le renfort charnière est le même.</p>	

<p>RAIDISSEUR D34</p>		<p><u>Partie AV (avant)</u> : liaison raidisseur – renfort charnière par 2 PSE (soudage normal suivant l'axe Y) en 3 épaisseurs pour assembler, d'un seul coup, ces deux derniers avec la doublure sur laquelle le renfort est accosté ;</p>
<p>RAIDISSEUR P21</p>		<p><u>Partie AR (arrière)</u> : liaison raidisseur – doublure par 2 PSE (soudage normal suivant X) en 2 épaisseurs.</p>

Puisque le panneau de porte représente la pièce du style, la technique la plus judicieuse pour l'assembler avec le raidisseur est l'utilisation de ces cordons de colle comme dans le cas de ces 3 raidisseurs. Le jeu de 3 mm garanti entre ces derniers et le panneau est assuré pour l'insertion de ces cordons.

Tandis que, l'assemblage avec les pièces d'environnement (doublure et renfort) est réalisé par le soudage par points. En effet, c'est le mode d'assemblage le plus utilisé dans le domaine automobile, il sert à assembler localement deux ou trois tôles. A cet effet, les tôles se compriment à l'aide d'une paire d'électrodes, généralement en alliage de cuivre, parcourue par un courant électrique de forte intensité. La chaleur engendrée par ce courant aux interfaces des tôles fait fondre localement le métal, ce qui crée, après solidification, un point de soudure. La décision sur le type de soudage à utiliser parmi les deux types Normal et Pulse se fait selon le critère d'épaisseur des pièces à souder comme est montré sur l'**ANNEXE 1**.

→ La construction de notre modèle générique sera adaptée sur ces techniques comme modes d'assemblage, par défaut, du raidisseur avec son environnement en prenant en compte la nécessité de garantir une surface de recouvrement assez suffisante qui sera valable pour tout type de soudage (puisque les épaisseurs des pièces qui représentent les critères de décision peuvent varier).

2.1.5 Construction

▪ Zones fonctionnelles

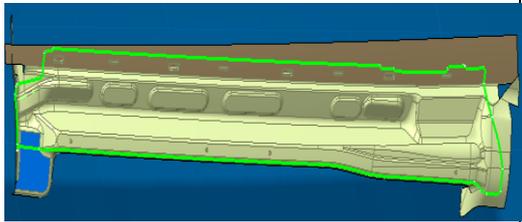
La construction des pièces en tôlerie ne se réalise pas d'un seul coup, elle se fait zone par zone construites à base des données d'entrée jusqu'à l'atteinte de tous les éléments menant à la forme finale après les assemblages et les découpes.

Le nombre de zones à construire dépend de l'environnement de la pièce, plus les éléments de ce dernier sont nombreux, plus on aura plus de zones. Sans oublier que chaque concepteur a sa propre logique de conception et, donc, sa propre division de la pièce en zones fonctionnelles.

En analysant ces Raidisseurs, il s'est avéré que leur construction ne respecte pas une logique lors de leur découpage en zones, exceptée celui P21, et chaque zone est construite d'une manière la rendant très dépendante des éléments (arêtes, sommets, surfaces...) des autres zones. Cela entraînera une difficulté lors de l'adaptation ou la modification de la construction car chaque mise à jour impactera toute la pièce pour qu'elle soit effectuée.

▪ Détourage

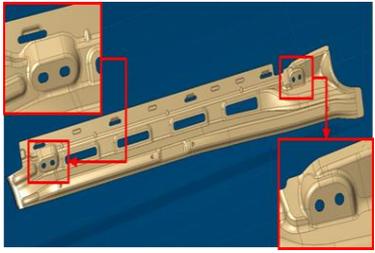
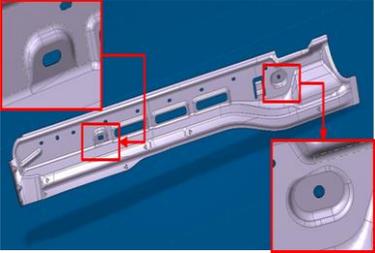
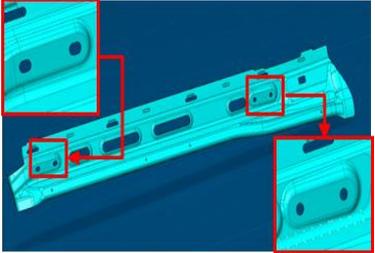
Tableau 21 : Détourage des surfaces des 3 raidisseurs

RAIDISSEUR P24	Pas de contour de détourage	Les surfaces se découpent lors de la construction des zones à chaque fois qu'une opération s'y ajoute.
RAIDISSEUR D34		
RAIDISSEUR P21		La surface assemblée se découpe, d'un seul coup, à l'aide d'un contour de détourage afin d'obtenir la forme finale du raidisseur.

➔ Le contour de détourage comme utilisé dans le raidisseur P21 permet de découper la pièce d'un seul coup tout mais il génère des problèmes lors de l'effectuation de toute mise à jour, car il rassemble les opérations de découpe qui sont faites à partir des parallèles, des décalages des arêtes de la surface ou à partir des formes (lignes, points, splines) dessinées sur cette surface à découper. Toute modification sur l'une des zones entraînera une modification de ce contour.

2.1.6 Manutention et isostatisme

Tableau 22 : Trous de manutention & isostatisme dans les 3 Raidisseurs

RAIDISSEUR P24	RAIDISSEUR D34	RAIDISSEUR P21
		

Les trous en commun entre ces trois raidisseurs sont : un trou en zone avant et une boutonnière en zone arrière qui servent pour le pilotage.

L'autre trou situé en zone avant et celui oblong en zone arrière dans les raidisseurs P24 et P21 servent pour la manutention. En effet on trouve qu'ils ne se présentent pas dans tous les projets, car la manutention peut être assurée par une autre technique comme l'utilisation des fourchettes de manutention.

Conclusion

Parmi les trois raidisseurs analysés, il y a des points de ressemblance, notamment dans leurs formes, leurs techniques d'assemblage. La différence réside dans leurs constructions, on trouve que celle du raidisseur P21 est plus organisée où même la découpe est réalisée d'un seul coup à partie d'un contour de détournage.

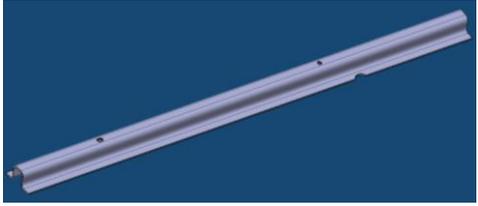
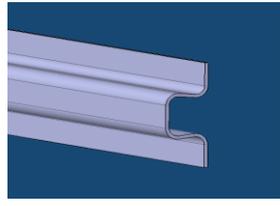
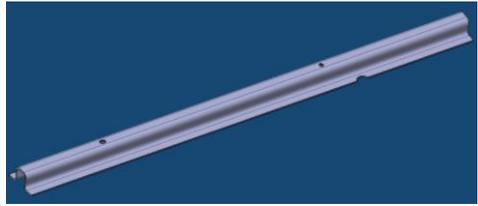
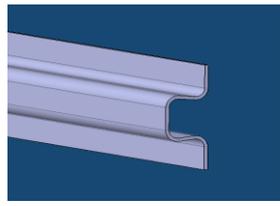
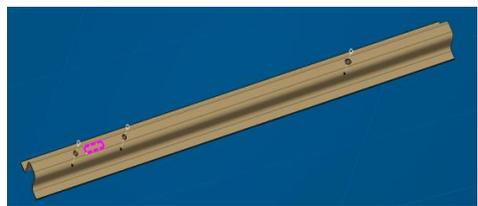
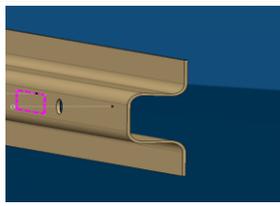
→ Ce modèle du raidisseur P21 serve comme modèle d'inspiration pour la création d'un modèle générique du raidisseur panneau horizontal par la suite.

2.2 Analyse des modèles du renfort choc frontale

2.2.1 Echantillon analysé

Les données concernant les raidisseurs étudiés sont dressées sur le tableau ci-dessous :

Tableau 23 : Caractéristiques des 3 Renforts de Choc frontal analysés

RENFORT CHOC FRONTAL P24			
		Poids	0.91 Kg
		Epaisseur	0.65 mm
		Longueur	930.216 mm
		Matériau	Acier DP1180
RENFORT CHOC FRONTAL D34			
		Poids	0.91 Kg
		Epaisseur	0.65 mm
		Longueur	930.216 mm
		Matériau	Acier DP1180
RENFORT CHOC FRONTAL P21			
		Poids	0.927 Kg
		Epaisseur	0.65 mm
		Longueur	939.317 mm
		Matériau	Acier DP1180

Comme pour les raidisseurs, ces trois modèles de renforts choc frontal faits du même matériau ont également la même épaisseur, presque la même longueur. Cela ne pourra que justifier le fait qu'ils ont presque le même poids.

NB : Les renforts P24 et D34 sont les mêmes. En effet il a été reconduit d'un projet vers l'autre. Par conséquent, dans toute l'analyse qui suit, on se contentera sur deux renforts au lieu de trois.

▪ **Acier Dual Phase (DP) :**

L'utilisation de ce matériau est exigée par le client. Sa composition chimique (%) est la suivante : 0,18 C 2,4 Mn 0,6 Si. Son principal avantage est qu'il se distingue par une remarquable résistance.

La capacité de consolidation induite par la déformation de ces aciers est considérable. Cette propriété leur assure non seulement une bonne aptitude à la répartition des déformations mais aussi des caractéristiques sur pièces beaucoup plus élevées. C'est le cas, entre autres, de la limite d'élasticité. Après le traitement de cuisson peinture des pièces, la limite d'élasticité des Dual Phase augmente encore. Ce niveau élevé de résistance mécanique obtenue se traduit par une

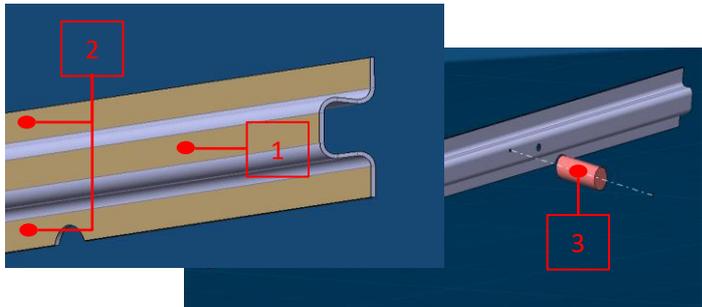
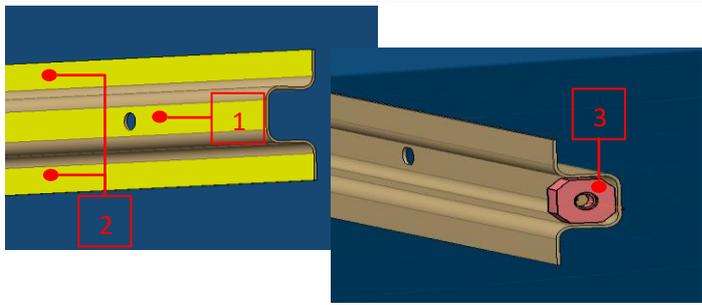
excellente tenue à la fatigue et une bonne capacité d'absorption d'énergie, ce qui prédispose ces aciers à l'utilisation pour des pièces de structure et de renfort.

- Fatigue : De par leur résistance mécanique élevée, les aciers Dual Phase présentent de bonnes propriétés en fatigue.
- Résistance au choc : du fait de leurs charges à la rupture très élevées, les aciers Dual Phase sont particulièrement performants pour absorber de l'énergie lors d'un choc.

→ C'est le matériau, par défaut, qui va être affecté à notre modèle générique.

2.2.2 Données d'entrée

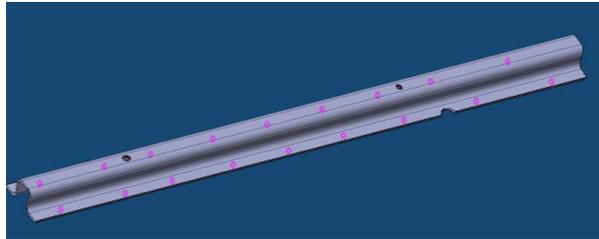
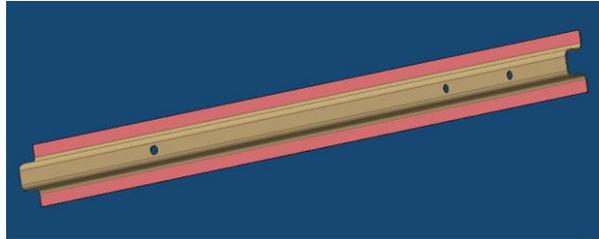
Tableau 24 : Données d'entrée des Renforts de Choc Frontal

RENFORTS P24 ET D34	
	<p>1 : Surface d'accostage avec la doublure.</p> <p>2 : Surface d'accostage avec l'encadrement</p> <p>3 : Interface du passage visseuse COE Flush.</p>
RENFORT P21	
	<p>1 : Surface d'accostage avec la doublure.</p> <p>2 : Surface d'accostage avec l'encadrement</p> <p>3 : Ecrou de maintien.</p>

Ces données serviront comme entités d'entrée pour la construction du Renfort. Elles se présentent dans tous les projets, sauf l'interface de visseuse COE flush, qui se présente seulement si le véhicule est équipé par ce support.

2.2.3 Techniques d'assemblage

Tableau 25 : Techniques d'assemblage des Renforts Choc Frontal

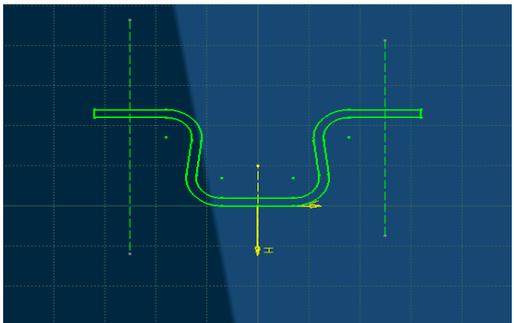
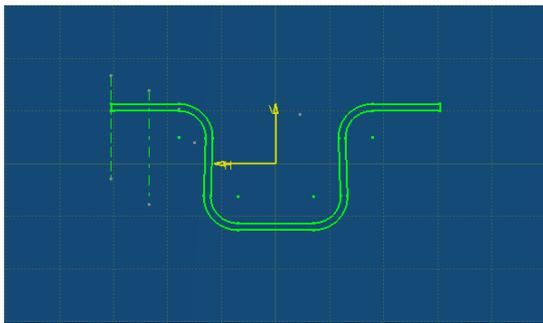
RENFORTS P24 ET D34	RENFORT P21
	
<p>L'assemblage de chaque renfort avec l'encadrement et la doublure est assuré par des points de soudure électriques répartis sur la longueur du renfort.</p> <p>L'écrou soudé est assemblé en utilisant des cordons avec soudure MAG.</p>	

→ Ce sont les techniques qui vont être considérées, par défaut, dans notre modèle générique.

2.2.4 Construction

Contrairement au raidisseur horizontal, aucune construction de ces renforts n'a été divisé en zones, chacun d'eux a été réalisé par une esquisse de sa section à partir de laquelle une extrusion a été générée afin d'obtenir la forme finale du renfort.

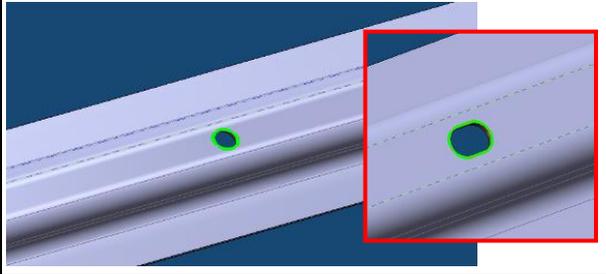
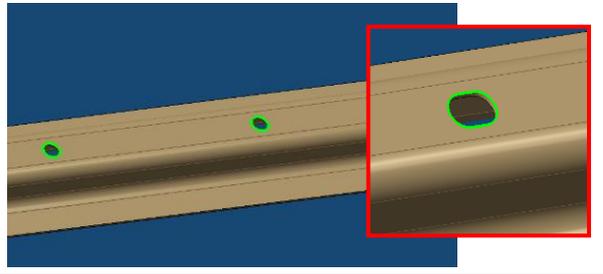
Tableau 26 : Construction des Renforts Choc Frontal

RENFORTS P24 ET D34	RENFORT P21
	

Les dimensions des esquisses de chaque renfort se déduisent à partir des surfaces des pièces en accostage et du diamètre de l'écrou dont l'orientation représente la direction de l'extrusion, la différence entre les sections de ces renforts est due au fait que l'environnement représentant la base pour la création de l'esquisse change d'un projet à un autre.

2.2.5 Manutention et isostatisme

Tableau 27 : Trous de manutention & isostatisme des Renforts Choc Frontal

RENFORTS P24 ET D34	RENFORT P21
	

D'une manière générale, les trous en commun entre ces renforts sont : un trou et une Sboutonnière pour l'isostatisme et la manutention.

Conclusion

Les points de ressemblance entre ces renforts sont nombreux, ils ont, en effet, la même forme en U, jugée convenable pour une garantir une bonne tenue au choc, à partir de l'analyse de benchmarking externe établie précédemment. Ils ont, également, les mêmes techniques d'assemblage et se basent sur les mêmes données de départ. La différence réside dans l'organisation de leur construction qui, à son tour, se réalise à travers une esquisse de la section pour tous ces renforts.

Récapitulatif

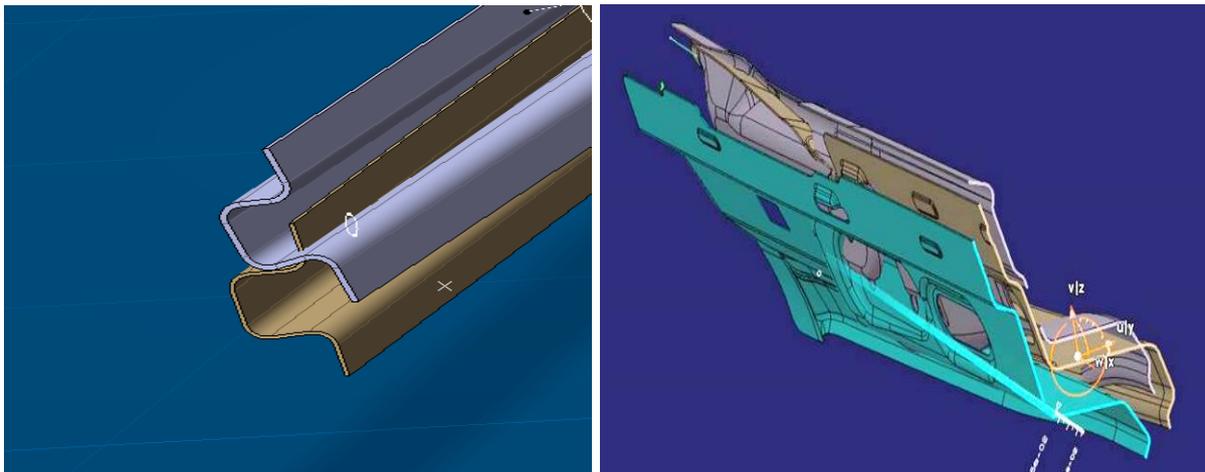


Figure 32 : Différence de positions des différents Renforts et Raidisseurs

A travers cette analyse détaillée des trois modèles 3D des raidisseurs et des renforts choc frontal, on a pu capter les points communs de leurs conceptions afin de mieux maîtriser leurs constructions pour la création de notre modèle générique. D'après les deux représentations assemblées, ci-dessous, des raidisseurs et des renforts, il est clairement remarquable que leurs positions varient d'un projet à un autre vu que les interfaces d'environnement et les surfaces des pièces en accostage changent. Par conséquent, la construction de chacun de nos modèles génériques doit être flexible pour qu'ils puissent être adaptés facilement à tout nouveau projet en permettant, ainsi, une modification facile des données d'entrée et une mise à jour rapide de toutes les opérations qui suivent avec une possibilité de changement d'orientation et de position.

