

RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

**Diplôme de Master Sciences et Techniques
Spécialité : Génie Mécanique et Productique**

Thème :

***Etude de la faisabilité produit process des pièces embouties pour
l'automobile***

Présenté par :

BOUZAFFOUR Mohamed

Encadré par :

-IMANE MOUTAOUAKKIL, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès

- AMINE EL GBOURI, ALTRAN Maroc

Effectué à : ALTRAN Maroc

Soutenu le : 12 juin 2017

Devant le jury :

• Pr.I.MOUTAOUAKKIL	Faculté des Sciences et Technique de Fès
• Pr.M.EL MAJDOUBI	Faculté des Sciences et Technique de Fès
• Pr.J.ABOUCHITA	Faculté des Sciences et Technique de Fès

Année Universitaire : 2016-2017

Remerciements

C'est avec un grand plaisir que je réserve ces lignes en gage d'obligeance et de gratitude à tous ceux qui ont contribué à l'élaboration et la réussite de ce travail.

Ainsi je remercie la direction de « ALTRAN Maroc » qui a accepté de m'accueillir au sein de son organisme.

Mes vifs remerciements vont conjointement à Mme Imane Moutaouakkil pour son encadrement permanent, son assistance perspicace ainsi que pour ses instructions pertinentes tout au long de ce projet.

Je m'adresse aussi ma profonde gratitude à mes parrains industriels Mr Amine El Gbouri, Mr Fabien Beccaria et Mr. Souhail Hachami pour leur sympathie, pour leurs orientations avisées et les précieux conseils qui ont fortement contribué à l'accomplissement de ce travail.

Je remercie également tous les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer la pertinence de notre travail.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi aux membres du service CEMB, qui n'ont épargné aucun effort pour nous aider et nous fournir toutes les informations nécessaires pour l'aboutissement de ce projet.

Je remercie aussi le chef département industriel Mr Abdelkrim ait Fares qui m'a beaucoup encouragé pour parvenir à ce résultat positif.

Toute marque de reconnaissance est destinée au corps professoral de FSTF.

Je remercie enfin toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

 *A mes très chers parents...* 

 *A mes sœurs ...* 

 *A ma famille...* 

 *A tous mes amis...* 

 *A FSTF...* 

Résumé

Notre projet a pour objectif d'assurer la faisabilité technique et économique de deux pièces embouties. Il vise la réduction du prix de revient de fabrication et la garantie de la qualité des deux produits pendant l'opération d'emboutissage.

Vu que c'est un projet d'amélioration nous avons utilisé la méthode DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler).

La première étape de notre projet consiste à définir le projet en clarifiant le problème et le besoin du client, et en présentant l'environnement des deux produits. La seconde étape consiste à évaluer l'état actuel des deux produits en effectuant des mesures et en analysant la qualité des deux produits par la simulation d'emboutissage.

À la lumière de cette analyse, nous avons pu proposer des solutions techniques et économiques en vue d'atteindre les objectifs fixés.

Après avoir proposé les améliorations, nous avons vérifié la faisabilité technique des deux pièces, cela nous a donné une pièce faisable techniquement et économiquement.

Abstract

Our project has for objective to assure the technical and economic feasibility of two stamped objects. He aims at the reduction of the cost price of manufacturing and the guarantee of the quality of both products during the operation of collision.

Given that it is a project of improvement we used the method DMAIC (Define, Measure, to Analyze, to Innovate, to Check).

The first stage of our project consists in defining the project by clarifying the problem and the need for the customer, and by presenting the environment of both products. The second stage consists in estimating the current state of both products by making measures and by analyzing the quality of both products by the simulation of collision.

In the light of this analysis, we were able to propose technical and economic solutions.

Introduction générale

L'industrie automobile au Maroc constitue une activité économique importante en développement croissant. Ainsi, dans un milieu industriel de plus en plus compétitif, ALTRAN Maroc se trouve aujourd'hui, dans l'obligation de satisfaire les impératifs : qualité, coût et délai.

Altran se prépare à améliorer son processus de fabrication des pièces automobiles en assurant la bonne qualité et en optimisant le coût de fabrication vis-à-vis des exigences du client PSA. C'est dans cette optique que ce travail s'inscrit, il s'agit d'étudier la faisabilité produit/process des pièces embouties pour l'automobile, nous avons utilisé la démarche DMAIC à travers laquelle nous suivons un enchaînement rationnel des étapes suivantes : Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler.

Pour bien mener à terme ce sujet, nous avons scindé notre travail en quatre chapitres :

Le premier chapitre de ce mémoire sera dédié à la présentation de l'entité d'accueil, le service CEMB, le processus d'emboutissage, ainsi que la démarche du projet DMAIC

A partir du deuxième chapitre nous allons entamer les différentes étapes de la démarche à commencer par l'étape « Définir », où nous allons formaliser le problème en utilisant l'outil QQQQCP, exprimer le besoin du client par le diagramme CTQ, décrire le processus du métier CEMB dans le projet véhicule, présenter l'environnement des deux pièces et ressortir finalement par une charte de projet.

Dans Le troisième chapitre, nous entamons les deux étapes « mesurer » et « analyser » qui consistent à :

- Étudier la faisabilité des poinçonnages en précisant leurs directions (à coulisseau ou en direct) et la faisabilité du tombage dans le cas du renfort serrure
- Mesurer les distances entre les découpes en utilisant des méthodes existantes chez le client PSA
- Calculer prix de revient de fabrication actuelle.
- Evaluer le process en analysant l'état actuel par la simulation d'emboutissage.

Le quatrième chapitre contient les deux étapes « Améliorer » et « contrôler »

L'amélioration a pour but de proposer des solutions pour remédier aux problèmes détectés dans la phase « mesurer » et « analyser », finalement, on va prouver la faisabilité des deux pièces en effectuant des vérifications par la simulation d'emboutissage.