CHAPITRE V

CONCEPTION ET EVALUATION DES MODELES GENERIQUES

Dans ce chapitre, on va détailler les différentes étapes liées de conception des modèles génériques pour le renfort choc frontal et le raidisseur horizontal. L'étude benchmarking réalisée dans le chapitre précédent nous a permis d'avoir une idée claire sur certains aspects de conception de ces pièces.

Dans ce qui va suivre, on va effectuer des mises à jour sur ces modèles créés afin de tester leur validité.

1. Introduction

1.1 Outils utilisés

Le client de ce présent projet, le nouveau véhicule se voit naître entre les mains du bureau d'architecte. Ce bureau contient les responsables de la forme du véhicule et de son esthétique qui seront visuels par le consommateur. Cette forme devra donc prendre en considération les tendances des marchés et les performances des différents concurrents. Une fois terminé, le modèle est créé à la main et scanné afin de le reproduire sous forme d'images 3D pour donner naissance à ce qu'on appelle le style du véhicule. Une fois ce style est terminé, les concepteurs commencent par la création des pièces en relation directe avec le style, en faisant attention à ne pas modifier ce dernier, et ensuite suivant les contraintes géométriques du véhicule, les pièces seront créées petit à petit, suivant chaque périmètre.

La conception 3D se fait sous CATIA V6 ou Computer Aided Three-dimensional Interactive Application. C'est un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur développé par la société Dassault Systems et commercialisé par IBM. Il regroupe un nombre important de modules totalement intégrés dans un seul et même environnement de travail. La partie bleue regroupe plus de 80 ateliers autour du noyau de modélisation solide & surfacique, tandis que la partie grise permet de visualiser la maquette numérique d'une manière allégée et de créer des remontages (filtres) pour une conception et navigation faciles. L'atelier particulièrement utilisé dans notre projet est « Generative Shape Design ».

Concernant la gestion du projet, elle se fait sur PLM ou Product Life Cycle Management. C'est une plateforme qui permet l'accès aux différentes données du produit et le pilotage du projet en assurant une bonne gestion de la nomenclature et en consultant l'état du produit toute au long du cycle vie produit. Parmi les grands avantages de cette plateforme on trouve la réutilisation du l'existant pour de nouveaux projets, ce qui la rend plus convenable pour y implanter nos modèles génériques.



Figure 33 : Logos de CATIA V6 et PLM

1.2 Méthodologie de conception

Tout projet au profit du client doit respecter les normes imposées par celui-ci. Ces normes comprennent l'utilisation d'une méthodologie de conception et de structuration bien normalisée pour toutes les personnes travaillant avec le même constructeur, de façon à ce que chaque concepteur puisse s'orienter facilement dans les pièces qu'il n'a pas lui-même créés. L'arborescence du modèle à créer se compose de la façon suivante :



Figure 34 : Modèle d'arbre de conception CATIA

DONNES D'ENTREE

- Les données issues du style (surfaces de peau, feuillures, etc...).
- Les interfaces provenant des autres métiers (surfaces d'appui, axes, etc...).
- Les données process (axe d'emboutissage et PSE).

CONSTRUCTION

- Les zones fonctionnelles (La pièce est découpée en plusieurs zones, regroupées dans ce set géométrique).
- Assemblage zones fonctionnelles (Dans ce set géométrique, on vient assembler toutes les « zones fonctionnelles » que l'on vient de créer.
- Intégration emboutis (emboutis spécifiques de type bossages, emboutis/contre-emboutis, bulldozers, etc...).
- Détourage (assemblage de surfaces définissant le contour de la pièce).

PIECE SURFACIQUE FINALE

- Une seule surface pièce finie.

PIECE SOLIDE FINALE

- Une surface épaisse dont le parent est la Pièce Surfaceutique Finale.

POINÇONS

- Les poinçons sont créés depuis la fonction « trou » du catalogue de composants.

2. Conception détaillée des modèles génériques

Dans l'ensemble des parties qui suivent, on aura besoin d'un environnement de départ pour créer et tester les modèles génériques, on a, donc, décidé de considérer celui du projet P21 puisque le résultat de l'analyse effectuée a privilégié le modèle P21 qui a été jugé meilleur par rapport aux autres modèles selon les critères établis précédemment.

2.1 Conception du modèle générique du Raidisseur Panneau Horizontal

2.1.1 Données d'entrée

La première étape à faire pour entamer la conception du modèle pour le raidisseur est d'insérer toutes les entrées tirées précédemment du résultat de l'analyse.

Ces entrées serviront comme données de départ pour la construction et doivent se trouver dans le set géométrique « DONNEES D'ENTREE », on ne doit trouver aucune construction, dans ce set, seulement des surfaces sans historique.

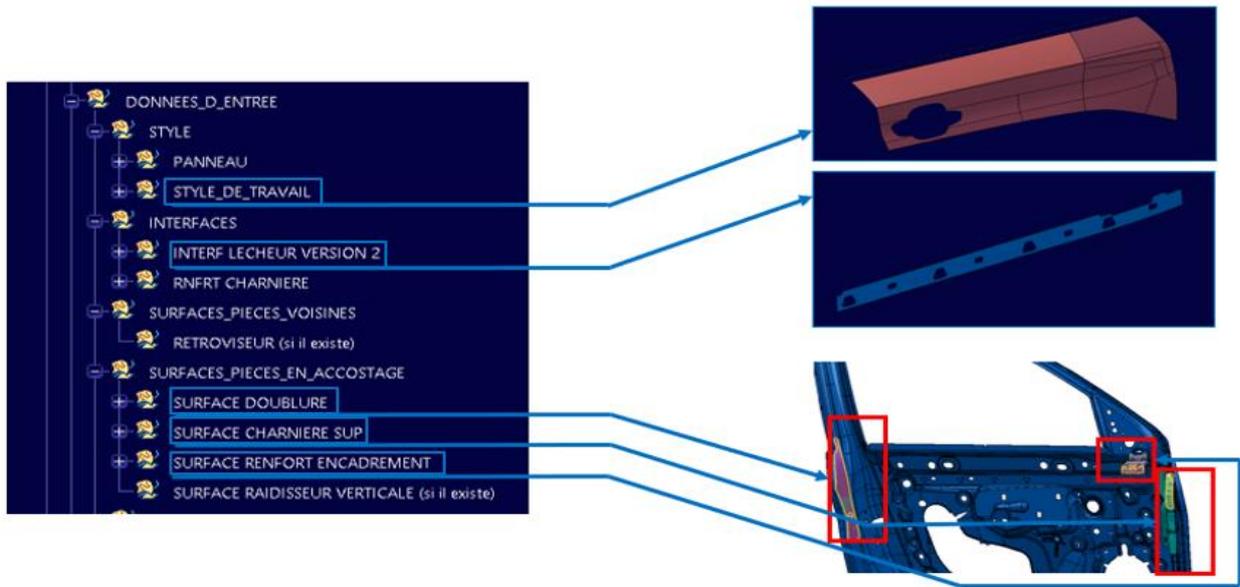


Figure 35 : Données d'entrée du raidisseur horizontal

Avant d'entamer la construction, on a déclaré tous les paramètres qu'on va utiliser dans notre construction pour pouvoir paramétrer les valeurs des opérations telles que le décalage et la mise en épaisseur par la suite. Ces valeurs sont des combinaisons linéaires de ces paramètres.

Chacune de ces valeurs doit être modifiée, en cas de besoin, dans ces paramètres et elle sera, automatiquement prise en considération dans les opérations dont elle est dépendante.

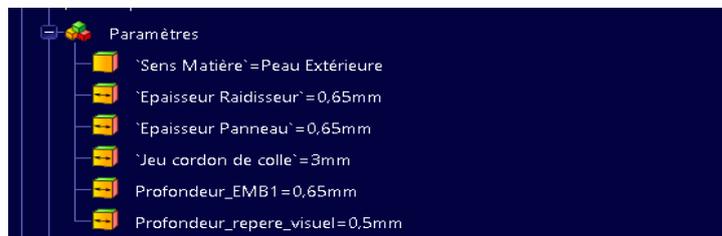


Figure 36 : Paramètres intervenant dans la construction

Afin de respecter les règles d'emboutissage (ANNEXE 2), on a préalablement la direction d'emboutissage, appelée également direction de dépouille, suivant l'axe Y. Les angles utilisés ont été tous inférieurs ou égale à 70° pour garantir la dépouille de la pièce.

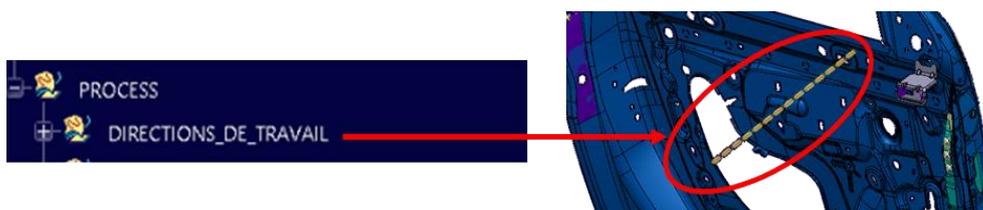


Figure 37 : Direction de dépouille du Raidisseur Horizontal

2.1.2 Construction des zones fonctionnelles

Pour structurer notre construction suivant l'arborescence présentée précédemment, il faut concevoir la pièce en ciblant les zones les plus susceptibles d'évoluer au cours du développement, ceci afin d'identifier les paramètres principaux qui risquent d'être modifiés régulièrement (décalage par rapport à l'épaisseur, angle d'une surface par rapport à une autre, etc). Il faut, donc, définir la pièce suivant plusieurs zones fonctionnelles qui seront réalisées, suivant les règles de métier, à partir des entités d'entrée et regroupées, chacune, dans un set géométrique distinct à l'intérieur du set « ZONES FONCTIONNELLES » pour qu'on les assemble, par la suite, afin d'obtenir le volume général de la pièce.

Pour le cas de notre raidisseur, on l'a découpé en zones de la manière suivante :

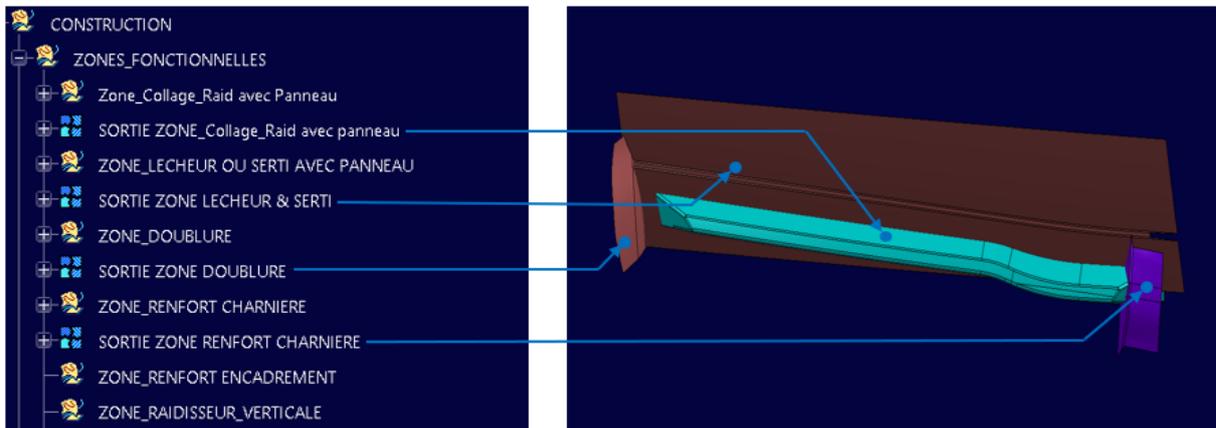


Figure 38 : Découpage en zones fonctionnelles du raidisseur horizontal

- **ZONE DOUBLURE**

La construction de la zone doublure se base, dans sa totalité, sur la surface d'accostage du Raidisseur avec la doublure ;

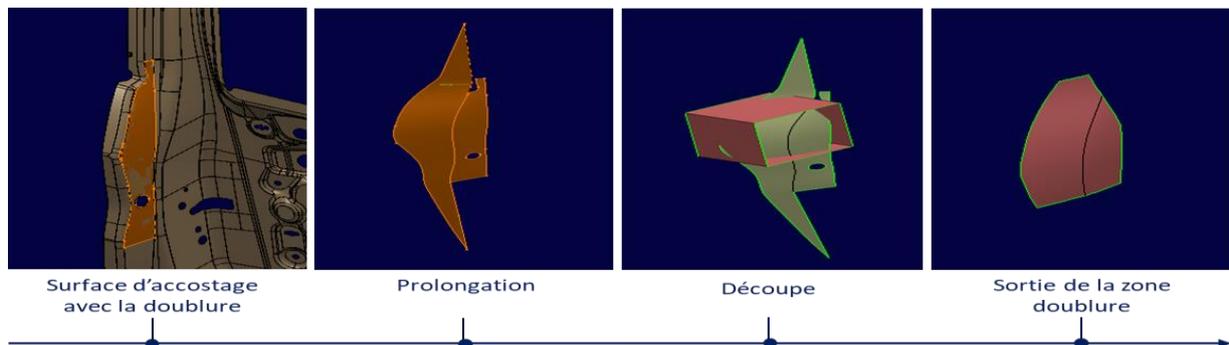


Figure 39 : Construction de la zone doublure

▪ **ZONE RENFORT CHARNIERE**

La construction de la zone renfort charnière se base, à son tour, sur la surface d'accostage avec le renfort charnière ;

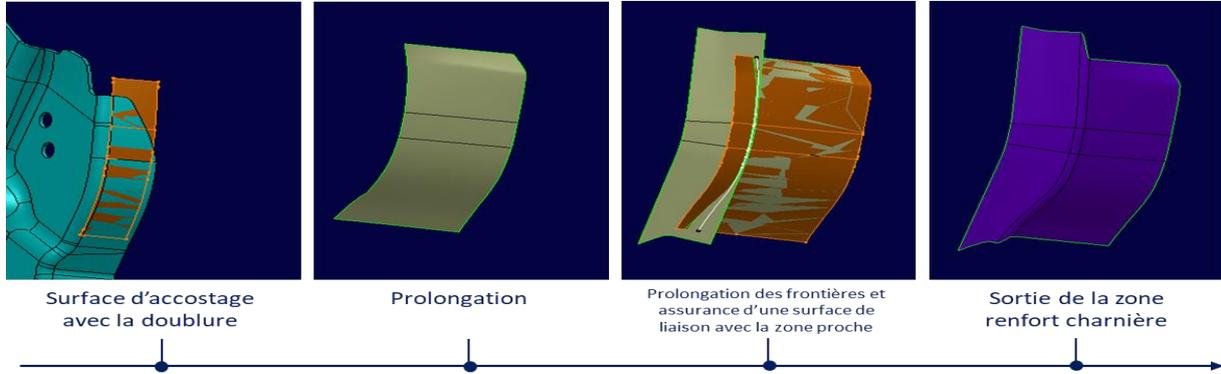


Figure 40 : Construction de la zone renfort charnière

▪ **ZONE LECHEUR**

C'est l'interface du lécheur de vitre extraite de l'environnement, comme donnée d'entrée, qui est à la base de la construction de cette zone ;

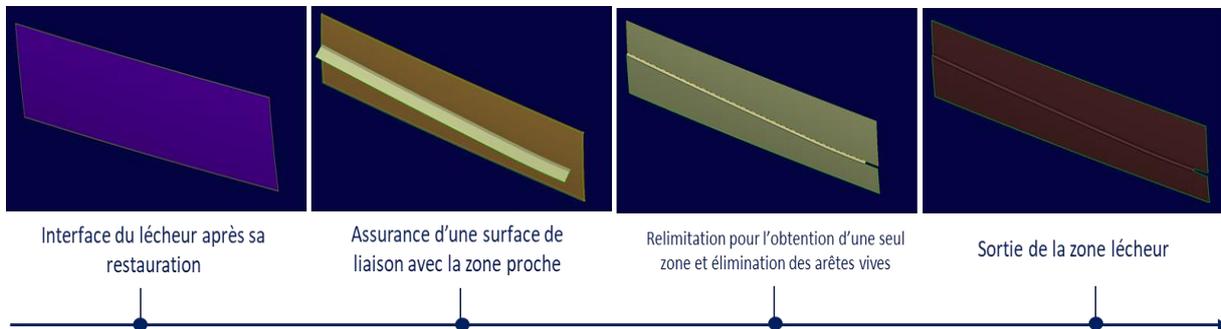


Figure 41 : Construction de la zone Lècheur

Lors de l'adaptation du modèle générique à un projet, la construction de ces deux zones peut simplement être mise à jour en remplaçant seulement les surfaces d'accostage par celles issues du nouvel environnement car les opérations de découpe qui mènent à l'obtention de ces zones sont faites par des esquisses et non pas à l'aide des éléments dépendant de ces surfaces.

▪ **ZONE COLLAGE RAIDISSEUR – PANNEAU**

C'est en cette zone que le raidisseur va être lié au panneau, qu'on essaye de raidir, via des cordons de calage (colle) dont les positions de début et de fin sont indiquées par des repères visuels ;

CONFIDENTIEL

Figure 42 : Liaison Raidisseur - Panneau

Pour tenir compte de l'évacuation de la cataphorèse qui doit être assurée, après la phase de peinture, et de l'écoulement de l'eau venant du joint du lécheur vitrage, cette zone de collage ne doit pas être horizontale, mais inclinée par un angle qui se spécifie par la suite et la dépose des cordons de calage doit être discontinue.

CONFIDENTIEL

Figure 43 : Règles à respecter sur les cordons de calage

De ce fait, les modifications portant sur cette zone sont nombreuses. La construction doit être bien paramétrée, afin de faciliter les mises à jour sur l'angle d'inclinaison, la longueur de la zone ou même des cordons. Pour cela, on a fait baser toute la construction sur une esquisse positionnée, représentant une courbe inclinée décrivant la longueur et l'inclinaison de la zone de collage, afin de garantir une modification aisée de ces paramètres.

Les contours des repères visuels sont également dessinés. Leur déplacement est assuré suivant la courbe représentant leur direction afin de faciliter toute modification par la suite, en cas d'ajout de colle ou en cas de retrait si le raidisseur vertical se présente dans la porte.

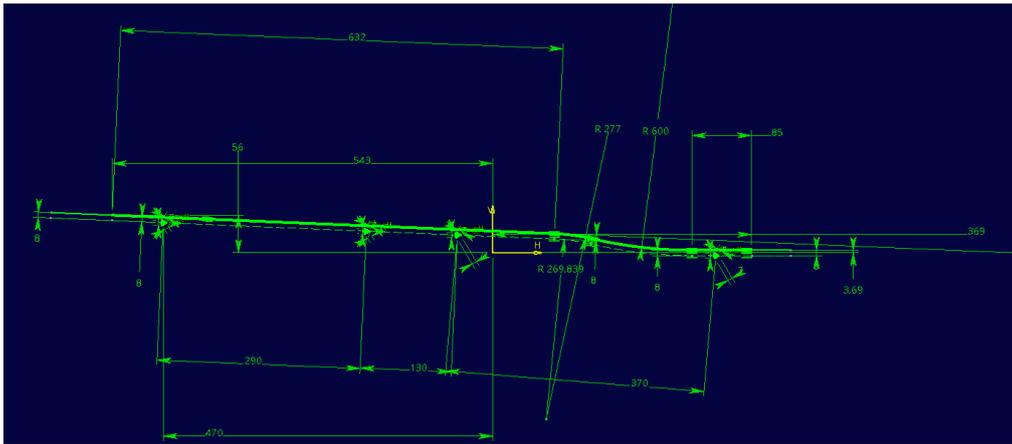


Figure 44 : Esquisse de base de la zone collage Raidisseur - Panneau

La surface de la zone est ensuite obtenue à partir des étapes montrées sur l'ANNEXE 3.

2.1.3 Assemblage

- **ASSEMBLAGE DES ZONES FONCTIONNELLES**

Une fois les différentes zones fonctionnelles sont créées, il reste de les assembler à l'aide des opérations de découpe et de lissage de la surface dans le set géométrique « Assemblage Zones Fonctionnelles ».

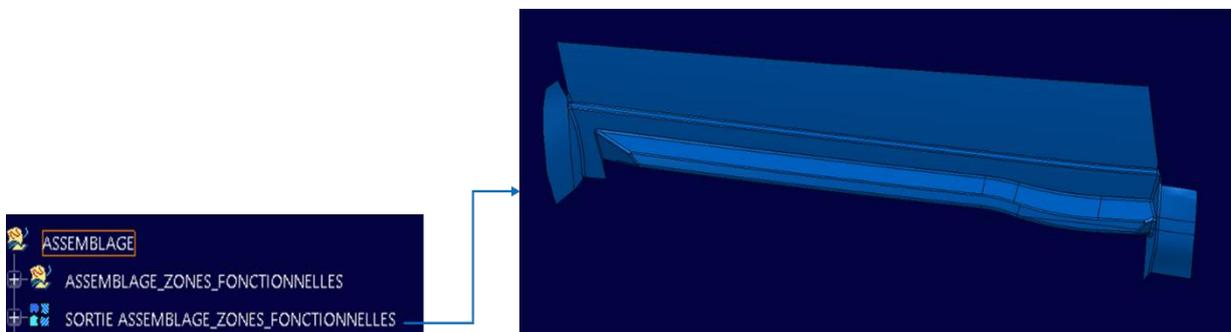


Figure 45 : Assemblage des zones fonctionnelles

- **INTEGRATION DES EMBOUTIS**

Dans cette étape, on fait intégrer les emboutis locaux de types bananes, bulldozers, carrés ou circulaires dans la surface assemblée. Ils ont pour but de rigidifier les zones susceptibles à se présenter critiques au niveau de rigidité et de garantir des surfaces planes pour des raisons de fixations avec des interfaces de l'environnement dans des zones bombées.

Le problème qui se pose, souvent, pour ces emboutis réside dans leur méthode de création qui est dépendante de la surface obtenue par assemblage, toute modification effectuée sur cette dernière mènera à une modification non souhaitable de ces emboutis. Sans oublier, la difficulté rencontrée pour changer leurs positions sur la surface en cas de besoin.

La solution proposée est d'isoler ces emboutis de la surface assemblée, c'est-à-dire réaliser leur création sur des esquisses positionnées non dépendantes de cette surface pour créer leurs contours et ensuite leurs formes par les opérations surfaciques afin les intégrer par un découpage assemblé, par la suite, tout en garantissant leur déplacement libre suivant la direction de leur positionnement.

➤ Emboutis d'allègement :

Comme montré dans la partie de l'analyse, ces emboutis rigidifient la surface plane sur laquelle ils sont intégrés et sont ajourés afin de permettre l'allègement du raidisseur ;

L'ensemble de ces emboutis de base sur une ligne de direction qui suit le panneau de style et un point sur cette ligne indiquant la position de l'embouti. Une fois changer le style, la ligne de direction se change et les emboutis s'intègrent dans leurs places, pour pouvoir modifier ces dernières, il suffit de déplacer les points suivant cette ligne.

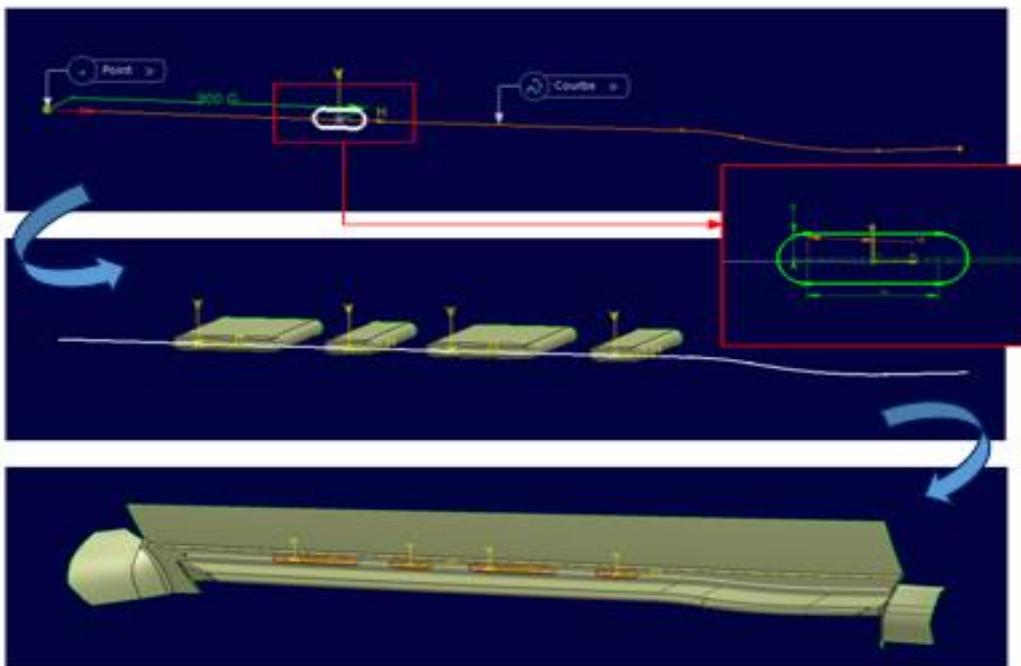


Figure 46 : Intégration des emboutis d'allègement

➤ Emboutis d'isostatisme et de manutention :

Ces emboutis assurent la planéité de la surface sur des zones bombées, afin de permettre la manutention et l'isostatisme du raidisseur via les des trous placés sur ces emboutis ;

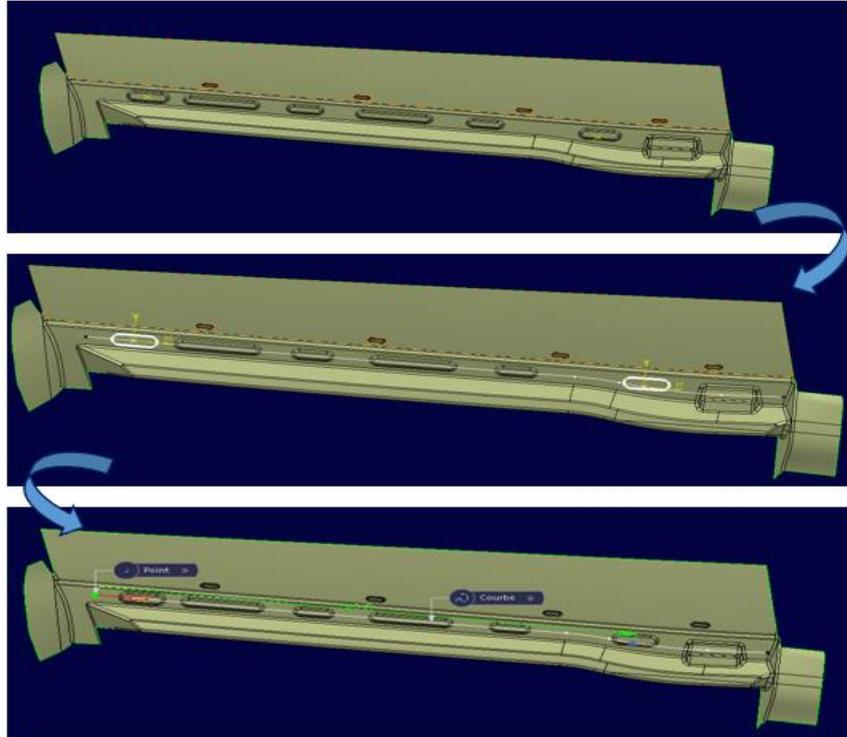


Figure 47 : Intégration des emboutis de manutention et d'isostatisme

- Emboutis sur l'interface du lécheur extérieur de vitrage :

Ces emboutis répartis sur la longueur de la feuillure du lécheur permettent de garantir l'orientation et la retenue du Joint Lécheur Extérieur ;



Figure 48 : Importance des emboutis sur l'interface du Lécheur

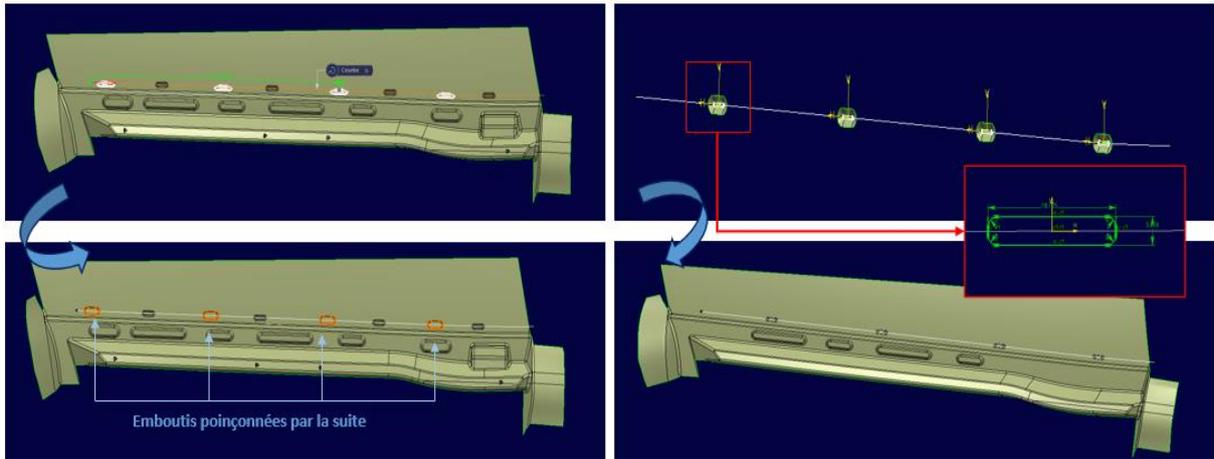


Figure 49 : Intégration des emboutis sur l'interface du lécheur extérieur

Après l'intégration de tous ces emboutis, on obtient la surface appelée « SURFACE CEMB » :

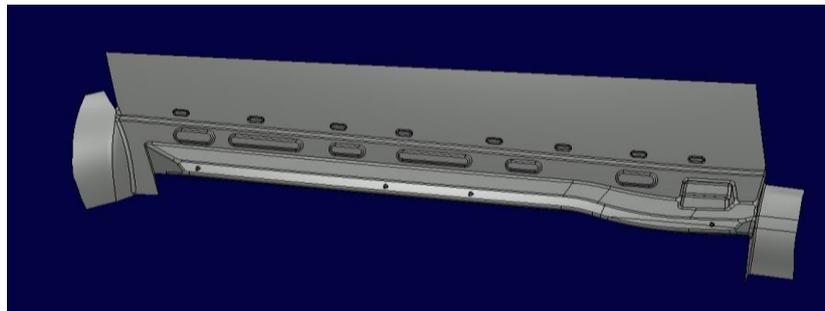


Figure 50 : Surface CEMB

▪ DETOURAGE

Afin d'assurer une géométrie correcte de la pièce, il est conseillé de faire le détourage de la pièce en fin de construction, et d'éviter de faire le détourage avec des surfaces filaires, car en cas de modification du volume principal, l'update du contour filaire est souvent problématique puisqu'il exige pour sa création l'utilisation des éléments dépendants de la surface CEMB.

Pour contourner ce problème, on a fait le détourage à l'aide des contours surfaciques. Les zones ne se situent pas sur le même plan, d'où la nécessité d'un contour par zone ;

Ce détourage n'est pas arbitraire, mais il tient compte des règles à respecter dans la pièce que l'on souhaite obtenir ;

Pour les zones AV et AR, le contour doit faire en sorte de garantir les surfaces de recouvrement suffisantes (**ANNEXE 1**) pour les PSE afin de pouvoir assembler Raidisseur avec le Renfort

Charnière en zone AV et avec la Doublure en zone AR comme décidé dans la partie de benchmarking interne ;

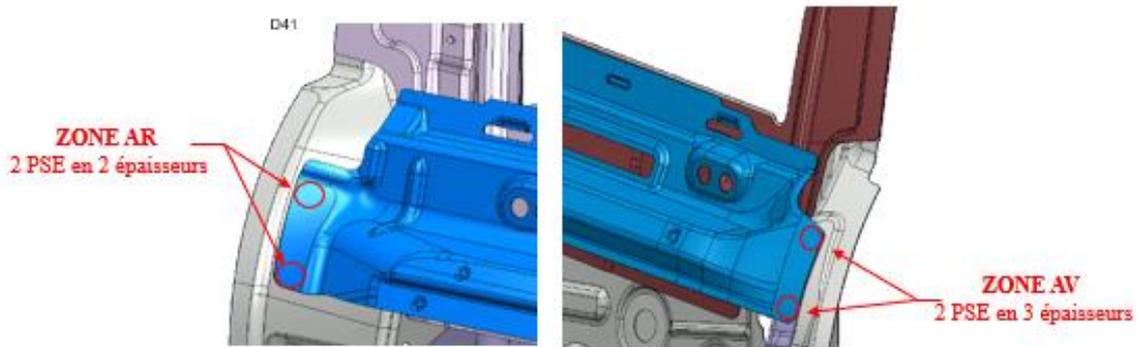


Figure 51 : Règles à respecter pour le détournage des zones AV et AR

Le joint lécheur de vitre provoque un canal débauchant à l'intérieur du caisson de Porte. Ce canal crée un flux d'eau important qui suit le profil du Raidisseur et peut tomber sur l'Etrier ou la Serrure s'il y a de bord tombé qui oriente le raidisseur vers ces derniers. Les éclaboussures se propagent sur toutes les surfaces environnantes et bloquent le mécanisme ou le câble d'ouverture. Pour contourner ce problème, le détournage de la zone INF doit faire en sorte de ne pas créer de bord tombé ;



Figure 52 : Règle à respecter pour le détournage de la zone INF

Concernant la zone SUP, le détournage doit faire en sorte de découper la pièce sans introduire d'interférences avec le lécheur de vitre et le panneau qui va être serti en cette zone.

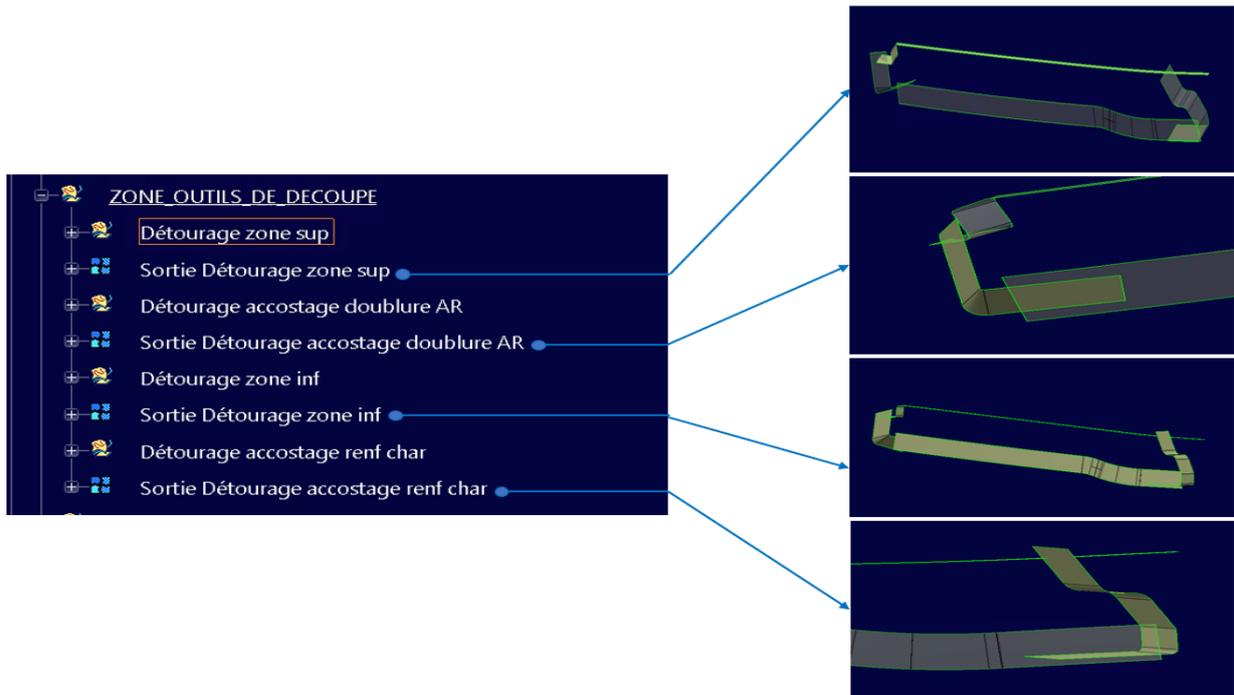


Figure 53 : Contours surfaciques du détourage

Une fois créés, les contours sont projetés sur la surface CEMB pour qu'elle puisse être découpée. Puis à partir de l'entité « Pièce Surfactive Finale », on crée une surface épaisse dans l'atelier Part Design. Le solide est placé dans le corps de pièce « Pièce Solide Finale ».