Sommaire

Remerciements	2
Dédicace	3
Résumé	4
Abstract	5
Introduction générale	6
Liste des figures	12
Liste des Tableaux	15
Liste des abréviations	16
Chapitre 1 Présentation de l'entreprise & Description du projet	17
I. Introduction	18
II. Présentation de l'entreprise	18
1. Groupe Altran	18
1.1. L'historique	18
1.2. Branches d'activité	19
2. Altran Maroc	19
2.1. Missions	19
2.2. Faits et chiffres	20
2.3. Locaux d'Altran Maroc	21
2.4. Organigramme générale	21
3. Département industriel	23
3.1. Présentation du département	23
3.2. Ingénierie emboutissage	23
III. Process de fabrication automobile	23
1. Les principales étapes de la production	23
1.1. Emboutissage	23
1.2. Ferrage	24
1.3. Peinture	24
1.4. Montage carrosserie	25
1.5. Contrôle	25

2.	Le Process emboutissage	26
2.1.	Les types de gammes :	26
2.1.1.	Gammes classiques	26
2.1.2.	Gamme de transfert	26
2.1.3.	Gamme OAS	27
2.2.	L’outil d’emboutissage	28
2.3.	Les types de presses	29
2.3.1.	Presse simple effet	29
2.3.2.	Presse double effet	29
2.4.	Les opérations de reprises	29
2.4.1.	Poinçonnage	29
2.4.2.	Ajourage	30
2.4.3.	Détourage	30
2.4.4.	Tombage de bord	30
2.4.5.	Calibrage	31
2.5.	Simulation d’emboutissage	31
2.5.1.	AutoForm	31
2.5.2.	Courbe limite de formage	32
2.6.	Travail en direct	33
2.7.	Travail à coulisseau	33
2.8.	Le prix de revient fabrication (PRF)	34
3.	Description du projet	34
3.1.	Contexte du Projet :	34
3.2.	Présentation du projet	34
3.3.	Cahier de charge :	35
3.4.	Démarche du projet :	35
3.5.	Planification du projet :	36
IV.	Conclusion	37
	Chapitre 2 Définition du projet	38
I.	Introduction	39
II.	Formulation du problème	39
1.	QQOQCP	39
III.	Identification des caractéristiques clés	41
1.	Diagramme CTQ	41
IV.	Description du processus métier	42
1.	Diagramme de SIPOC	42

V.	Identification des produits et de ses environnements.....	43
1.	Le renfort arrière arc pavillon :.....	43
2.	Le Renfort serrure porte avant.....	45
VI.	Equipe du projet.....	46
VII.	La charte du projet	46
VIII.	Conclusion	46
Chapitre 3 Evaluation du processus actuel		47
I.	Introduction.....	48
II.	Analyse de l'existant	48
1.	Phase Mesurer.....	48
1.1.	Faisabilité des poinçonnages	48
1.1.1.	Trous de passages	49
1.1.2.	Trou pilote.....	51
1.1.3.	Résultats.....	53
1.2.	Faisabilité du tombage.....	55
1.3.	Distance entre les découpes	57
1.3.1.	Valeurs X admissibles.....	57
1.3.2.	Valeur Y admissible	60
1.4.	Calcul du coefficient utilisation matière et le prix de la valeur ajoutée	63
1.4.1.	Prix de la valeur ajoutée	63
1.4.2.	Calcul du coefficient utilisation de matière	64
2.	Phase Analyser.....	65
2.1.	Analyse des défauts par simulation d'emboutissage.....	65
2.1.1.	Simulation d'emboutissage du renfort arrière arc pavillon	65
2.1.2.	Simulation d'emboutissage du renfort serrure porte avant.....	67
III.	Conclusion	68
Chapitre 4 Mise en œuvre des améliorations		69
I.	Introduction.....	70
II.	La Phase d'amélioration	70
1.	Améliorations du process	70
1.1.	Amélioration CUM	70
1.1.1.	Amélioration CUM du renfort serrure porte avant.....	70
1.1.2.	Amélioration CUM du renfort Arrière Arc Pavillon.....	72
1.2.	Optimisation du prix d'outillages.....	74
1.2.1.	Modification de la direction de poinçonnage du renfort arrière arc pavillon	75

2.	Améliorations du produit.....	76
2.1.	Améliorations sur le renfort arrière arc pavillon	76
2.1.1.	L'apport des améliorations nécessaires pour remédier aux défauts	76
2.2.	Améliorations sur le renfort serrure porte avant	81
2.2.1.	L'apport des améliorations nécessaires pour remédier aux défauts	81
III.	Phase : contrôler	84
1.	Renfort serrure porte avant.....	84
2.	Renfort arrière arc pavillon.....	85
2.1.	Modification du matériau du renfort arrière arc pavillon	86
2.2.	La vérification après modification du matériau	88
IV.	Conclusion	88
	Conclusion Et Perspectives	89
	Bibliographie	90
	Annexe 1 : règle des 3P	91
	Annexe 2 : Règle d'échancrage.....	93

Liste des figures

Figure 1 : Implantation d'Altran dans le monde	18
Figure 2 : chiffres clés d'Altran Maroc	20
Figure 3 : solution principale Altran Maroc	20
Figure 4 : Les locaux d'Altran Maroc au parc Casa Near shore	21
Figure 5 : Organigramme générale de la direction Altran Maroc	22
Figure 6 : organigramme du département industriel	23
Figure 7 : emboutissage d'une aile avant	23
Figure 8 : Ligne de ferrage PSA	24
Figure 9 : département peinture PSA	24
Figure 10 : Montage carrosserie PSA	25
Figure 11 : contrôle d'un véhicule	25
Figure 12 : Vue d'ensemble de la ligne de production d'une automobile	26
Figure 14 : Presse transfert à ventouse	27
Figure 14 : Presse transfert à doigts	27
Figure 15 : outil à suivre	27
Figure 16 : l'outil d'emboutissage d'une doublure de capot	28
Figure 17 : outil simple effet	29
Figure 18 : presse double effet	29
Figure 19 : Poinçonnage et ajourage d'une pièce	30
Figure 20 : détournage d'une pièce emboutie	30
Figure 21 : opération de tombage de bord d'une pièce	30
Figure 22 : tombage de bord dans le cas d'une ligne courbe	31
Figure 23 : simulation d'emboutissage d'une pièce avec AutoForm	32
Figure 24 : courbe limite de formage	32
Figure 25 : détournage en direct	33
Figure 26 : poinçonnage à came	33
Figure 27 : Démarche DMAIC	35
Figure 28 : planification des tâches du projet	36
Figure 29 : le schéma qui explique la problématique du sujet	41
Figure 30 : Diagramme CTQ	42
Figure 31 : Diagramme SIPOC	43
Figure 32 : renfort arrière arc pavillon (DFNUc)	43
Figure 33 : Position du renfort dans le véhicule	44
Figure 34 : l'environnement du renfort arrière arc pavillon	44
Figure 35 : la position du renfort serrure dans la porte	45
Figure 36 : renfort serrure porte avant (DFNUc)	45
Figure 37 : l'environnement du renfort serrure	45

Figure 38 : paramètres pour la précision de la direction du poinçonnage	49
Figure 39 : l'angle d'inclinaison α du premier trou de passage	49
Figure 40 : le diamètre ΦD du premier trou de passage	50
Figure 41 : l'angle d'inclinaison α du deuxième trou de passage	50
Figure 42 : le diamètre ΦD du deuxième trou de passage	50
Figure 43 : l'angle d'inclinaison α du troisième trou de passage	51
Figure 44 : le diamètre ΦD du troisième trou de passage	51
Figure 45 : l'angle d'inclinaison α du trou pilote	52
Figure 46 : le diamètre ΦD du troisième trou pilote	53
Figure 47 : limite de poinçonnage trous réalisés	53
Figure 48 : les trois derniers trous de passages	54
Figure 49 : le bord tombé en rétreint	55
Figure 50 : la hauteur H du bord tombé	56
Figure 51 : le rayon de courbure R_c du bord tombé	56
Figure 52 : faisabilité d'un bord en retreint	57
Figure 53 : distances entre découpes	57
Figure 54 : la distance X entre le poinçonnage et l'ajourage	58
Figure 55 : la largeur d'ajourage L	58
Figure 56 : la distance X entre le détournement et l'ajourage	59
Figure 57 : valeurs X admissibles	59
Figure 58 : les différents cas d'un tombage	60
Figure 59 : l'angle d'inclinaison α du bord tombé	61
Figure 60 : la distance Y entre détournement et tombage	61
Figure 61 : la hauteur H du bord tombé	61
Figure 62 : valeurs Y admissibles entre tombage et détournement	63
Figure 63 : résultats de simulation associé à la force de serrage nominal	65
Figure 64 : résultats de simulation avec un FAT TEST -10%	66
Figure 65 : résultats de simulation avec un FAT TEST +30%	67
Figure 66 : résultats de simulation du renfort serrure porte avant	67
Figure 67 : process actuel du renfort serrure porte avant	70
Figure 68 : process du renfort serrure porte avant après amélioration	71
Figure 69 : process actuel du renfort arrière arc pavillon	72
Figure 70 : modification sur le renfort arrière arc pavillon	73
Figure 71 : l'environnement à respecter pour l'augmentation du rayon	77
Figure 72 : règle pour les rayons	77
Figure 73 : l'angle d'ouverture	77
Figure 74 : distance entre PSE et fin de rayon	78
Figure 75 : la simulation du renfort serrure porte avant après les améliorations	84
Figure 76 : la simulation avec la force de serrage nominal après les améliorations	85

Figure 77 : la simulation avec FATTEST +30% après les améliorations	85
Figure 78 : premier filtrage du choix de matériau	86
Figure 79 : deuxième filtrage du choix de matériau	87
Figure 80 : dernier filtrage du choix de matériau	87
Figure 81 : simulation du renfort arrière arc pavillon après modification du matériau	88

Liste des Tableaux

Tableau 1 : classification des matériaux selon PSA.....	32
Tableau 2 : Equipe du projet.....	46
Tableau 3 : charte du projet.....	46
Tableau 4: le nouveau coefficient utilisation de matière et le gain du renfort serrure porte avant.....	72
Tableau 5 : le nouveau coefficient utilisation de matière et le gain du renfort arrière arc pavillon.....	74
Tableau 6 : solutions proposées pour modifier la direction du poinçonnage.....	75
Tableau 7 : le nouveau cout d'outillages du renfort arrière arc pavillon.....	76
Tableau 8 : solutions proposées pour le défaut d'épaissement.....	78
Tableau 9 : solutions proposées pour l'impossibilité de détournage.....	80
Tableau 10 : solutions proposées pour la casse de bord.....	82

Liste des abréviations

CATIA :	COMPUTER AIDED THREE-DIMENSIONAL INTERACTIVE APPLICATION
CAO :	CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR
MAP :	MISE AU POINT
AMC :	ACCORD MONTEE EN CADENCE
CLF :	COURBE LIMITE DE FORMAGE
PRF :	PRIX DE REVIENT DE FABRICATION
CUM :	COEFFICIENT UTILISATION DE MATIERE
VA :	VALEUR AJOUTEE
DMAIC :	DEFINIR MESURER ANALYSER INNOVER CONTROLER
QQOCCP :	QUOI ? QUI ? OÙ ? QUAND ? COMMENT ? COMBIEN ? POURQUOI ?
CTQ :	CRITICAL To QUALITY
SIPOC :	SUPPLIER INPUT PROCESS OUTPUT CUSTOMERS
DFN :	DEFINITION FORME NUMERISE
JRO :	JALON REALISATION OUTILLAGES
FATTEST :	SIMULATION AVEC LA VARIATION DU SERRAGE DU FLAN

1

Chapitre 1 Présentation de l'entreprise & Description du projet

I. Introduction

Dans ce premier chapitre introductif, nous commençons par une brève présentation du groupe ALTRAN et de l'organisme d'accueil ALTRAN MAROC, Il est également indispensable de décrire le process de fabrication automobile ainsi que le process d'emboutissage.

Nous présentons par la suite le projet et le cahier des charges du projet ainsi que le planning qu'on va suivre pour bien gérer la durée du projet.

II. Présentation de l'entreprise

1. Groupe Altran

Altran est un groupe international et le leader mondial du conseil en innovation et ingénierie avancée, il accompagne les entreprises dans leurs processus de création et développement de nouveaux produits et services.

Le groupe Altran est présent dans plus de 20 pays, répartis en Europe, en Amérique latine, aux États-Unis et en Asie.



Figure 1 : Implantation d'Altran dans le monde

1.1. L'histoire

Fondée en France en 1982 autour de deux idées : l'innovation comme facteur de différenciation décisif pour les entreprises, et la capacité à mobiliser les meilleurs talents comme condition de succès, Altran s'est imposé rapidement comme le leader de son secteur en inventant le métier du conseil en technologies.

À partir de 1993, Altran développe sa présence en Europe en s'implantant en Belgique, en Espagne (1994), en Italie, en Suède, en Suisse (1995), en Allemagne et en Grande-Bretagne (1996).

En 1997, Altran est présent dans 10 pays. En 1996, Altran crée IMA, l'institut pour le management Altran et la Fondation Altran pour l'Innovation. En 1998, Altran Technologies déploie un réseau de télécoms au Portugal.