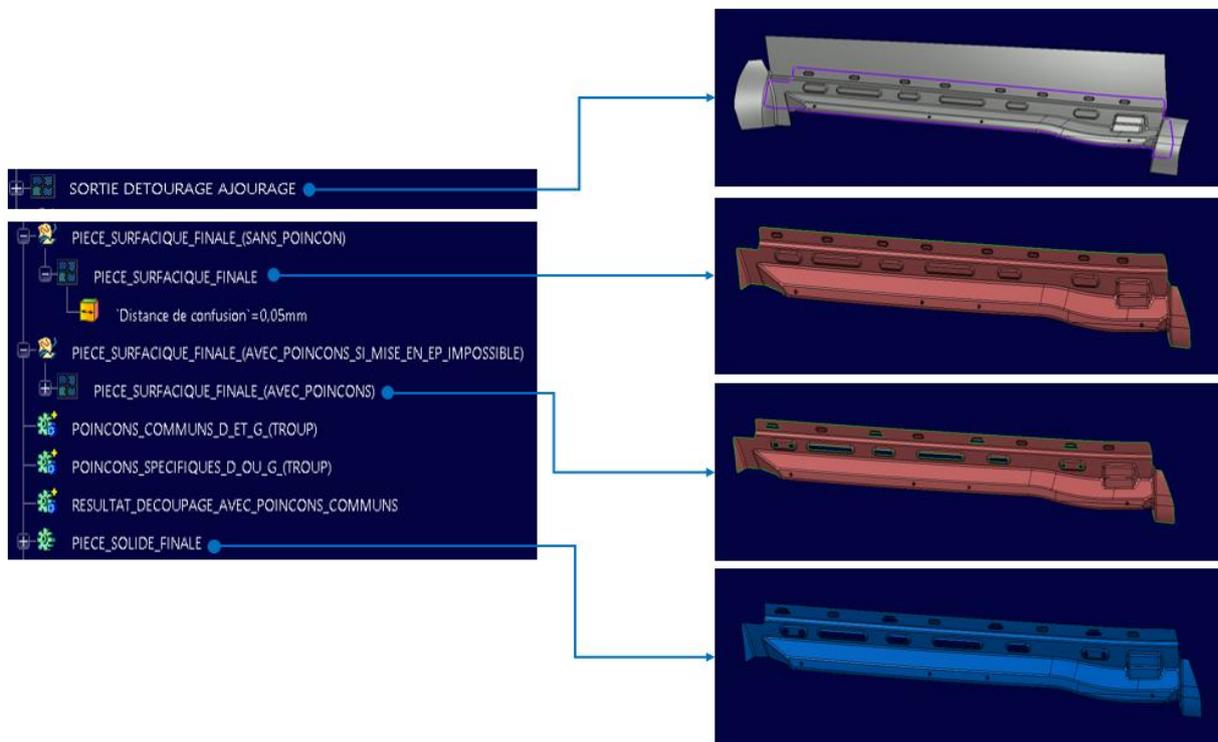


Figure 54 : Du détourage de la surface à la pièce solide finale

2.2 Création du modèle générique pour le renfort de choc frontal

2.2.1 Données d'entrée

Insérées toujours dans le set géométrique « DONNEES D'ENTREE », ces entités de l'environnement déduites de l'analyse précédente représentent une base pour la construction du renfort ;

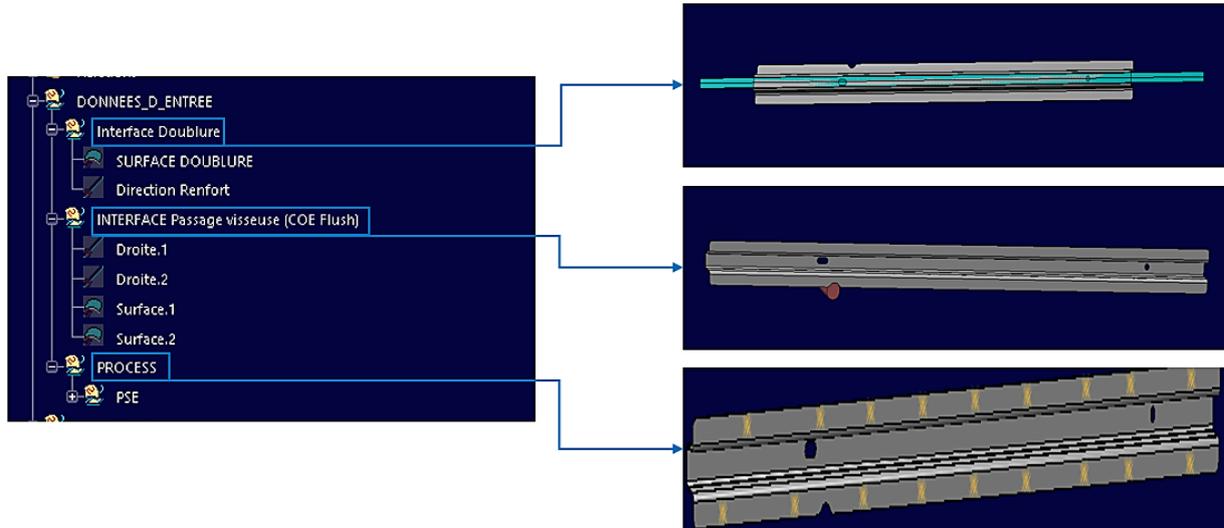


Figure 55 : Données d'entrée du renfort choc latéral

Le renfort de choc frontal est maintenu par un écrou est soudé sur ce dernier. C'est un écrou **21 x 21 x 8mm** Taraudage **M8** de classe de qualité **8**.

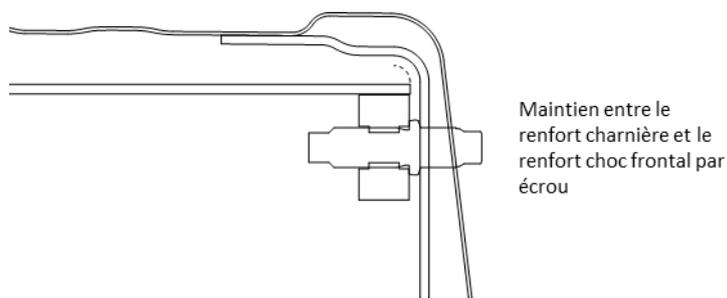


Figure 56 : Maintien entre le renfort choc frontal et le renfort charnière

2.2.2 Construction

Le renfort choc frontal est un composant qui diffère selon le type de véhicule au niveau de sa section, on distingue une section pour les véhicules thermiques et une autre pour les véhicules électriques et hybrides.



Figure 57 : Sections des profilés du renfort choc frontal

On a pris en considération les deux diversités dans un seul modèle générique pour, selon le besoin, utiliser celui qui est approprié au véhicule ;

Différemment au raidisseur horizontal, la section du renfort choc frontal est inchangeable tout le long de sa longueur. Il serait, donc, inutile de le définir en plusieurs zones, l'idée la plus judicieuse est de construire sa section par une esquisse et la répartir suivant sa direction pour obtenir son volume général.

Le problème qui se pose souvent dans la construction de ce renfort réside dans le fait qu'elle ne permette pas de changer son orientation ou son positionnement, en cas de besoin. Pour contourner ce problème, on a basé notre construction sur une ligne directrice représentant l'orientation du renfort suivant laquelle le volume sera créé. Une fois la remplacer ou la déplacer, le renfort sera orienté autrement. Concernant son positionnement, on a créé une opération de rotation de l'esquisse, initialement définie en 0° , pour permettre la modification aisée de cet angle et donc du positionnement du renfort par la suite.

Pour dessiner l'esquisse, la profondeur de la section est déduite à partir des surfaces en accostages avec l'environnement et à partir de l'écrou, tandis que les dimensions sont connues à partir des recouvrements à garantir en connaissant le type de soudage à utiliser (**ANNEXE 1**)

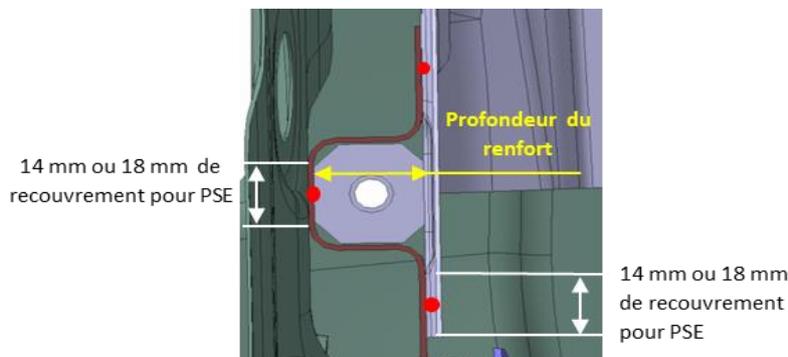


Figure 58 : Positionnement du renfort par rapport à l'environnement

La construction du renfort est représentée comme suit :

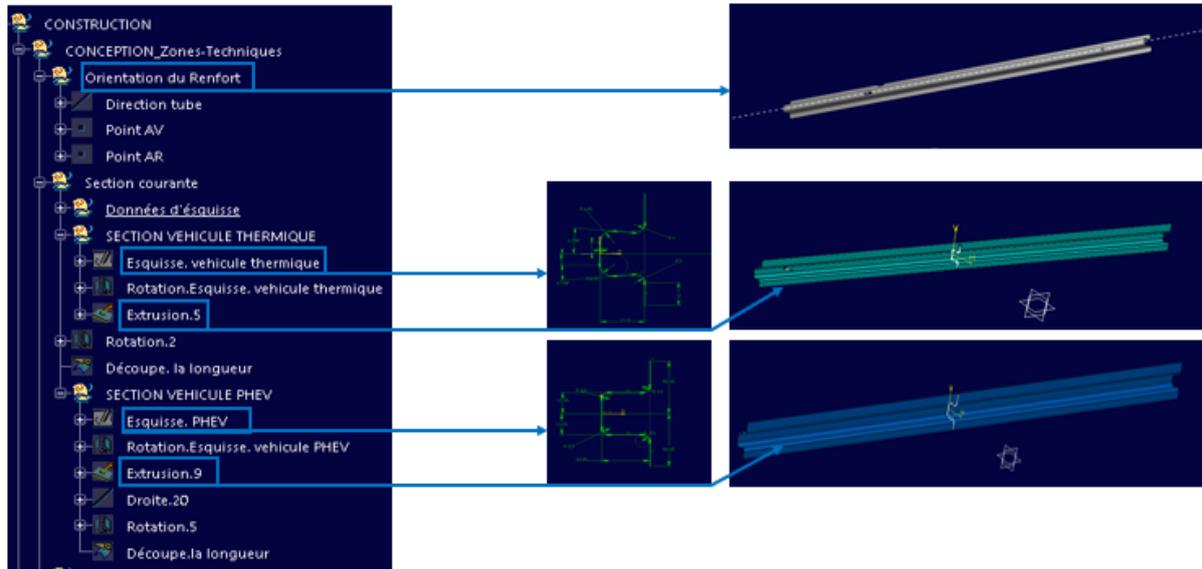


Figure 59 : Construction des Renforts pour les véhicules thermiques et PHEV

Le Renfort Choc Frontal est obtenu non pas par emboutissage comme le cas du Raidisseur Horizontal, mais à partir d'un profilé que l'on découpe.

Son détrompage, pour éviter les erreurs d'assemblage et de montage, c'est-à-dire pour la distinction de la zone AV par rapport à la zone AR, est assuré grâce aux règles imposées sur les trous de manutention et d'isostatisme

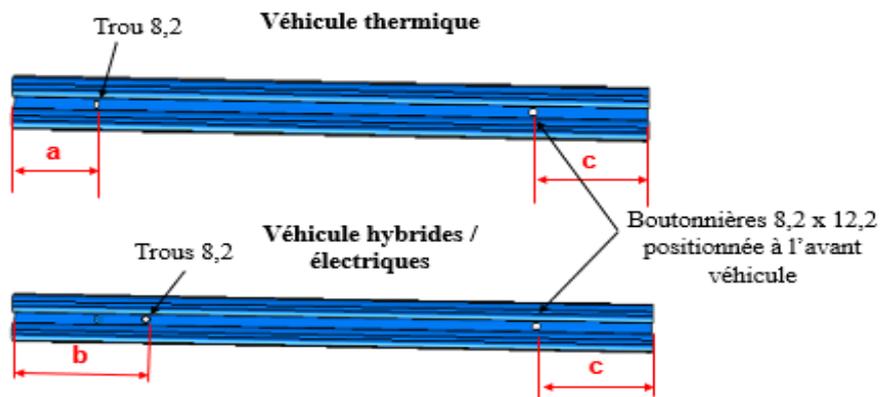


Figure 60 : Détrompage du Renfort Choc Frontal

- a = entre 100 et 120mm
- b = entre 200 et 220mm
- c = entre 130 et 150mm

Ainsi, afin de paramétrer ces trous, on les a dessinés sur des esquisses.

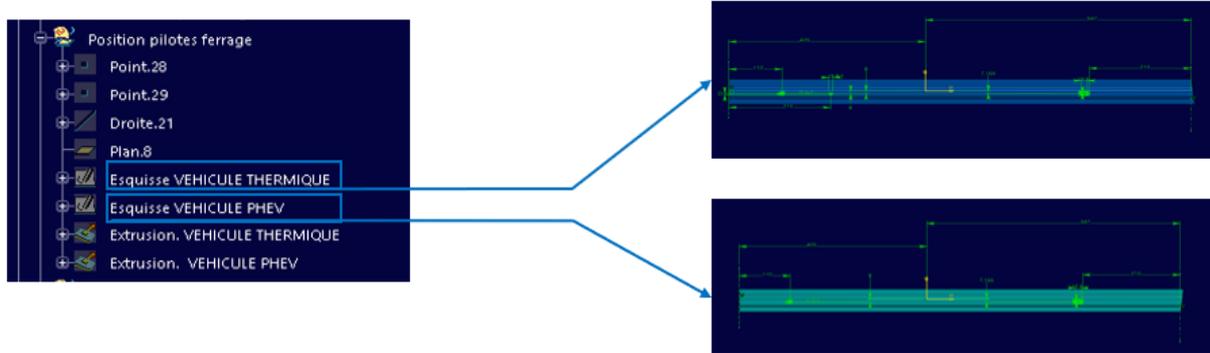


Figure 61 : Construction des trous pilotes ferrage

2.2.3 Découpes

Le découpage des Renforts Choc Frontal, pour chaque type de véhicules, est fait une fois pour l'obtention des trous de manutention et d'isostatisme et une deuxième fois pour l'obtention des pièces surfaciques finales ;

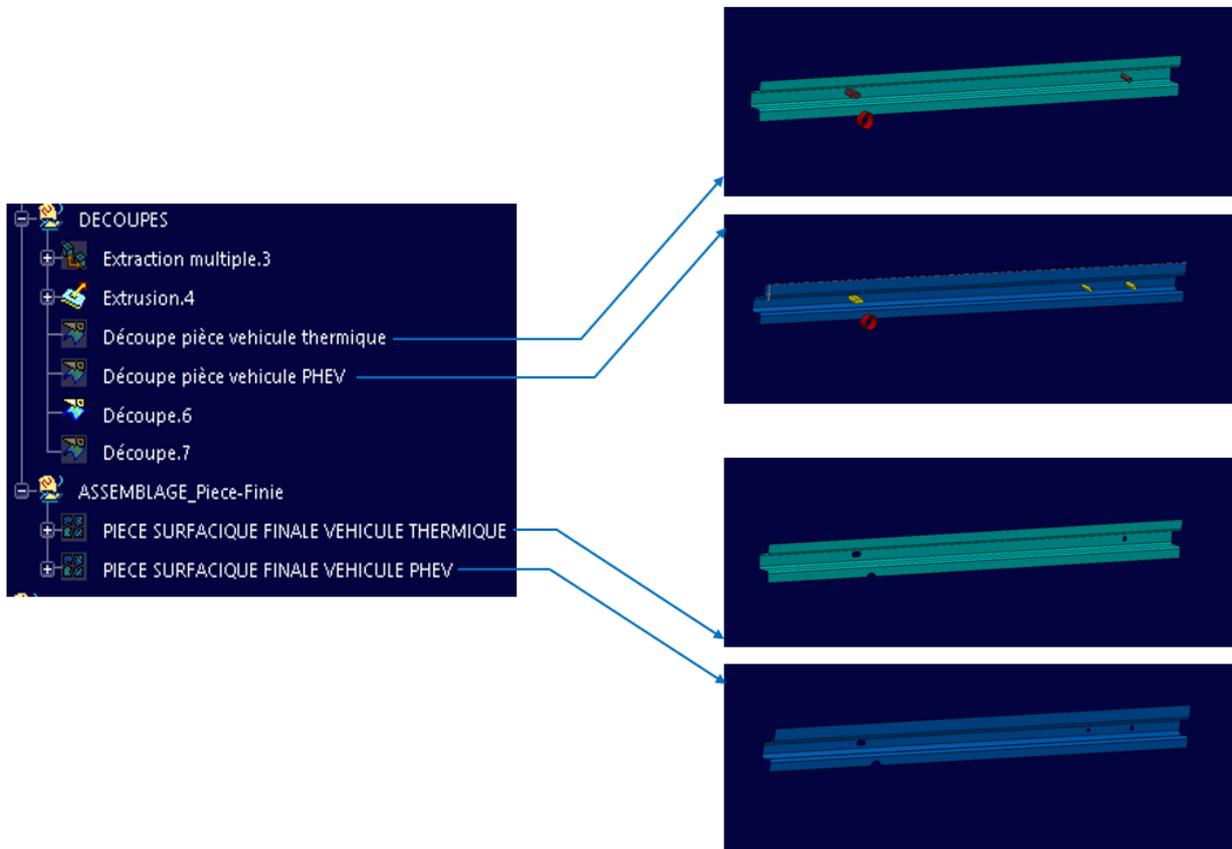


Figure 62 : Obtention des surfaces finales des renforts choc frontal

La mise en épaisseur de ces surfaces finales nous a permis d'obtenir les pièces solides finales. Les arêtes vives de ces dernières ne sont pas éliminées puisque, lors de leur mise en forme, on se contente du découpage des profilés sans ajout d'autres opérations pour des raisons de réduction des coûts.

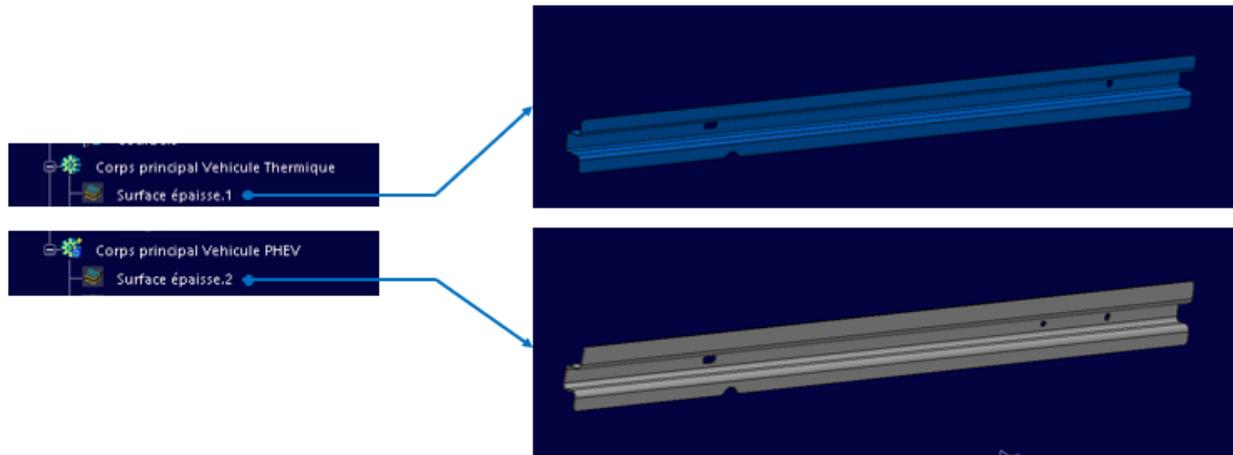


Figure 63 : Pièces solides finales des Renforts Choc Frontal

3. Evaluation des modèles génériques

3.1 Introduction

Pour valider notre conception paramétrée des modèles génériques, on a essayé de vérifier sa fiabilité par des tests de mises à jour fréquemment rencontrées tout au long de la phase du développement du véhicule et d'enregistrer pour chacune le temps passé pour son effectuation afin d'en déduire l'efficacité de ces modèles au niveau de l'optimisation du temps. D'une manière générale, ces modifications sont demandées par les autres départements lors d'une convergence avec eux, on distingue :

- Les modifications dues au métier d'implantation ;
- Les modifications dues au calcul numérique ;
- Les modifications dues au retour du procédé de fabrication (emboutissage).

3.2 Mises à jour dues au métier d'implantation

La mission d'implantation consiste à vérifier s'il existe une interférence entre la pièce générée et les pièces de son environnement et si les règles de métier sont bien respectées.

3.2.1 Règles de métier :

Les règles d'emboutissage (ANNEXE 2) pour le Raidisseur Panneau Horizontal consiste à avoir une distance minimale de 5 mm entre l'embouti et toute autre découpe ou changement de volume. Pour cela on a utilisé la barre d'outils « Mesurer » de CATIA pour mesurer la distance entre deux entités géométriques (point, axe, arête, surface...).

On a trouvé que cette distance minimale n'est pas assurée, pour les emboutis d'allègement, à cause de la petite surface dans laquelle ils sont intégrés. La modification qu'on a fait est de décaler les emboutis sur l'interface du Lêcheur vers le haut, pour agrandir la surface comportant les emboutis d'allègement afin d'assurer les distances souhaitées ;

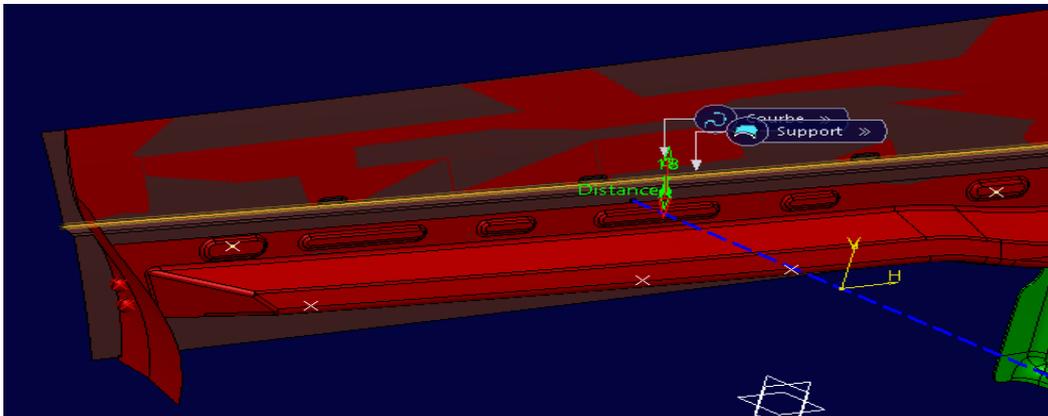


Figure 64 : Décalage des emboutis sur l'interface du Lêcheur

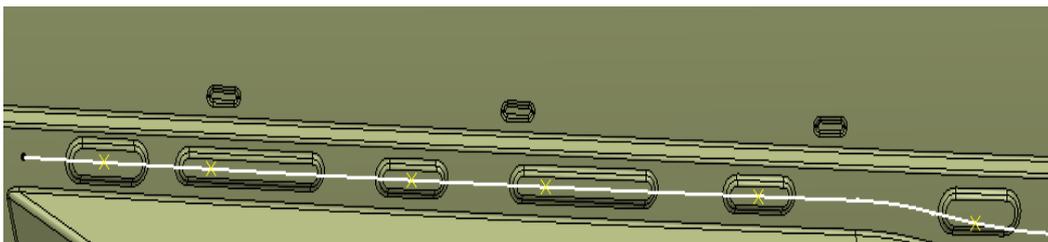


Figure 65 : Agrandissement de la surface et ajustement des emboutis d'allègement

3.2.2 Analyse d'interférence

Pour vérifier les interférences, on a lancé une simulation des interférences à l'aide de l'outil « créer une simulation d'interférence non persistante » dans la barre d'outils « interférence » en suivant les étapes représentées sur la figure suivant :

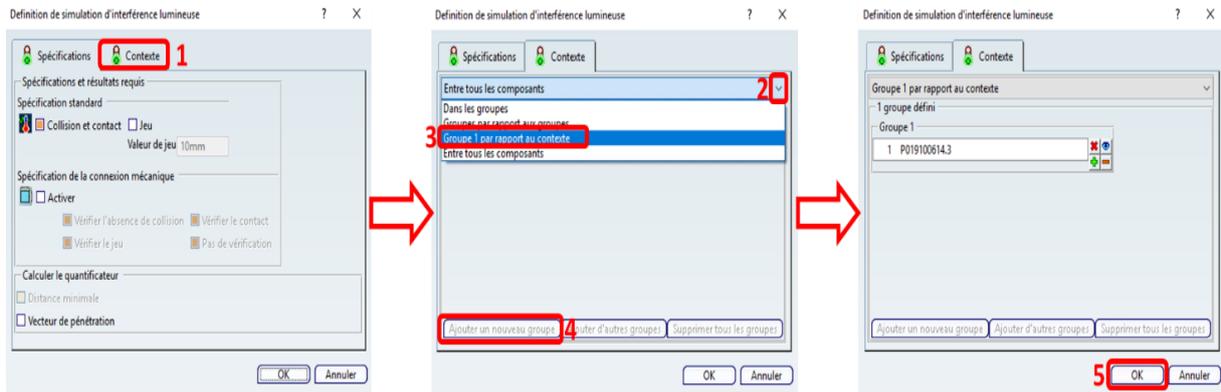


Figure 66 : Etapes de lancement de l'analyse d'interférence

Les résultats obtenus sont les suivants :

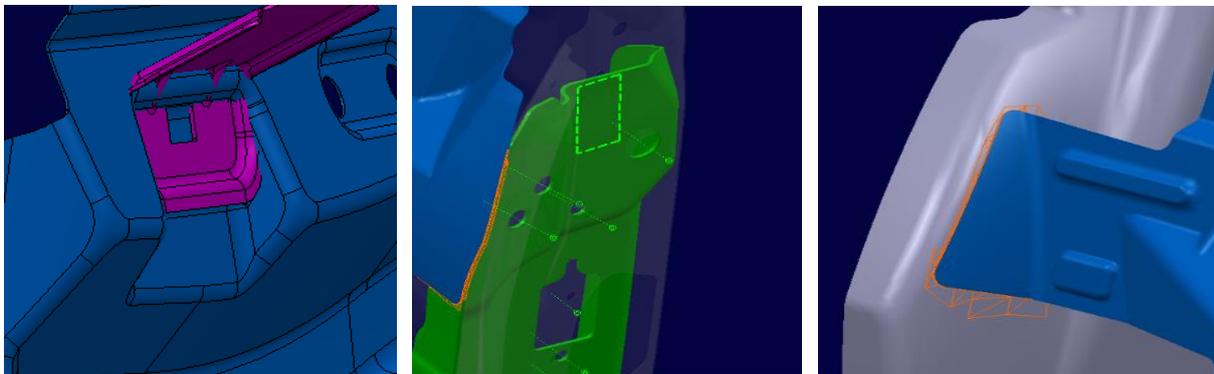


Figure 67 : Résultats de l'analyse d'interférence avec l'environnement

Ces résultats montrent l'absence des interférences entre le Raidisseur et le Renfort Charnière et la Doublure. La couleur jaune indique qu'il y a un accostage.

Or, il y a un problème d'interférence avec le Renfort Encadrement. Pour le résoudre, on a changé la forme de l'embouti assurant l'accostage avec ce dernier ;

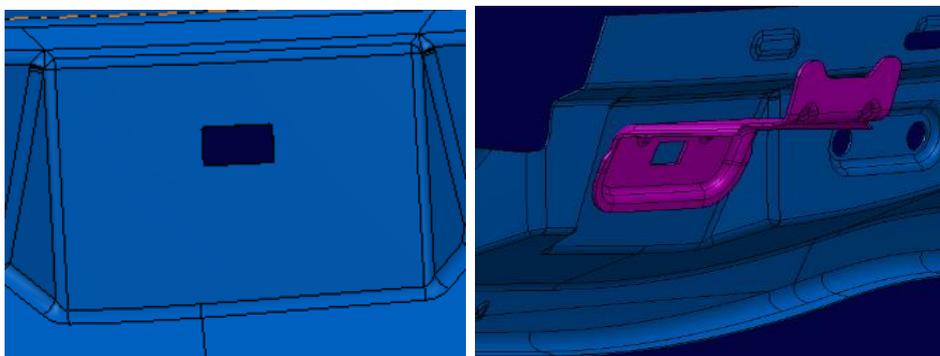


Figure 68 : Changement de l'embouti d'accostage avec le Renfort Encadrement

L'analyse d'interférence a montré, finalement, que le problème a été réglé ;

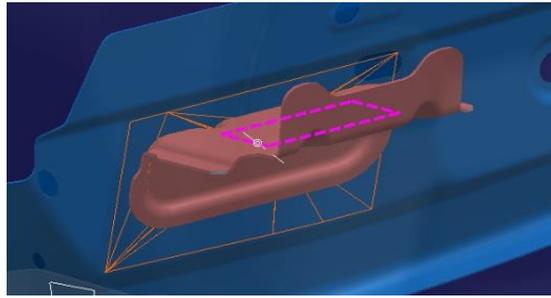


Figure 69 : Analyse d'interférence avec le Renfort Encadrement

3.3 Mises à jour dues au calcul numérique

3.3.1 Choix du type de calcul

- **Calcul linéaire ou non linéaire**

Lors de l'analyse par éléments finis, le calcul peut être fait soit d'une manière linéaire ou bien non linéaire. La différence entre les deux réside dans le taux de déplacement. En effet, dans l'analyse linéaire, nous supposons que les déformations sont infiniment petites. Cette supposition nous met dans le domaine élastique du matériau, c'est-à-dire que nous travaillons en dessous de la limite d'élasticité R_e du matériau, définit grâce à la loi de Hooke ($\sigma = E \cdot \epsilon$).

Une fois cette limite d'élasticité dépassée, nous entrons dans le domaine plastique, la loi comportementale devient alors non linéaire, comme est représenté sur la figure ci-dessous. Lors d'un crash automobile, la structure de ce dernier subit de grandes déformations. Il est donc nécessaire, lors de l'étude de ce type de crash, d'exploiter la loi comportementale réelle des matériaux, d'où **la nécessité de travailler dans le mode non-linéaire**.

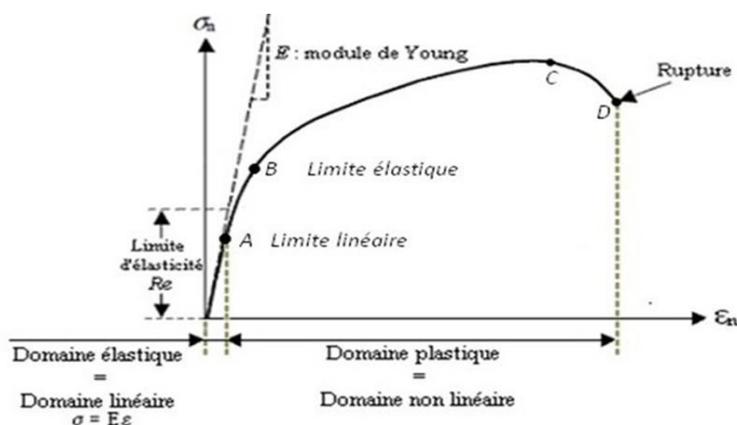


Figure 70 : Loi comportementale pour un matériau de la famille des Aciers

Il est important de noter que la loi de linéarité des calculs n'est pas uniquement liée à la loi de déformation du matériau. Un calcul peut également nécessiter un traitement non-linéaire si les conditions aux limites varient avec l'intensité du chargement.

▪ **Calcul explicite ou implicite**

Les méthodes Implicites et explicites sont deux types d'approche utilisés pour résoudre les problèmes des éléments finis. Les **méthodes explicites** calculent l'état d'un système à une date ultérieure de l'état du système à l'heure actuelle $x(t+h) = x(t) + h f(x(t))$, alors que les **méthodes implicites** trouvent une solution en résolvant une équation impliquant à la fois l'état actuel du système et une plus tard $x(t+h) = x(t) + h f(x(t+h))$.

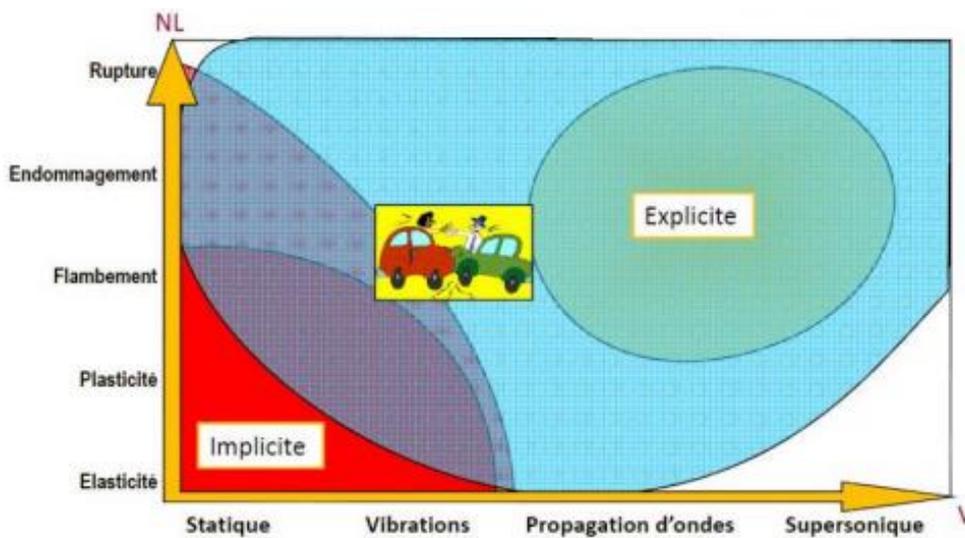


Figure 71 : Domaines d'application des méthodes implicite et explicite

La figure ci-dessus, présente les domaines d'application de chacune des méthodes vues ci-dessus. Nous remarquons, à partir de la figure, que la méthode implicite est généralement utilisée pour l'analyse statique ne nécessitant pas beaucoup de temps.

Le crash automobile est un problème de dynamique rapide et où le véhicule se déforme à une très grande vitesse. Le temps de déformation est comparable au temps nécessaire pour la propagation d'onde à travers la structure, c'est donc un phénomène complexe qui requiert des techniques de simulation adaptées. Les méthodes classiques utilisant un schéma implicite ne suffisent pas à résoudre des problèmes d'une si courte durée de façon précise. Par conséquent, **la méthode explicite est le choix optimal pour le traitement de ce type de données.**

3.3.2 Maillage sous ANSA

ANSA est un outil d'ingénierie assisté par ordinateur pour l'analyse par éléments finis largement utilisé dans l'industrie automobile. Il est développé par le BETA CAE Systems SA en Grèce et aux états unis. Ce logiciel est plus spécialisé dans le maillage des structures complexes. Donc il garantit un maillage plus efficace et plus adéquat.

Pour commencer le maillage deux opérations sont nécessaire : le nettoyage de la géométrie et l'extraction de la fibre neutre.

- **Nettoyage** : Lors de l'importation d'une pièce d'un logiciel à un autre, il n'est pas rare de voir apparaitre des erreurs de géométrie. L'application du maillage suit ces erreurs, on doit donc remédier à cela en modifiant le maillage de notre pièce et en corrigeant les erreurs, non pas sur le volume de la pièce, mais sur le maillage appliqué à cette dernière. Les entités géométriques sont faciles à manipuler et ce par les nombreux outils intégrés sur ANSA. Pour ce qui est des erreurs géométriques, elles sont identifiées, isolées et fixées, tandis que, selon les exigences du maillage, la géométrie peut être automatiquement simplifiée.

- **Extraction de la fibre neutre** : En tôlerie, les pièces réalisées sont généralement de faible épaisseur, aux alentours de 0.5mm à 1mm. Cette épaisseur relativement faible ne permet pas un maillage volumique correct. La solution optimale consiste en l'application d'un maillage surfacique sur la fibre neutre, en tenant compte de l'épaisseur de la tôle, ainsi le maillage suit au mieux les courbures de la pièce. Le logiciel permet alors de prendre en considération l'épaisseur de la tôle en donnant au maillage l'épaisseur désirée, sans pour autant créer des mailles volumiques. Pour une plus grande précision des résultats, l'application du maillage doit se faire sur la fibre neutre de la pièce. Il existe une variété de fonctions permettant l'extraction de la surface moyenne des pièces de toutes formes et complexités.

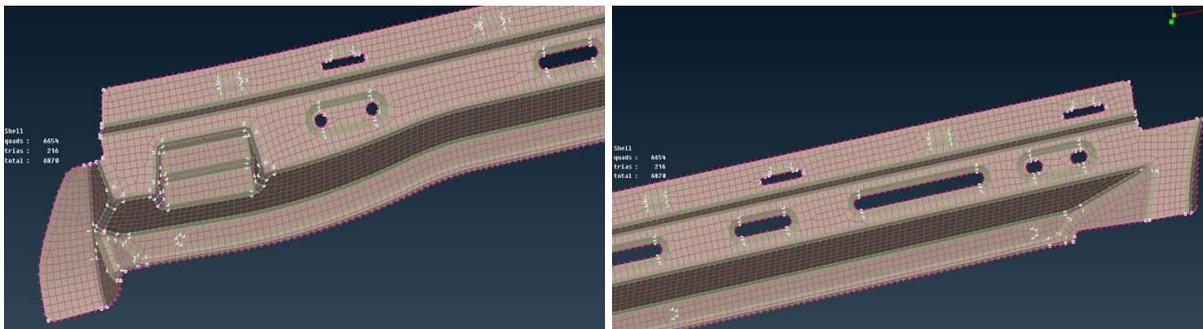


Figure 72 : Maillage du Raidisseur Horizontal

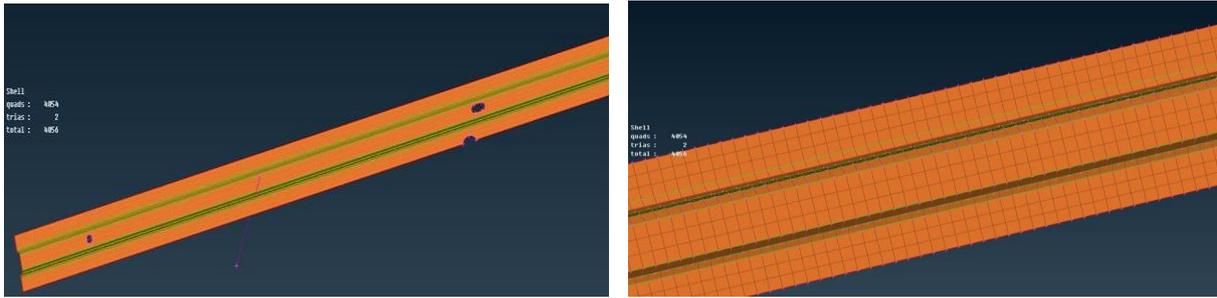


Figure 73 : Maillage du Renfort Choc Frontal

3.3.3 Application des matériaux et des connexions

Avant d'appliquer les matériaux sur les pièces, il faut les créer. En effet, dans le domaine automobile, bien que l'acier soit prédominant dans presque tous les véhicules, chaque constructeur a ses propres nuances d'acier, traité avec une méthode bien spécifique. Les propriétés de ces matériaux ne sont pas disponibles sur les logiciels de calcul, il faut donc entrer ces données manuellement lors de la création d'un nouveau matériau.