En 2012, dans le cadre du Plan de Performance 2012, **PSA Peugeot Citroën** choisit Altran comme partenaire stratégique. En février 2015, Altran acquiert Nspyre, leader néerlandais de la R&D et des hautes technologies.

1.2. Branches d'activité

Altran accompagne les entreprises tout au long de leur processus d'innovation, allant de la veille technologique, la recherche fondamentale appliquée, à la préparation de l'industrialisation jusqu'aux procédés de fabrication et ce, dans la plupart des secteurs d'activité : automobile, ferroviaire, aéronautique, spatiale, télécoms...

2. Altran Maroc

2.1. Missions

A travers son implantation au Maroc, Altran a souhaité disposer d'une plateforme Near shore afin d'accompagner le développement international du groupe dans les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et du transport. Il s'agit en effet d'accompagnement des clients Altran dans leur stratégie d'innovation, d'optimisation de coût et d'internationalisation.

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 offshoring mise en place par le gouvernement marocain offrant des avantages optimisant fortement la composante compétence / coût (spécialisation des parcours supérieurs dans les métiers de l’offshoring, plans de formation, attractivité des salaires, fiscalité, ...)

A moins de 3h d’avion des principales capitales européennes, ainsi qu’à moins de 2h de jetlag et dans une forte proximité culturelle et linguistique avec l’Europe, Altran Maroc s’intègre comme une extension d’Altran Europe.

2.2. Faits et chiffres

Les chiffres clés d’Altran Maroc sont résumés dans la figure :



Figure 2 : chiffres clés d’Altran Maroc

Les solutions principales d’Altran Maroc couvrent quatre domaines technologiques principaux :

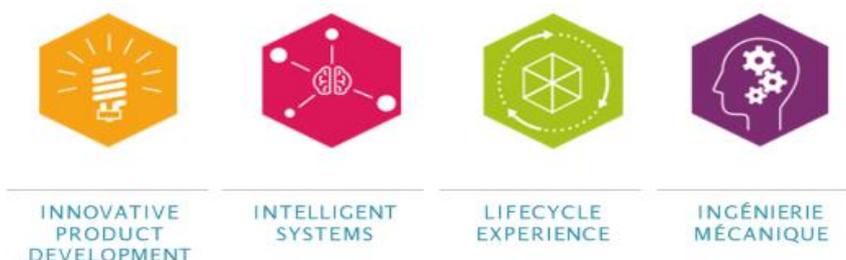


Figure 3 : solution principale Altran Maroc

2.3. Locaux d'Altran Maroc

Altran Maroc est installé au parc casa Near shore à Casablanca, capitale économique du Maroc. Ce parc dédié aux activités de Near shore (BPO, ITO...) avec plus de 300 000 m² de bureaux, est le plus grand parc de ce type au Maroc et en Afrique du Nord. Il se caractérise également par une proximité de l'aéroport international de Casablanca et des principaux accès autoroutiers.

Nos locaux offrent un cadre de travail aux standards européens avec des facilités technologiques (fibre optique, salles de visio-conférence équipée...) et des espaces de vie (kitchenettes, espace d'échanges...).

Le choix d'aménagement a été motivé par le travail collaboratif, la performance et le respect mutuel (OPEN SPACE aérés par type d'activité, salles de réunion...). La sécurité est une composante importante des locaux aussi bien sur les aspects physiques (contrôle d'accès, salle blanche pour les équipements informatiques...) que les aspects logiques (VPN, firewall...).



Figure 4 : Les locaux d'Altran Maroc au parc Casa Near shore

2.4. Organigramme générale

L'organigramme général comporte une direction générale qui supervise les différentes directions et divisions de l'entreprise :