- Pour le renfort choc frontale : DP1180 ;
- Pour le Raidisseur Horizontale : E275D.

On a inséré, ensuite, les connections entre les pièces, telles que les PSE ou encore les cordons de colle comme indiqué préalablement.

3.3.4 Calcul par le solveur RADIOSS

Le code **RADIOSS** est un code commercial pour éléments finis avec résolution explicite qui a été conçu en 1986 par la société MECALOG. Son utilisation, souvent industrielle, entre dans de nombreux domaines comme celui de l'automobile. RADIOSS est équipé d'une grande bibliothèque des lois de comportement pour résoudre de nombreux types de problèmes.

Dans notre situation, on a choisi le cas de charge montré sur la figure ci-dessous du véhicule en choc avec une barrière mobile lancée à 50km/h sur le côté du véhicule. Ce cas simule la collision du véhicule avec un autre.

Ils existent plusieurs types de tests pour valider chaque périmètre de la voiture, quelques-uns sont moins critiques ne nécessitent pas la voiture toute entière, par exemple le choc piéton, Roll Rover... Mais pour notre cas, on a besoin de tous les périmètres de voiture et la partie motrice, pour simuler le test crash.

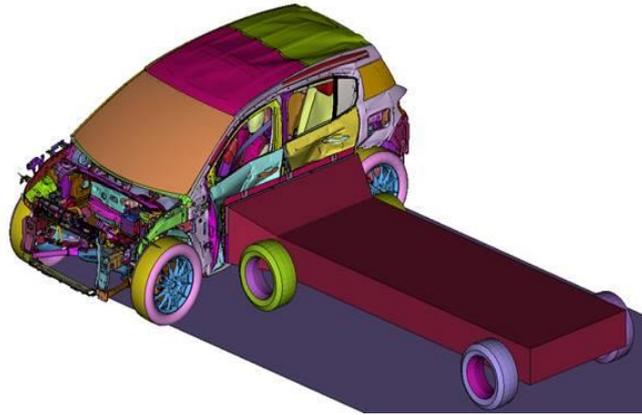


Figure 74 : Type de choc adopté

3.3.5 Interprétation des résultats

Le choc d'un véhicule, provoque son immobilisation, et donc la dissipation de son énergie cinétique initiale. D'après l'expression de cette dernière ($E_c = mv^2$), la violence du choc de la masse du corps immobilisé dépend de sa masse ainsi que de sa vitesse. En effet, plus la vitesse est élevée, plus le choc risque d'être destructeur et mortel. C'est pour cette raison que la structure du véhicule doit être assez rigide pour éviter le contact avec le passager et assez déformable pour absorber le maximum d'énergie cinétique et empêcher un transfert d'énergie trop important vers celui-ci.

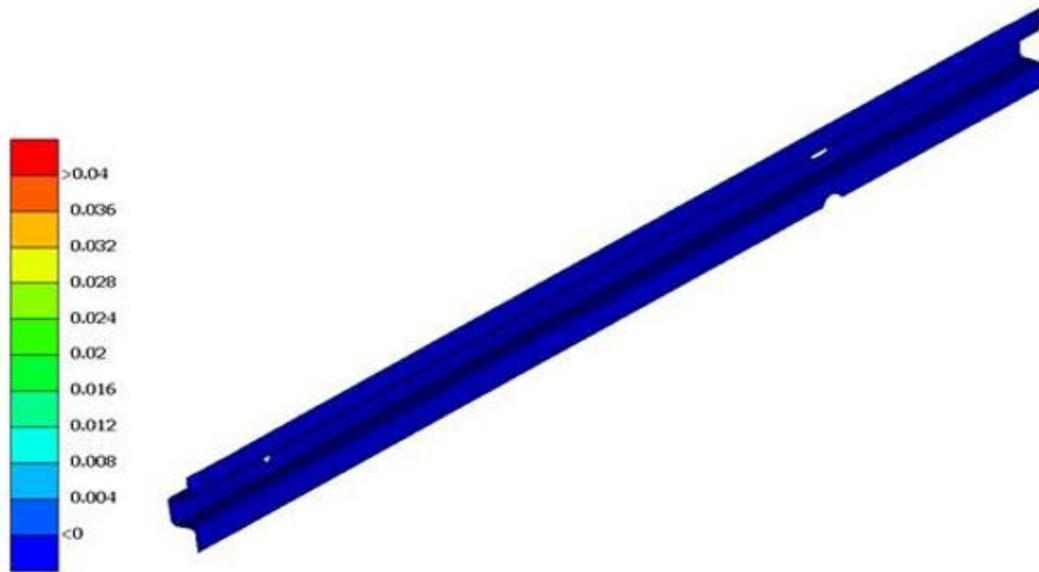


Figure 75 : Résultat du test crash sur le Renfort Choc Frontal

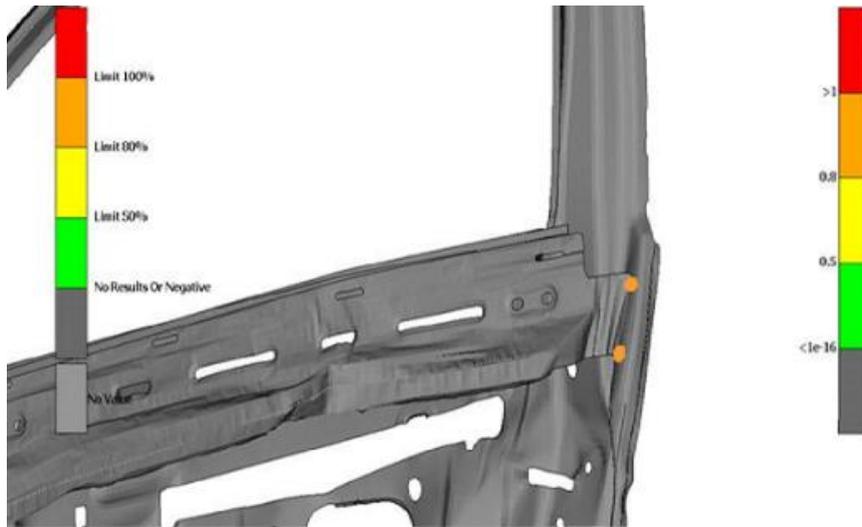


Figure 76 : Résultat du test crash sur le Raidisseur Horizontal

D'après les résultats obtenus, on remarque que le Renfort Choc Frontal reste rigide. En effet, sa validité se teste surtout en choc frontal plus qu'en ce type de choc adopté. Donc pas de modifications nécessaires sur celui-ci.

Tandis que pour le Raidisseur Horizontal, on remarque une déformation non favorable dans l'extrémité, même s'il n'a pas dépassé la limite élastique. En effet, il y a un risque d'arrachement de la matière dans la zone des points de soudure électriques. Cela se traduit par l'obligation de revoir la géométrie, le choix du matériau ou l'épaisseur afin de rendre la pièce plus acceptable.

Dans notre cas, le matériau est exigé par le constructeur client et il est préférable de ne pas agir sur l'épaisseur puisque sa modification entraînera une interférence avec l'environnement du Raidisseur Horizontal et, donc, une obligation de modifier toutes les pièces de cet environnement. Il s'avère donc, plus judicieux de modifier la géométrie de ce Raidisseur. Pour cela, on a inséré des nervures qui sont favorables à la raideur du raidisseur ;



Figure 77 : Solution proposée

3.4 Mises à jour dues au retour d'emboutissage

Il est important de rappeler que l'emboutissage est un procédé d'obtention de pièce à partir de tôle découpée et déformée mécaniquement au moyen d'outils. Il existe en deux variantes : l'emboutissage à chaud où les outils et la tôle sont à température variée entre 300° et 600°, il permet d'obtenir des pièces de formes complexes, cette variante exige un coût élevé, pour cela elle est adoptée seulement pour des pièces spécifiques, dans le véhicule, qui nécessitent une très haute tenue au choc. L'autre variante est l'emboutissage à froid où les outils et la tôle sont à température ambiante. C'est celle adoptée pour le Raidisseur Horizontal.

NB : On rappelle que le Renfort Choc Frontal est obtenu à partir du profilé en U et non pas par emboutissage.

3.4.1 Simulation

Pour simuler la faisabilité de notre pièce au niveau du processus d'emboutissage, on a utilisé AutoForm : un logiciel qui a été développé pour modéliser les processus d'emboutissage profond, il s'appuie sur l'approche des éléments finis : la méthode statique implicite.

Les points d'entrée au simulateur AutoForm sont le fichier CAO qui représente la géométrie souhaitée de la pièce et les paramètres du matériau ;

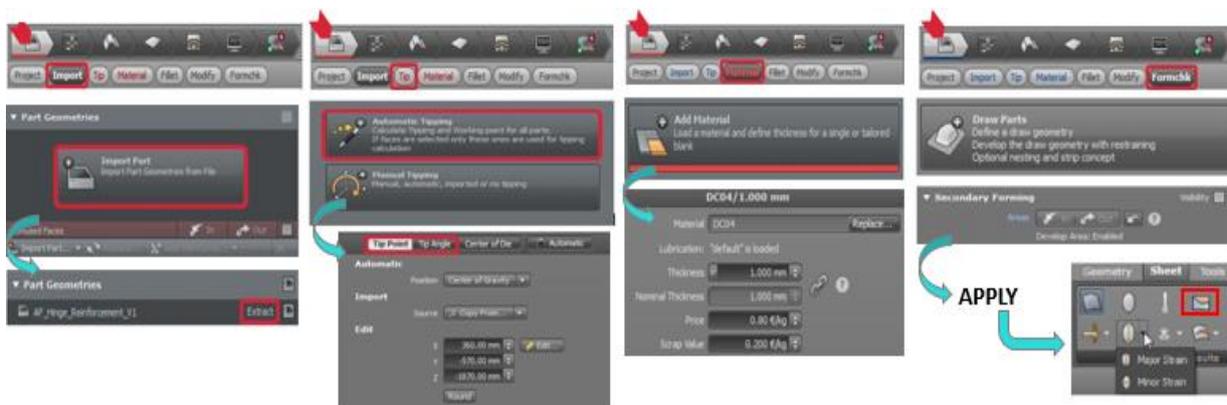


Figure 78 : Lancement de la simulation d'emboutissage

3.4.2 Interprétation des résultats

Le résultat du test d'emboutissage est donné sous forme de zones colorées sur la pièce comme montré sur la figure ci-dessous. C'est le diagramme de formabilité ;

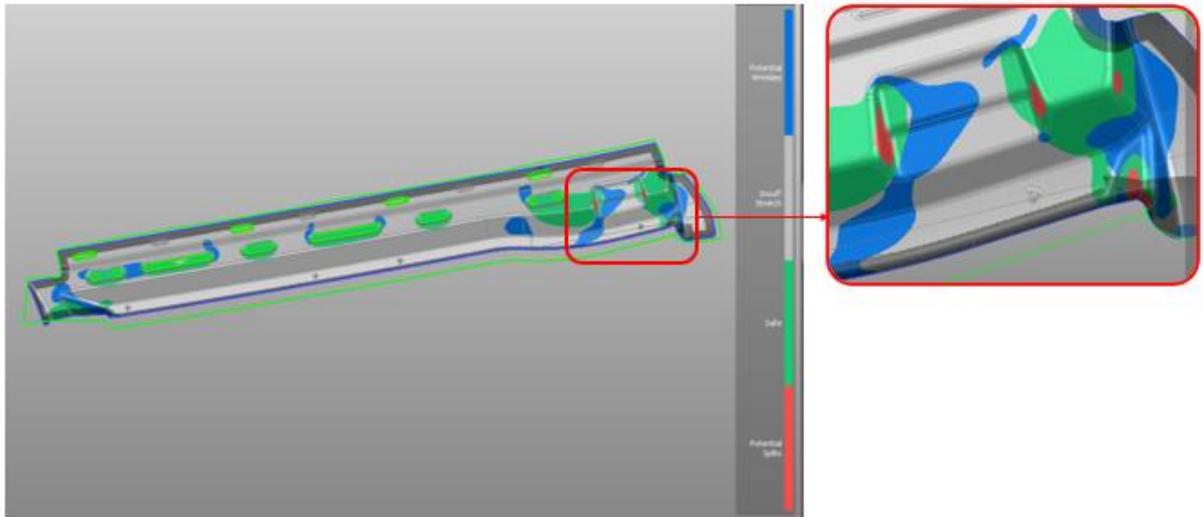
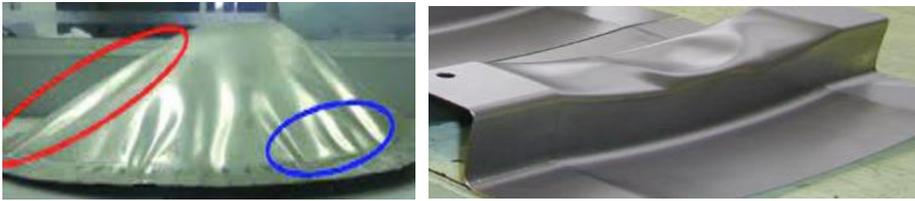
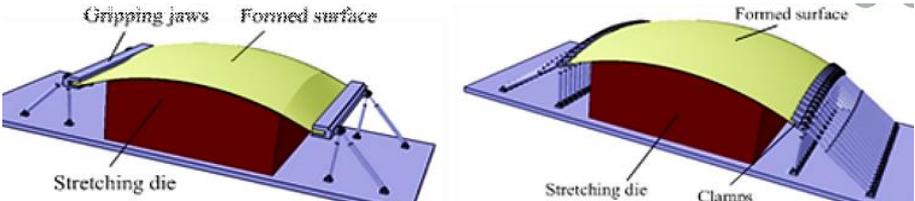


Figure 79 : Résultat du test d'emboutissage du Raidisseur Horizontal

Pour pouvoir interpréter ce résultat, il est important, tout d'abord, de comprendre les types de défauts d'après l'échelle de couleurs ;

Tableau 28 : Type de défaut par couleur

 <p>Potential Wrinkles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Apparition des plis et des ondulations</u> (épaississement) 
 <p>Insuff Stretch</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Mauvais serrage</u> (étirement insuffisant) 
 <p>Safe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Zone favorable</u> (pas de défauts)
 <p>Potential Splits</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Risque de rupture ou déchirure</u> (amincissement) 

Comme actions d'amélioration pour remédier aux défauts trouvés, on a proposé :

➤ **Zone bleue**

La création des Bulldozers pour étirer la matière et éviter la création des ondulations ;

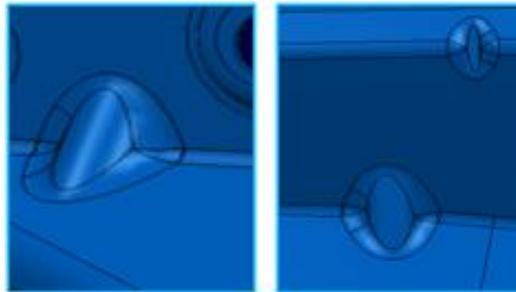


Figure 80 : Intégration des Bulldozers

➤ **Zone rouge**

L'ouverture des angles (des opérations de balayage) et l'augmentation des rayons (des congés d'arêtes) ;

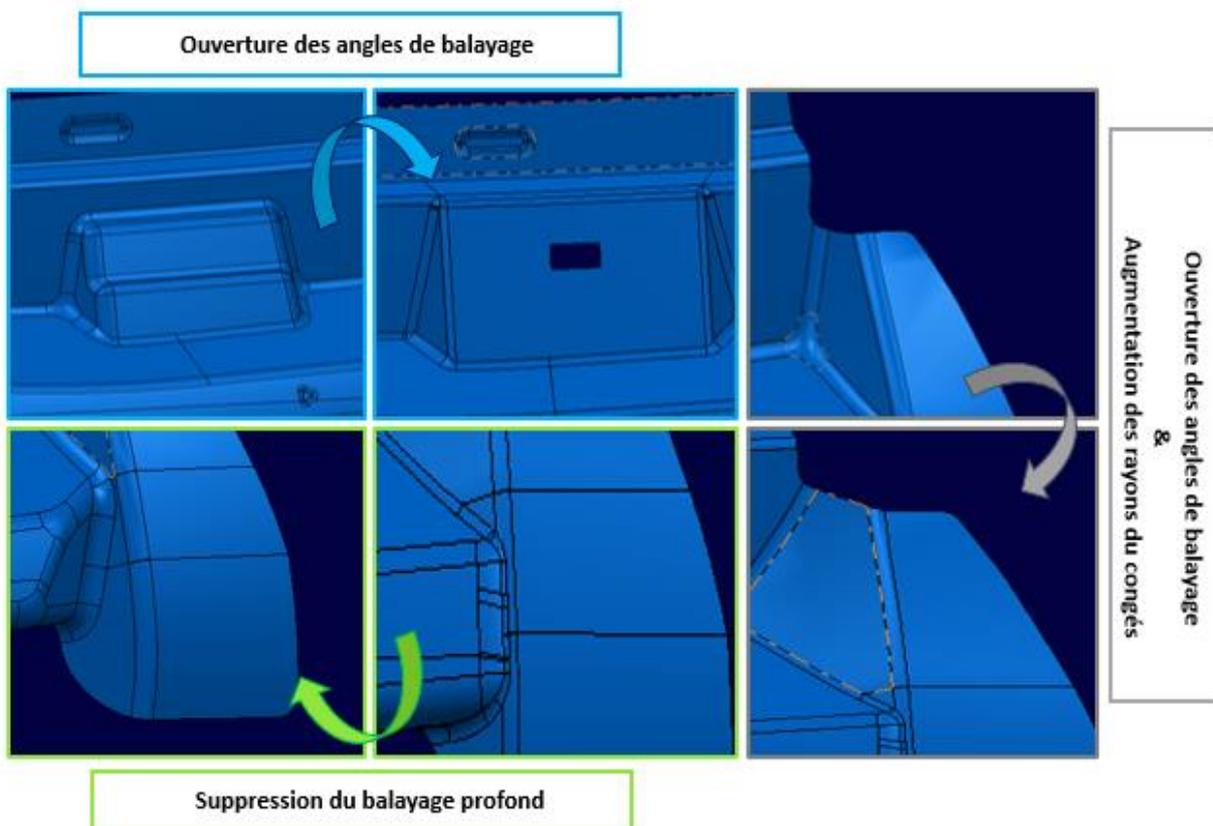


Figure 81 : Solutions proposées pour corriger le défaut d'amincissement

➤ **Zone grise**

Dans la phase de conception, notre objectif est de vérifier la formabilité de la pièce. Par conséquent, on n'a effectué aucune action pour corriger ce défaut puisqu'il est lié, spécialement, à l'outillage utilisé. C'est dans la phase de réalisation d'outillage que ce défaut se règle via l'adaptation d'un processus convenable pour l'obtention de la forme souhaitée.

On a reverifié la pièce après l'application des actions correctives mentionnées précédemment et on a constaté une amélioration par rapport à la simulation initiale ;

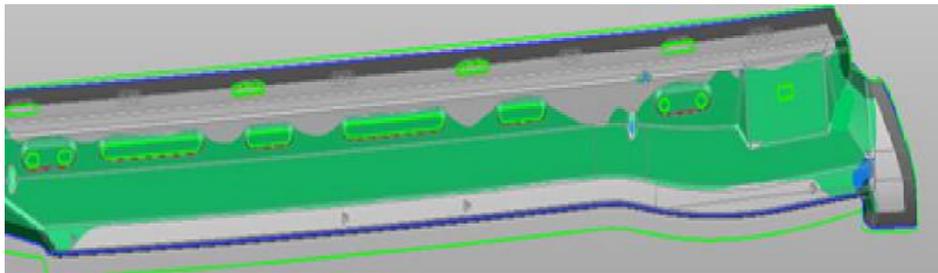


Figure 82 : Diagramme de formabilité (re-vérification)

Une fois on s'est assuré de l'emboutissabilité de la pièce, on a lancé une analyse de dépouille qu'on a trouvé favorable (toute la pièce est verte) ;

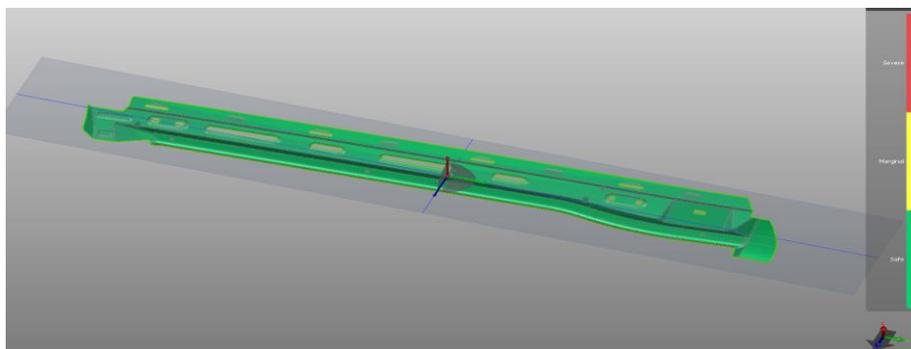


Figure 83 : Analyse de dépouille du Raidisseur Horizontal

Conclusion : Bilan comparatif du temps

Comme mentionné précédemment, l'objectif principal de l'ensemble de ces tests effectués est de nous poser dans la réalité du développement de nos pièces pour pouvoir effectuer les mises à jour rencontrées tout en enregistrant le temps passé dans chacune de celles-ci et de juger, ainsi, la validité des modèles génériques ;

Le tableau ci-dessous enregistre le temps passé dans chaque modification de notre part (stagiaires pilotes du projet) :

Tableau 29 : Temps des MAJ sur le modèle générique

Modification	Consultant 1	Consultant 2	Moyenne
MAJ Suppression de balayage (emboutissage)	45 min	40 min	42.5 min
MAJ des règles métier	50 min	60 min	55 min
MAJ de l'interférence	25 min	40 min	32.5 min
MAJ d'emboutissage	25 min	15 min	20 min
MAJ de simulation	10 min	12 min	11 min

Pour pouvoir juger notre modèle générique, on a fait une enquête auprès de 3 consultants travaillant dans le périmètre de la porte latérale pour collecter des données sur le temps qu'ils passaient pour l'effectuation de telles mises à jour. Les données de cette enquête sont dressées sur le tableau ci-dessous :

Tableau 30 : Temps des MAJ dans les anciens projets

Modification	Consultant 1	Consultant 2	Consultant 3	Moyenne
MAJ Suppression de balayage (emboutissage)	1h 10 min	1h20min	1h	70 min
MAJ des règles métier	1h	1h10min	1h20min	70 min
MAJ de l'interférence	1h	50min	45 min	51.66 min
MAJ d'emboutissage	35 min	40 min	30 min	35 min
MAJ de simulation	20 min	20 min	17 min	19 min

Le temps optimisé à travers la création du modèle générique peut être clairement capturé à partir du graphe ci-dessous :

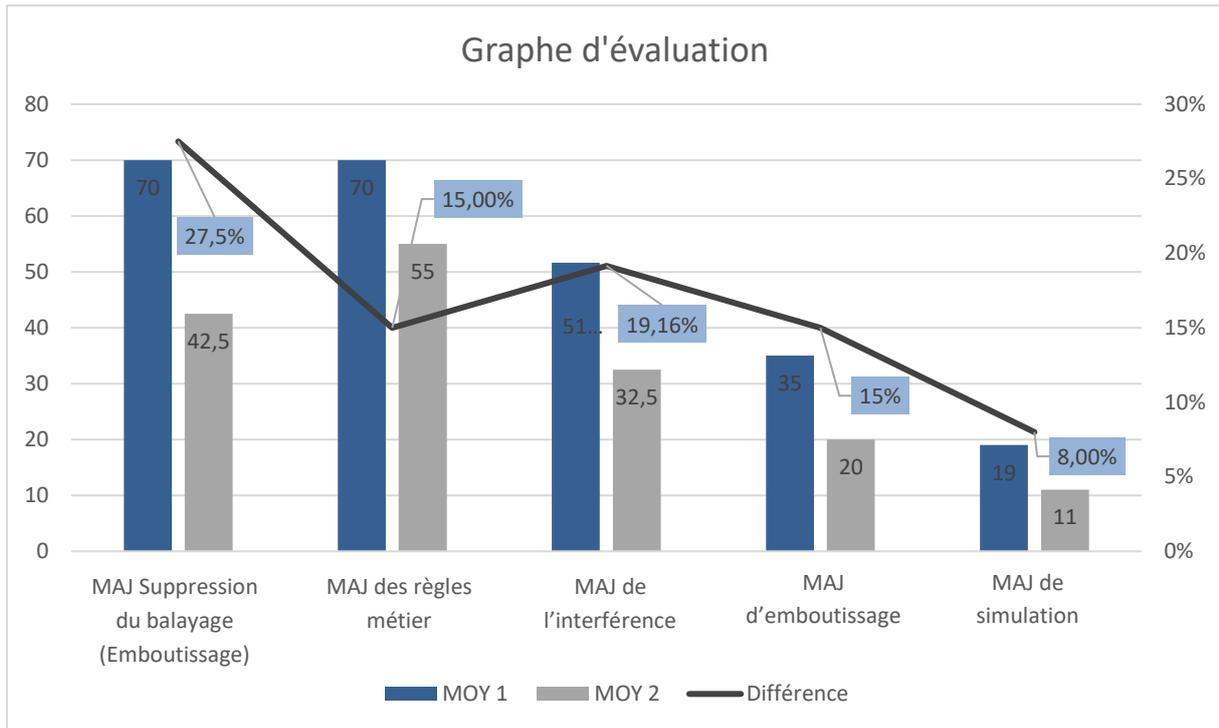


Figure 84 : Graphe d'évaluation du temps

On constate que, pour chaque type de modification, on a un gain significatif dans le temps ;

En gros, le modèle générique nous permet une optimisation de 17% du temps de la conception :

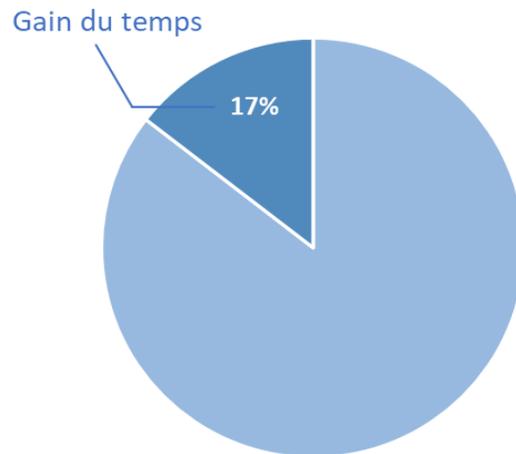


Figure 85 : Gain du temps de conception

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce projet, qui s'inscrit dans le cadre de notre stage de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat à la FST de Fès. On a pu, depuis notre premier jour d'intégration au sein de MG2 Engineering, découvrir l'organisation du département Body In White où ce stage a été déroulé et les activités des différentes équipes dans les périmètres qui leur sont attribués. On a, aussi pu comprendre le processus de conception et d'officialisation des pièces automobiles tout au long la phase de développement du véhicule et apprendre les règles de conception en tôlerie grâce à une formation approfondie sur le métier et les outils utilisés à savoir CATIA V6 et PLM.

Après deux mois et demi, on a convergé vers le périmètre de la Porte Latérale de l'équipe des Ouvrants et on a entamé la réalisation de notre projet intitulé : conception et évaluation des modèles génériques pour le Raidisseur Panneau Horizontal et le Renfort Choc Frontal, dont les dimensions entrent dans l'axe d'optimisation du temps de conception.

A cet effet, on a commencé par une compréhension détaillée du projet via une présentation de son contexte, de la méthodologie et de la planification suivies pour sa réalisation.

Par la suite, on a procédé à une description du périmètre de travail, puis à partir d'une analyse fonctionnelle, on a pu caractériser les fonctions exigées pour satisfaire aux attentes du client.

Ensuite, on a fait une étude comparative, externe puis interne, qui nous a permis d'identifier les clés d'inspiration pour le commencement de la conception.

Finalement, on a conçu les modèles génériques des pièces concernées sous CATIA V6, en respectant les règles de métier, les préconisations du client et l'obligation de paramétrer la construction pour une reconduction et mises à jour aisées par la suite. Puis on a testé la validité de nos modèles via l'effectuation des modifications issues des retours du métier d'implantation, de simulation numérique et du procédé d'emboutissage afin d'en déduire le temps optimisé.

L'accomplissement de ce travail a été une occasion, à la fois, pour améliorer nos compétences techniques en conception automobile, plus particulièrement des pièces en tôlerie, pour maîtriser les outils CATIA V6 et PLM et pour profiter d'une expérience très riche dans l'automobile étant le secteur prometteur du royaume en participant concrètement à ses enjeux à travers notre mission.

REFERENCES

OUVRAGES

- ❖ The Automotive Body (Vol I - Components Design) - L. Morello, et al., (Springer, 2011)
- ❖ Technologie Fonctionnelle de l'Automobile-le Moteur et ses Auxiliaires
- ❖ Ox English for the Automobile Industry
- ❖ Guide de conception Outils de détournage/Ajourage/Poinçonnage
- ❖ UE 524 Emboutissage : Connaissance produit/processus

SITES WEB

http://sites.estvideo.net/college.anne.fr/dossier1/ressources1/ressources_dp3/ressource_dp3_p_eugeot.pdf

<https://www.3ds.com/fr/industries/transport-et-mobilite/processus-metier/>

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/automobile-technologie/>

www.docinfo.inetpsa.com

www.compraison.concurrence.inetpsa.com

www.a2mac1.com

<http://www.auto-tuto.com>

www.magna.com

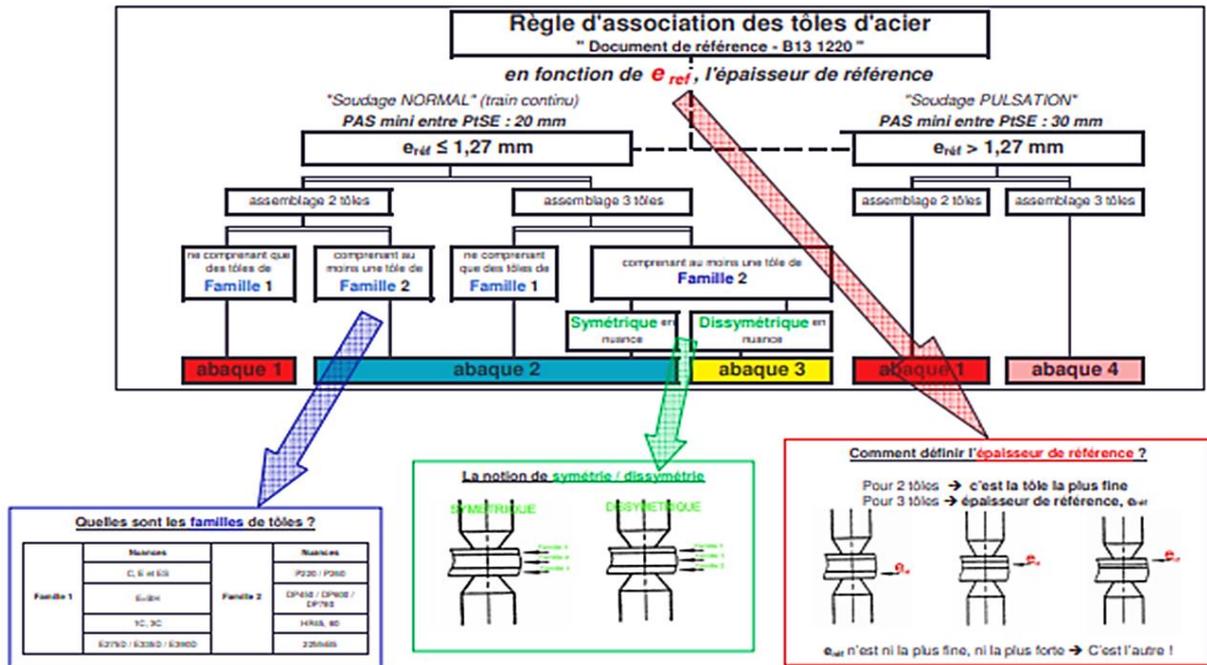
www.capgemini-engineering.com/ma

www.euroncap.com

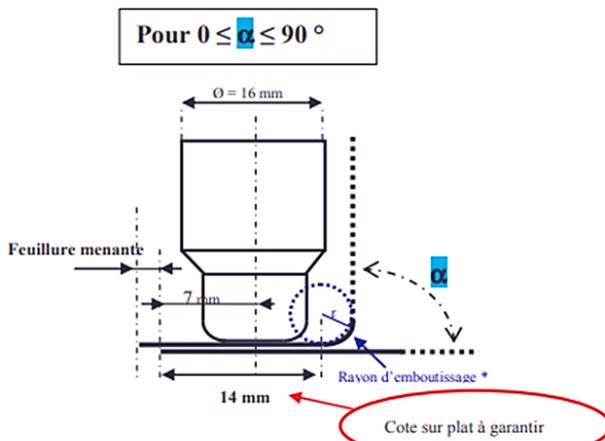
ANNEXES

ANNEXE 1 : Règles métier ferrage.

Le concepteur doit réaliser l'acostage entre les pièces par une surface de contact prenant en compte la surface des points de soudure (PSE) et les tolérances d'assemblage des pièces, de la pince à souder et le type de PSE (PSE normal ou pulse). La largeur de bord à respecter est le plus souvent de 14mm pour une PSE normal et de 18mm pour un PSE pulse.



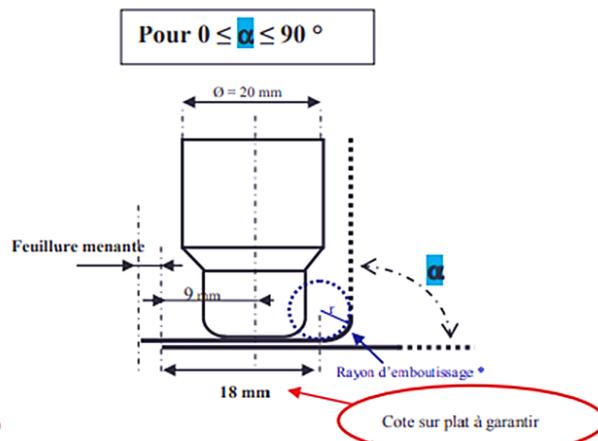
Préconisations Largeurs de Bord
Soudage NORMAL (Train continu)
 "Document de référence - B13 1235"



La largeur de feuillure est une résultante (en mm):
 => Feuillure menante + 14 + rayon d'emboutissage*

* Pour garantir l'accessibilité => Rayon mini = 4 mm

Préconisations Largeurs de Bord
Soudage PULSATION
 "Document de référence - B13 1235"



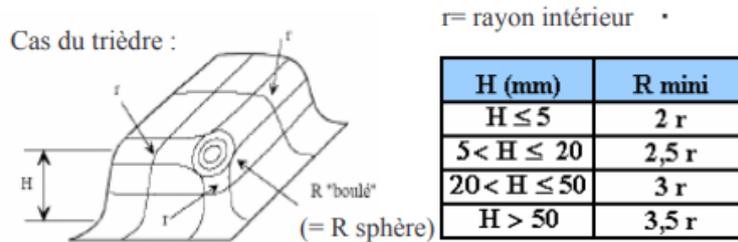
La largeur de feuillure est une résultante (en mm):
 => Feuillure menante + 18 + rayon d'emboutissage*

* Pour garantir l'accessibilité => Rayon mini = 4 mm

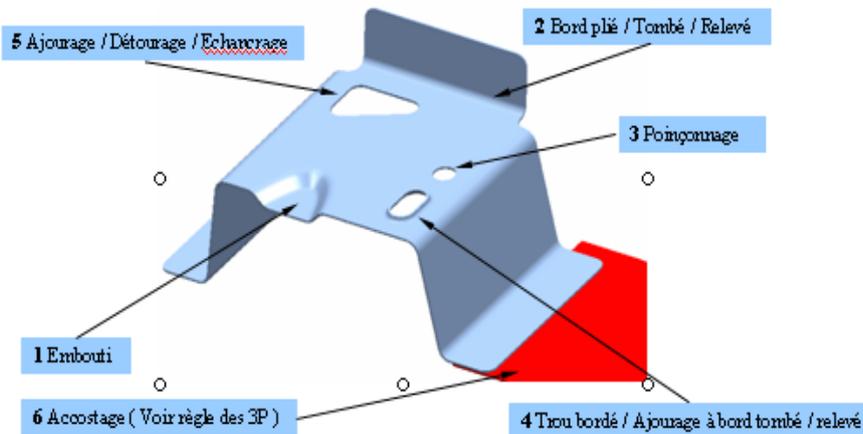
ANNEXE 2 : Règles métier emboutissage.

Le concepteur doit respecter les différentes règles d'emboutissage. Les pièces sont embouties suivant une direction d'emboutissage (qui sera inséré dans le set « direction emboutissage »). Le concepteur doit, par cette direction, respecter les angles de dépouille afin que la pièce puisse être ôtée de la matrice.

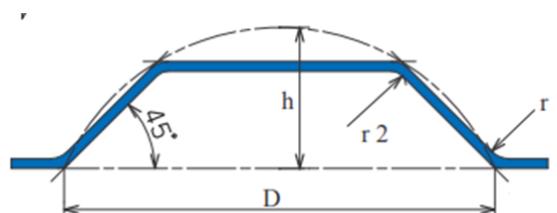
Les rayons doivent être les plus grands possibles. Il ne doit pas y avoir de rayons inférieurs à 5mm.