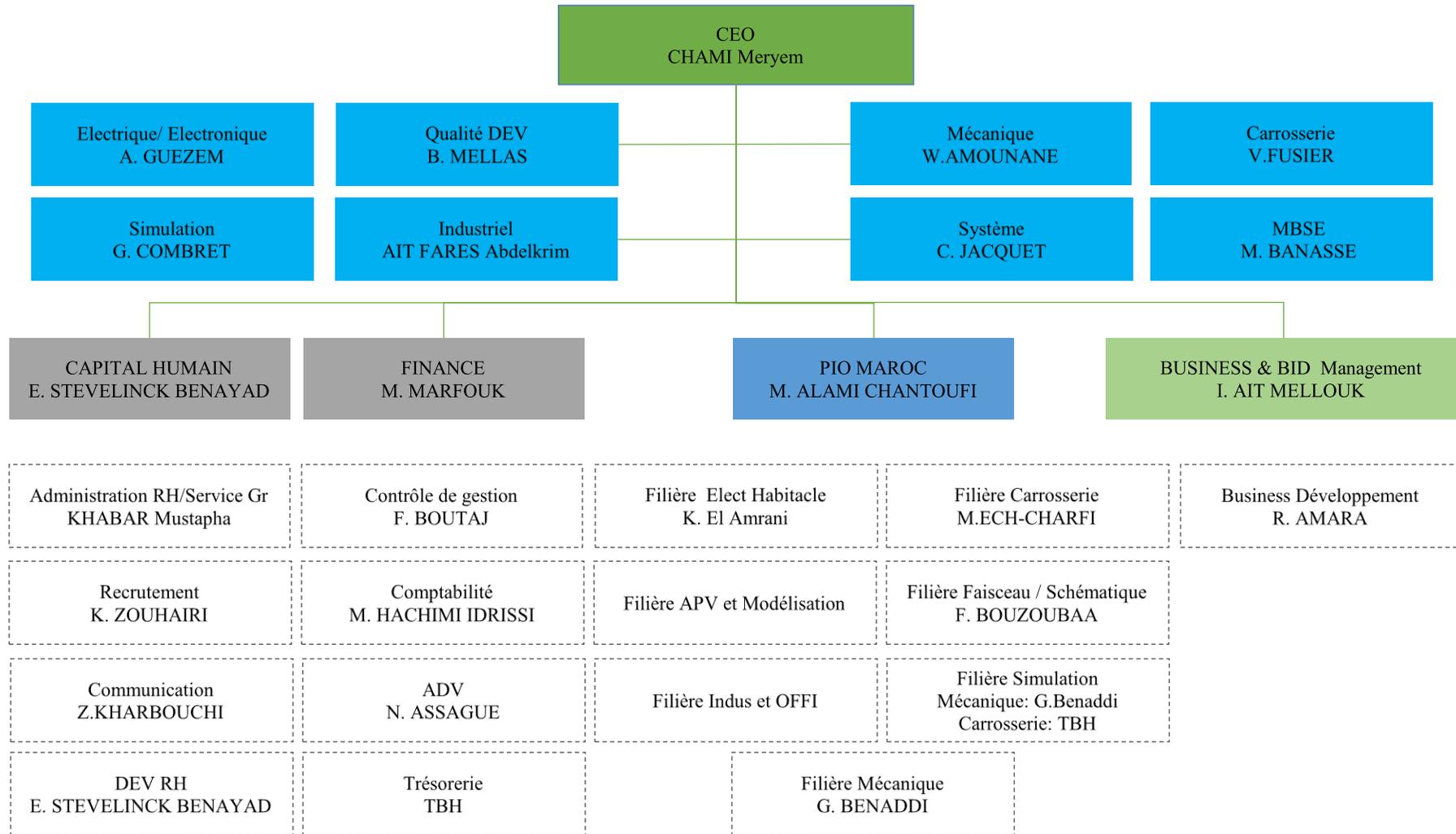


Figure 5 : Organigramme générale de la direction Altran Maroc

3. Département industriel

3.1. Présentation du département

L'objectif du département industriel est d'assurer la faisabilité produit process en collaboration avec les autres métiers.

L'organisation du département industriel est présentée comme suit :

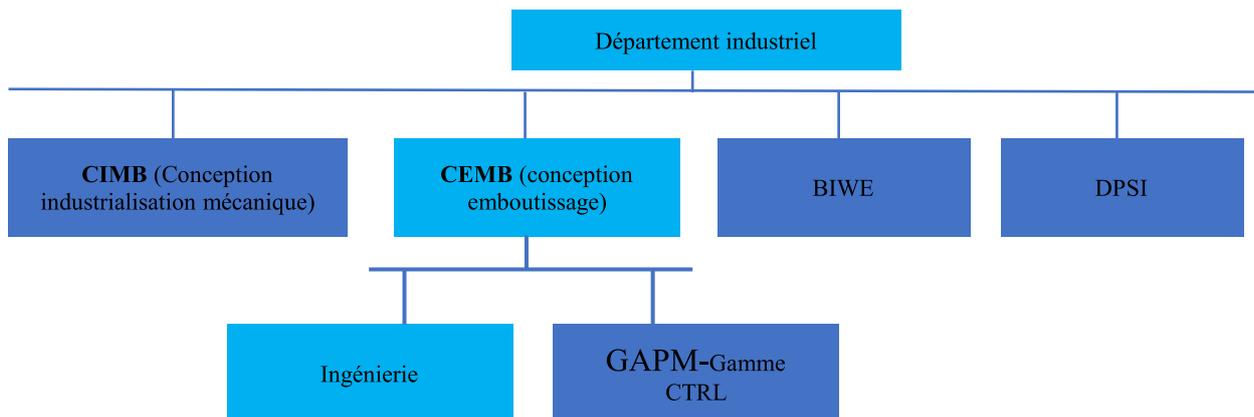


Figure 6 : organigramme du département industriel

3.2. Ingénierie emboutissage

Le service d'ingénierie emboutissage a été créé en 2015 afin d'assurer la faisabilité produit process et la réalisation des outils d'emboutissage en collaboration avec d'autres métiers (bureau d'étude, géométrie, ferrage, montage...).

III. Process de fabrication automobile

1. Les principales étapes de la production

1.1. Emboutissage

Livrée sous forme de rouleaux, la tôle d'acier est d'abord découpée en plaques ou "flans", avant de passer dans les lignes d'emboutissage. Là, prennent forme toutes les pièces qui constitueront la caisse du véhicule : côtés, planchers, ailes, portières.



Figure 7 : emboutissage d'une aile avant

1.2. Ferrage

Les pièces de tôle issues de l'atelier d'emboutissage constituent un puzzle qu'il reste maintenant à assembler pour constituer la "caisse en blanc", prête à peindre. C'est dans cet atelier très robotisé que démarre véritablement la ligne de production.



Figure 8 : Ligne de ferrage PSA

1.3. Peinture

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



Figure 9 : département peinture PSA

1.4. Montage carrosserie

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 autre site.



Figure 10 : Montage carrosserie PSA

1.5. Contrôle

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.