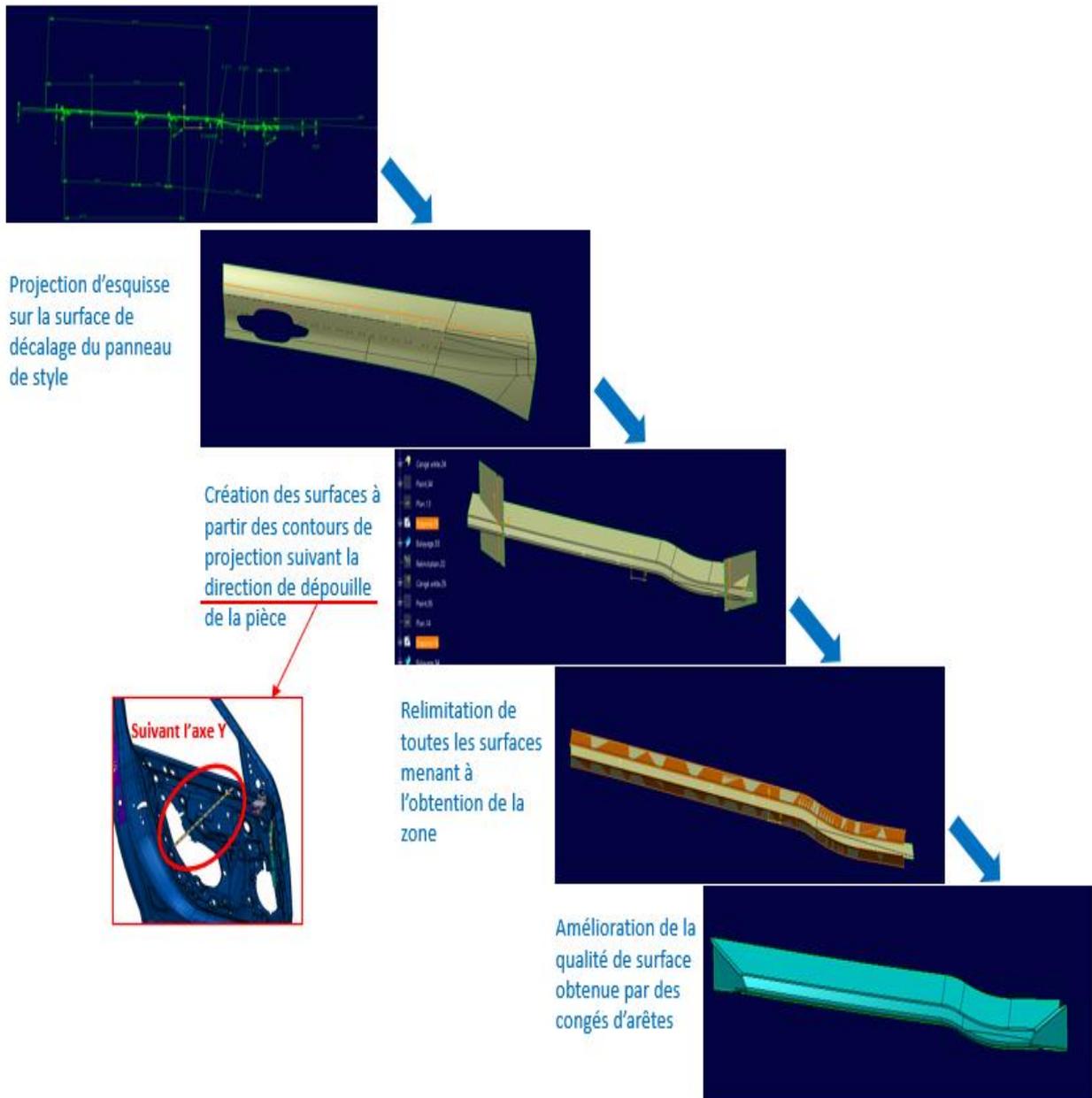
Il est préférable que tous les trous soient situés sur des plans parallèles entres eux pour que ceux-ci soient réalisés en une seule opération et pour maîtriser les entraxes. Les trous et ajourages doivent être situés sur une surface plane assurée, dans le cas échéant, par un embouti, et à au moins 5mm de toute autre découpe ou changement de volume.



Les emboutis doivent être créés de façon à garantir : $h \leq D/3$ et $r1$ et $r2 \geq h/3$



ANNEXE 3 : Construction de la Zone de collage Raidisseur Horizontal – Panneau



ANNEXE 4 : GENERALITES SUR LE SECTEUR AUTOMOBILE

1. Connaissances dans le secteur automobile

1.1 Définition de l'automobile

Une automobile est un véhicule terrestre se propulsant lui-même à l'aide d'un moteur. Ce véhicule est conçu pour le transport terrestre de personnes ou de marchandises, elle est équipée en conséquence. C'est un des moyens de transport les plus répandus actuellement sur la planète.

1.2 Les conditions à remplir par l'automobile

- Transporter les passagers et les marchandises avec un confort suffisant afin de limiter la fatigue ou leur endommagement.
- Protéger au mieux les occupants en cas de choc.
- Atteindre des vitesses et des accélérations suffisantes.
- S'arrêter en cas de besoin dans la plus petite distance parcourue possible.
- Conserver la trajectoire désirée par le conducteur quelles que soient les conditions atmosphériques, de roulage et de circulation.
- Rester fiable dans le temps.
- Consommer peu d'énergie.
- Ne polluer l'environnement que le moins possible.

1.3 Les parties principales d'une automobile

Dans le châssis, on trouve les trois parties principales d'une automobile suivantes :

- Partie 1 : Le compartiment renfermant le système de motorisation, lié mécaniquement aux roues motrices ;
- Partie 2 : La cellule recevant le conducteur et les passagers, appelée habitacle ;
- Partie 3 : Le compartiment à bagages

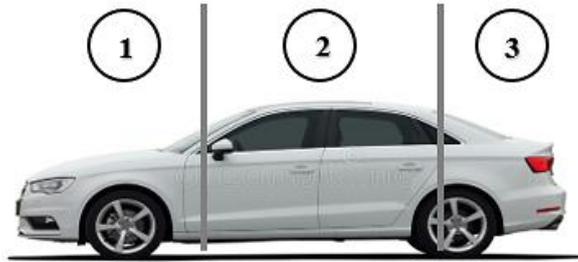


Figure 86 : Parties principales d'une automobile

1.4 Segmentation des véhicules automobiles

Il existe de différentes catégories de voitures dont la classification n'a jamais été arbitraire. En effet, sur un marché donné, les constructeurs automobiles proposent une gamme de modèles positionnés sur des créneaux généralement cohérents d'une marque à l'autre.

L'ensemble de ces modèles concurrents constituent de fait un segment du marché, caractérisé par tout ce que ces véhicules ont en commun. On peut parler d'automobiles pour chacun ou pour différents usages selon les loisirs, la profession l'activité de son propriétaire.

Tableau 31 : Segmentation des véhicules automobiles

Véhicules micro – urbains « Segment B0 »	
	Les plus petites voitures. Leur longueur est inférieure à 3,10 m. Ce sont des véhicules utilisables avant tout en milieu urbain. Les modèles 2 places sont les majoritaires de cette catégorie.
Véhicules urbains ou mini – citadins « Segment A »	
	Leur longueur varie en moyenne de 3,4 à 3,70 m. Les modèles 4 places sont majoritaires. Elles servaient de voitures secondaires, mais depuis quelques années des modèles dotés d'un équipement luxueux font leur apparition dans cette catégorie.
Véhicules citadins ou sous – compacts « Segment B »	
	Légèrement plus grands et plus puissants tout en restant pratiques pour la circulation urbaine. Leur longueur varie en moyenne de 3,70 m à 4,10 m. Elles ont toutes 5 places.
Véhicules compacts « Segment C »	

	<p>Ce sont les petites berlines. Leur taille varie en moyenne de 4,20 m à 4,50 m. Ils cherchent à être adaptées à tous les types de circulation, en visant une clientèle plus familiale.</p>
---	--

Véhicules familiaux ou intermédiaires « Segment D ou M2 »

	<p>Ils correspondent à un volume plus grand, ont des moteurs plus puissants et sont faites pour le transport sur de plus longues distances de 5 à 6 personnes. Leur taille varie en moyenne de 4,60 m à 4,85 m.</p>
---	---

Véhicules grands monospaces « Segment H »

	<p>De tailles comparables aux modèles de la catégorie familiale, ces monospaces optimisent le volume intérieur et visent les familles avec plusieurs enfants. Elles ont généralement 7 places.</p>
---	--

Véhicules routiers « Segment H1 »

	<p>Ce sont des voitures avec un grand empattement pouvant confortablement transporter cinq personnes. En général, on y retrouve des automobiles plus luxueuses. Leur taille varie en moyenne de 4,85 m à 5,10 m.</p>
---	--

Véhicules berlines de luxe ou limousines « Segment H2 »

	<p>Ce sont des voitures de prestige. Leur longueur est généralement supérieure à cinq mètres, elles servent autant à assurer le standing de leur propriétaire que celui de leur constructeur. Une grande partie de ces modèles sont européens (fabriqués en Allemagne ou en Grande-Bretagne notamment) mais les principaux marchés sont les États-Unis, la Chine depuis peu ainsi que la Russie.</p>
---	--

Véhicules tous – terrains « Segment SUV »

	<p>La plupart de ces véhicules sont pourvus d'une transmission intégrale. Ils combinent leur caractère utilitaire à un usage de détente, de loisirs et des voyages, certains peuvent transporter pas moins de 7 personnes en offrant un généreux coffre. Le Range Rover a toujours été un pionnier de cette catégorie.</p>
---	--

1.5 Type de carrosserie de voiture

Dans le jargon automobile, on parle également de corps et de volume.

Ainsi, un véhicule peut appartenir à un type de carrosserie en deux volumes ou en trois volumes. Depuis deux décennies, le type de carrosserie monovolume a également été accepté du grand public.

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble de ces types de carrosserie ;

Tableau 32 : Types de carrosserie d'un véhicule

<p>TRI- VOLUME</p>		<p>Un véhicule tri-corps (ou trois volumes) est une voiture dont la silhouette présente un décrochement à la base du pare-brise et à la base de la lunette arrière. Ce type de véhicule comporte trois volumes distincts :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le compartiment moteur. - L'habitacle. - Le coffre.
<p>BI- VOLUME</p>		<p>Un bicorps ou deux volumes est un véhicule dont la silhouette présente un décrochement à la base du pare-brise. Ce type de véhicule comporte deux volumes distincts :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le compartiment moteur - L'habitacle incluant l'espace pour les bagages
<p>MONO- VOLUME</p>		<p>Un monocorps ou monospaces, cette silhouette est aujourd'hui très répandue. Comprenant entre trois et cinq portes vitrées, les véhicules épousant une forme monocorps s'étendent sur une ligne continue. Il n'y a ni décrochement à l'avant, ni division à l'arrière</p>

2. Composition d'un véhicule automobile

Généralement un véhicule automobile est constitué d'une structure, des éléments d'habillage et des systèmes mécaniques responsables à son déplacement.

- La structure est formée par l'ensemble des éléments inamovibles ;
- Les éléments d'habillage sont formés par l'ensemble des éléments amovibles.

2.1 La structure

Les éléments inamovibles sont des pièces assemblées de manière permanente et dont la dépose entraîne la rupture de la liaison (éléments soudés, collés, rivetés, clinchés,...). Ces éléments, tels que les ailes arrière, les longerons et les pieds AV, milieu et AR, composent dans leur totalité l'infrastructure (ou soubassement), la superstructure et les faces latérales du véhicule pour former ce qu'on appelle **la Caisse En Blanc (Body In White)** du véhicule.

La caisse en blanc (CEB) se réfère à l'étape de fabrication automobile dans laquelle l'ensemble des tôles embouties constituant la structure sont assemblées en chaîne ferrage avant que les équipements (vitrages, sièges, garnissage, etc.) ne s'y ajoutent.

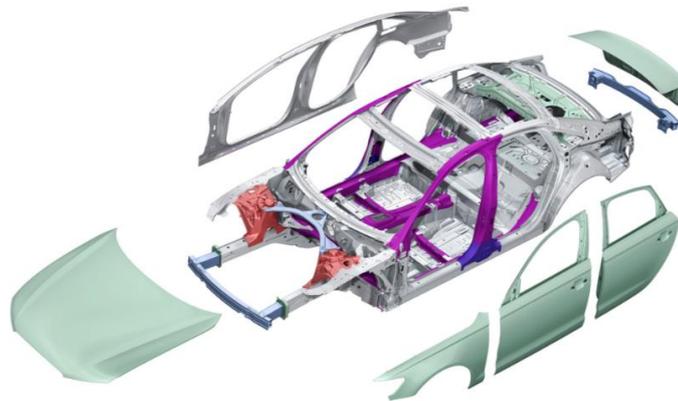


Figure 87 : Caisse en Blanc d'un véhicule automobile

2.2 Les éléments d'habillage

Il s'agit des éléments dont l'assemblage est réalisé par un mode de liaison démontable qui rend l'élément amovible. On distingue les moyens de liaison par agrafes, clips, boulons ou par goupilles. Ces éléments constituent :

- La garniture interne et externe qui est généralement en plastique, caoutchouc ou en verre comme celle de la porte, de malle arrière, etc.
- Les équipements tels que les vitres de porte, Haut-Parleur, capteurs, etc.

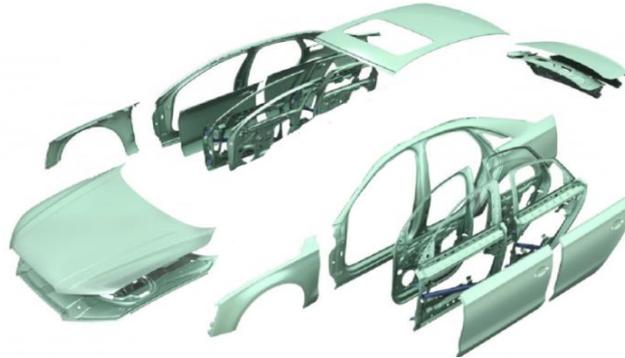


Figure 88 : Eléments d'habillage d'un véhicule automobile

3. Processus de fabrication des véhicules automobiles

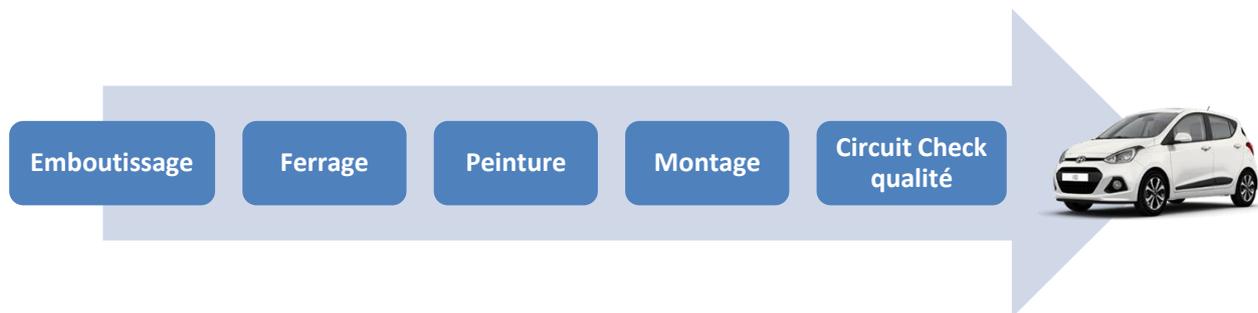


Figure 89 : Processus de fabrication d'un véhicule

▪ Emboutissage

L'emboutissage est un terme qui définit une technique de fabrication très utilisée dans l'industrie automobile permettant d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince, un objet dont la forme n'est pas développable. La température de déformation se situe entre le tiers et la moitié de la température de fusion du matériau.

Son principe est fondé sur la déformation plastique du matériau consistant en un allongement ou un rétreint local de la tôle pour obtenir une forme voulue.

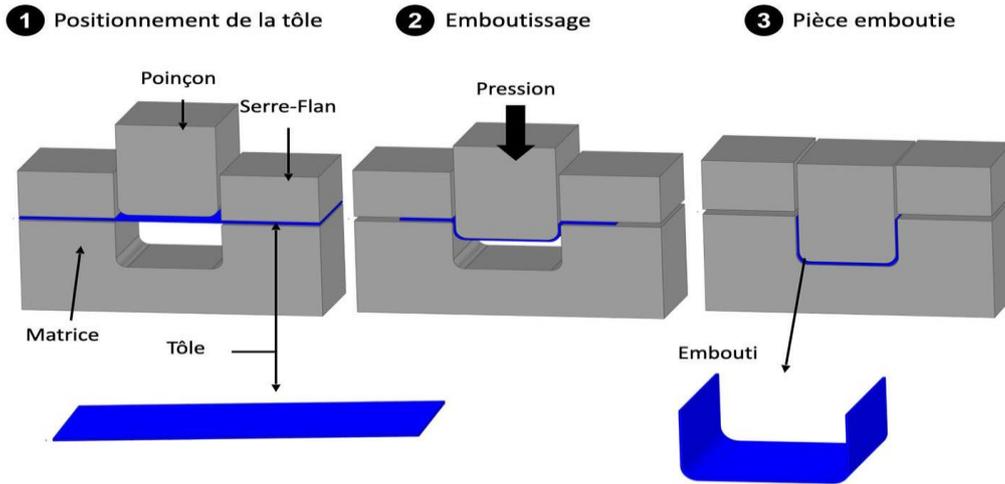


Figure 90 : Phases d'emboutissage

L'opération d'emboutissage typique (double-effet) est réalisée avec les étapes suivantes :

Phase 1 : poinçon et serre-flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice.

Phase 2 : le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de glisser.

Phase 3 : le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice. La pièce conserve la forme acquise (limited'élasticité dépassée).

▪ Ferrage

Les pièces de tôle issues de l'atelier d'emboutissage sont prêtes à assembler pour former la **caisse en blanc**. C'est dans cet atelier très robotisé que démarre véritablement la ligne de production en passant respectivement par l'assemblage de l'armature, l'assemblage des côtés de caisse, la conformation géométrique pour le maintien en position des pièces et finalement l'assemblage de la caisse.

▪ Peinture

La caisse en blanc reçoit d'abord un revêtement anticorrosion complété par des cordons d'étanchéité. Elle reçoit ensuite une couche de peinture dite « d'apprêt », sur laquelle est déposée la couche de laque qui donne au véhicule sa couleur définitive.

▪ Montage

Après le démontage des ouvrants pour faciliter le montage, la caisse peinte reçoit successivement tous les équipements du véhicule : habillages, sellerie, circuits électriques, vitrages et bien entendu éléments mécaniques (moteur, boîte de vitesse...) produits sur un d'autres sites, pour qu'elle reçoit de nouveau les portes, cette fois-ci préparées (vitres posés et renforts positionnés) afin de terminer cette étape de montage.

- **Circuit check qualité**

Le véhicule subit d'abord un contrôle complet de ses équipements électroniques (réglages des phares, vérification du fonctionnement des voyants, systèmes d'alerte, de sécurité, de confort...). Les véhicules déclarés conformes sont ensuite testés sur bancs de roulage ou sur pistes pour vérifier le bon fonctionnement de tous leurs organes mécaniques. A chacune de ces étapes, les éventuels défauts sont aussitôt corrigés et leur origine identifiée.