Figure 11 : contrôle d'un véhicule

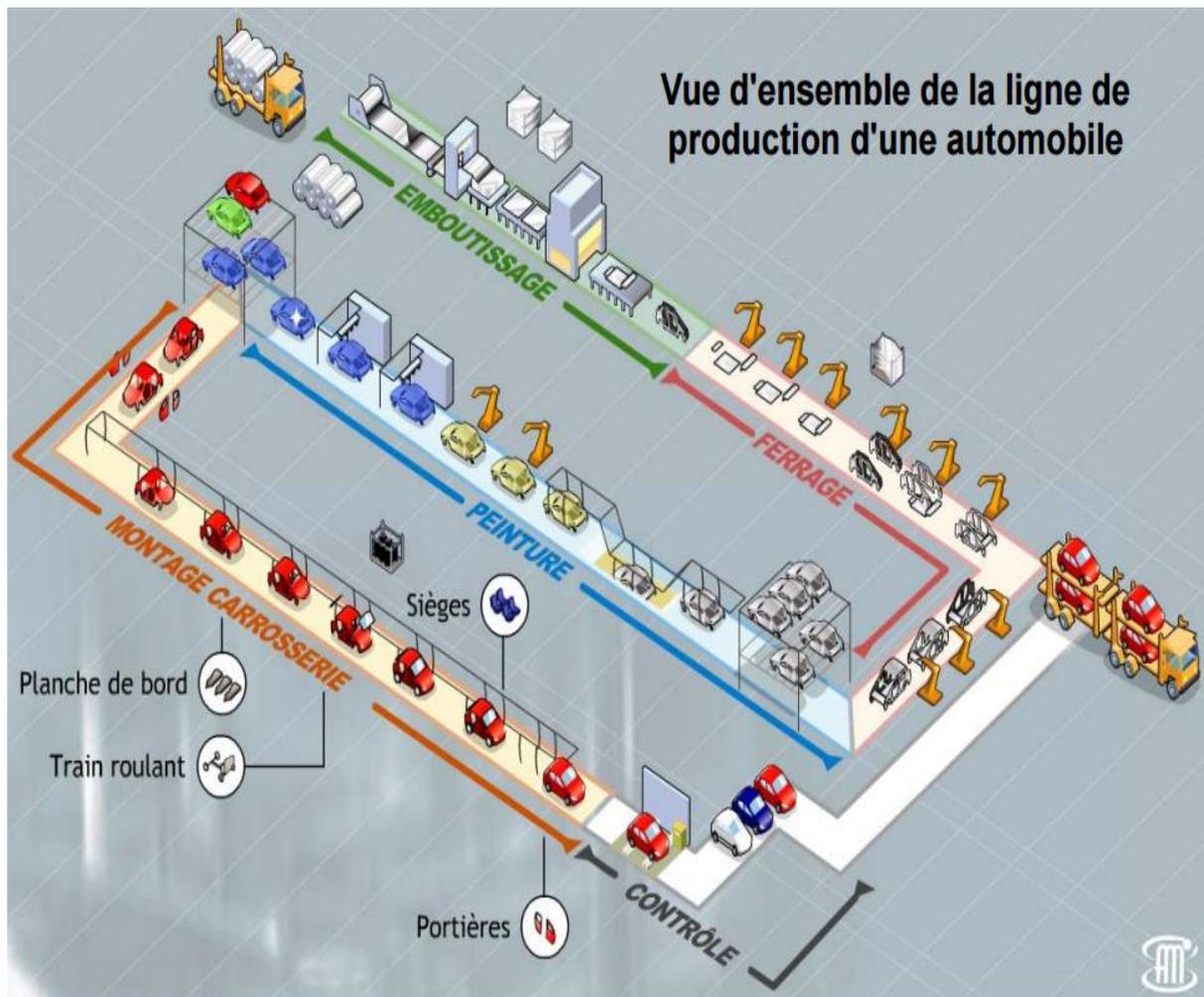


Figure 12 : Vue d'ensemble de la ligne de production d'une automobile

2. Le Process emboutissage

2.1. Les types de gammes :

2.1.1. Gammes classiques

Elle se caractérise par une seule opération par presse, et le transfert de la pièce d'une presse à l'autre se fait par bras robotisé, avec une cadence peu élevée qui peut aller jusqu'à 15 coups par minute.

2.1.2. Gamme de transfert

Elle se caractérise par un regroupement de toutes les opérations sous une seule presse, et le transfert de la pièce d'un poste à l'autre se fait par **ventouses** ou **doigts**, avec une cadence un peu plus élevée qui peut aller jusqu'à 25 coups par minute.



Figure 14 : Presse transfert à doigts

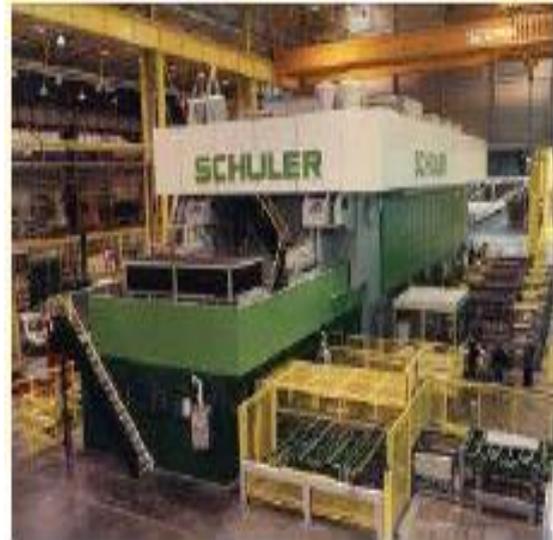


Figure 14 : Presse transfert à ventouse

2.1.3. Gamme OAS

Elle se caractérise par un regroupement de toutes les opérations dans un seul outil sous une seule presse, et le transfert de la pièce d'un poste à l'autre se fait par l'avance de la bande, avec une cadence élevée qui peut aller jusqu'à 80 coups par minute.



Figure 15 : outil à suivre

- a) **Les pièces concernées pour les outils classiques et de transfert**
 - **Pièces d'aspect ou de structure.**
 - **Pièces nécessitant beaucoup d'efforts d'emboutissage.**
 - **Pièces embouties.**
- b) **Les pièces concernées pour les outils à suivre**
 - **Pièces plutôt longues et étroites car la bande avance rapidement.**
 - **Pièces peu profondes ce qui permet les cadences rapides.**
- c) **Caractéristique des outils classiques et de transfert**
 - **Possibilité de balance de la pièce entre postes pour pouvoir faire le travail en direct.**
- d) **Caractéristiques des outils à suivre**
 - **Nécessité d'avoir des attaches.**
 - **La pièce doit résister à la chute.**
 - **Pas de réel serre flan.**
 - **Pas ou peu de possibilité de balance.**

2.2. L'outil d'emboutissage

L'outil d'emboutissage se compose de trois parties :

- Une matrice : **Prend la forme extérieure de la pièce voulue**
- Un poinçon : **ayant la forme intérieure de la pièce voulue**
- Le serre-flan : **il a le rôle de maintenir le flan afin d'éviter les risques de plis et de défauts d'emboutissage.**



Figure 16 : l'outil d'emboutissage d'une doublure de capot

2.3. Les types de presses

2.3.1. Presse simple effet

Elle se caractérise par la montée de la matrice sur le coulisseau, et la monte du poinçon sur le bâti de la presse, et un serre-flan mobile sur des chandelles ou ressorts à gaz.

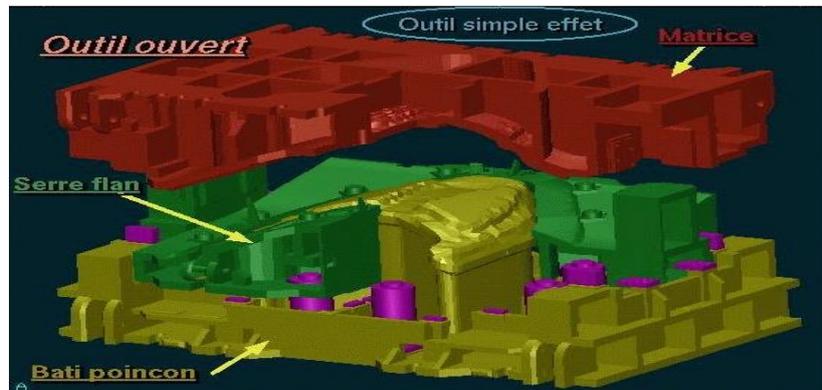


Figure 17 : outil simple effet

2.3.2. Presse double effet

Elle se caractérise par la montée de la matrice sur le plateau inférieur, et la monte du poinçon sur le coulisseau plongeur, et un serre-flan monté sur le coulisseau serre flan.

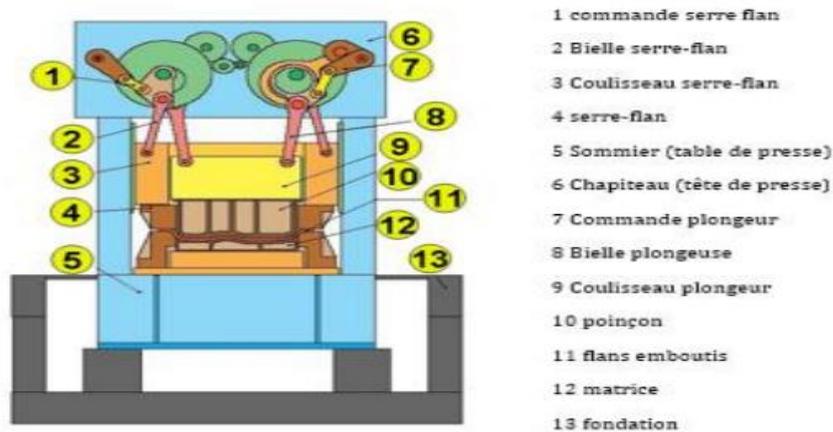


Figure 18 : presse double effet

2.4. Les opérations de reprises

2.4.1. Poinçonnage

C'est une opération de découpe qui consiste à découper des trous de petite dimension (≤ 35 mm).

2.4.2. Ajourage

C'est une opération de découpe qui consiste à découper des trous de grande dimension (> 35 mm)

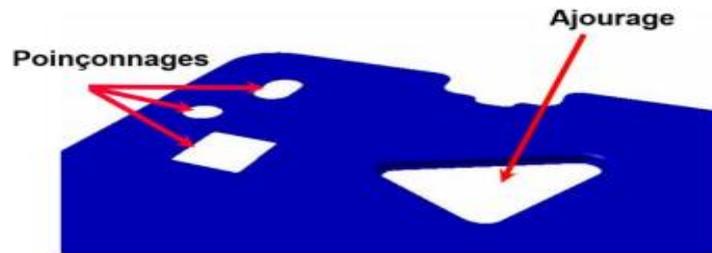


Figure 19 : Poinçonnage et ajourage d'une pièce

2.4.3. Détourage

C'est l'élimination des parties devenues inutiles.



Figure 20 : détourage d'une pièce emboutie

2.4.4. Tombage de bord

Le tombage de bord n'est rien d'autre qu'un pliage, sauf qu'un tombage peut ne pas être rectiligne.

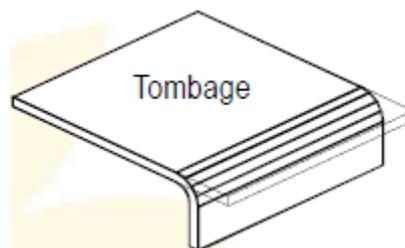


Figure 21 : opération de tombage de bord d'une pièce

La ligne de tombage ou de relevage peut être **rectiligne** (pliage) ou **courbe**

Lorsque la ligne est courbe, le bord peut subir des contraintes d'allongement $A'B' > AB$ ou de rétreint $A'B' < AB$.

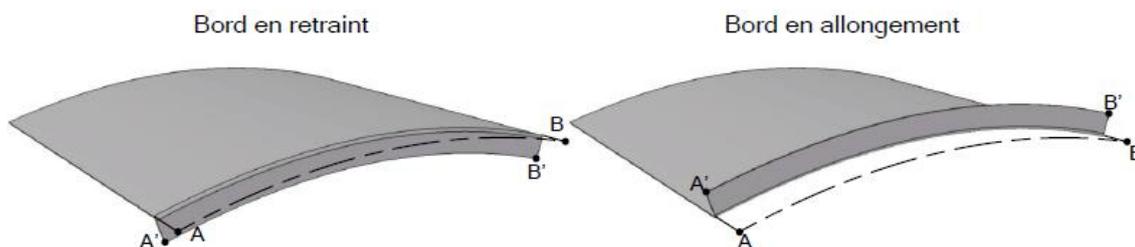


Figure 22 : tombage de bord dans le cas d'une ligne courbe

2.4.5. Calibrage

Opération d'emboutissage de faible amplitude assurant la conformité géométrique

2.5. Simulation d'emboutissage

2.5.1. AutoForm

Dans le domaine de l'emboutissage, le groupe PSA s'appuie sur l'approche numérique pour la conception et l'optimisation de ses process. Le logiciel AutoForm, leader mondial en conception et simulation de formage de tôle, est utilisé depuis plus de 12 ans par PSA Peugeot Citroën en France, et plus récemment en Chine et au Brésil. Cette solution est importante pour étudier très en amont la faisabilité des process d'emboutissage puis les valider numériquement ; elle participe ainsi à la réduction des délais et coûts de développement, de mise au point et de mise en production. La nouvelle interface de la ligne produit AutoFormplus permet désormais de gérer la notion de standards. D'une manière générale, qu'ils soient destinés à une utilisation en interne chez les donneurs d'ordres ou en externe pour les fournisseurs, ces standards peuvent être définis pour l'ensemble de la simulation : pour les paramètres matériaux, de mise en donnée process ou de simulation, ainsi que pour l'analyse des résultats. Chez PSA Peugeot Citroën, cette nouveauté a immédiatement démontré son intérêt. En effet, Frédéric Guillon (Spécialiste Simulation Process Emboutissage) indique : « Le respect des standards est une valeur forte chez PSA Peugeot Citroën. Avec la version AutoFormplus R5, la fonctionnalité « standards » permet d'assurer une communication optimale avec nos fournisseurs. Elle nous amène à améliorer notre productivité et notre efficacité »

Grâce à la nouvelle ligne produit d'AutoForm, PSA Peugeot Citroën améliore sa productivité et son efficacité en intégrant la prise en compte et la vérification de ses standards par une fonctionnalité dédiée du logiciel.

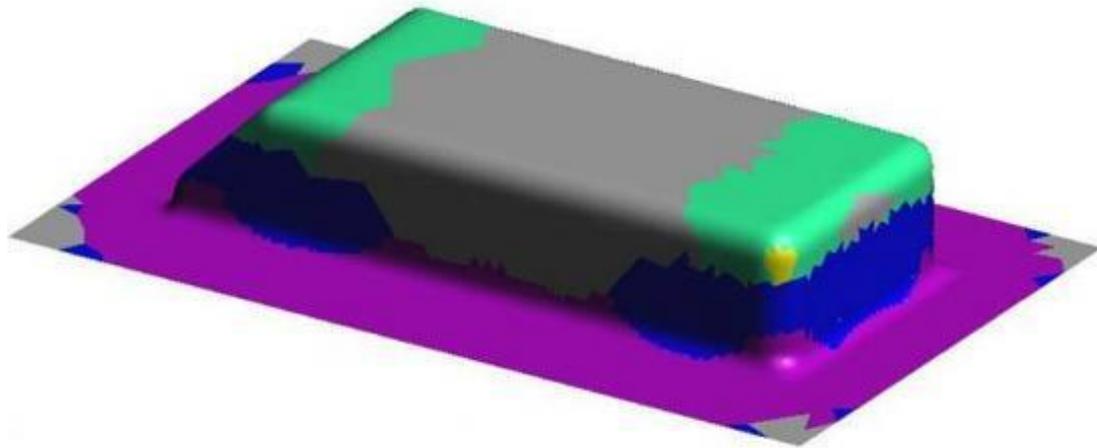


Figure 23 : simulation d'emboutissage d'une pièce avec AutoForm

2.5.2. Courbe limite de formage

Le but de la simulation d'emboutissage est d'évaluer le process d'emboutissage en détectant les défauts et les zones qui sont critiques afin d'optimiser le process d'emboutissage et garantir la sécurité des pièces.

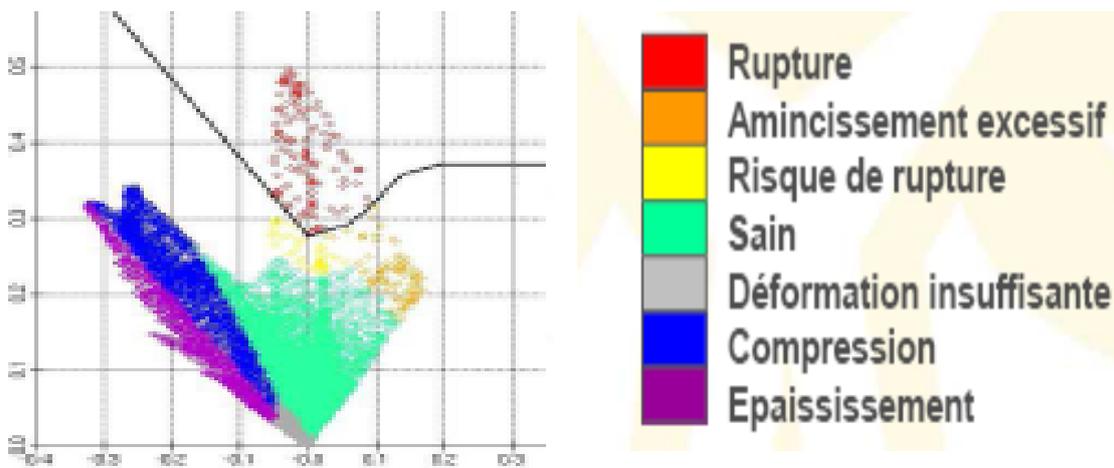


Figure 24 : courbe limite de formage

a) Classification des matériaux

Classe PSA	Doux	HLE	THLE	UHLE
Rp0,2 (MPa)	≤210	210 - 350	350 - 550	≥550

Tableau 1 : classification des matériaux selon PSA

2.6. Travail en direct

L'élément mobile travaille « en direct », c'est à dire selon la direction de travail verticale de la presse sur laquelle il est monté. La pièce est souvent « basculée » dans le référentiel outil pour obtenir la direction de travail souhaitée, comme on peut le voir sur la figure 2

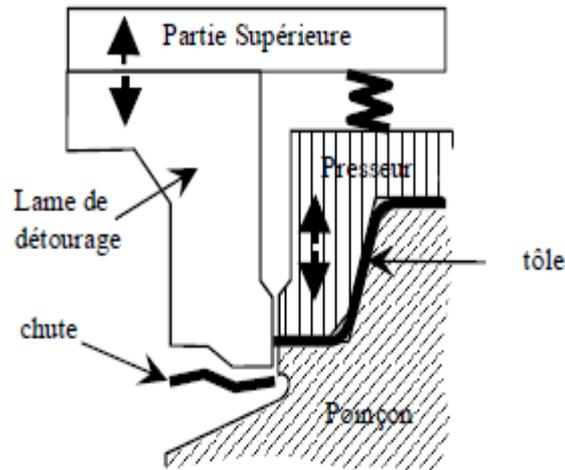


Figure 25 : détourage en direct

Cette solution permet des outillages simples et économiques.

2.7. Travail à coulisseau

L'élément mobile travaille selon une autre direction que celle de la presse. L'effort fourni par la presse est renvoyé dans la direction de travail grâce à un système de came et de coulisseau, comme on peut le voir sur la figure 3

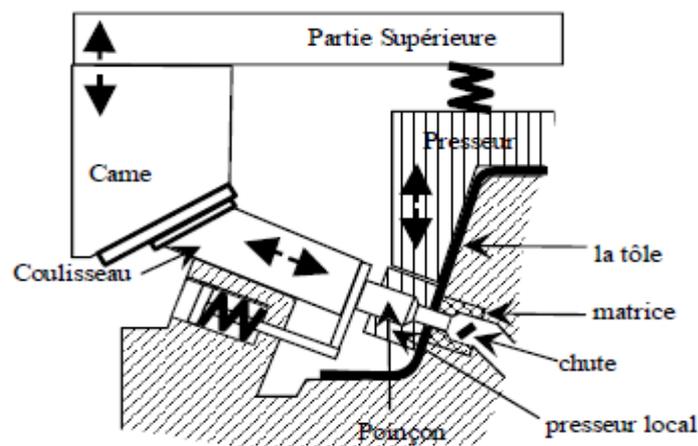


Figure 26 : poinçonnage à came

Cette solution est plus coûteuse.

2.8. Le prix de revient fabrication (PRF)

Le PRF d'une pièce de tôle emboutie est en fonction de deux paramètres essentiels :

- La valeur ajoutée (**VA**) qui est directement liée au prix d'outillages utilisées
- Le coefficient utilisation de matière (**CUM**)

Masse nette : C'est la masse de la pièce finie.

Masse brute : $\rho \cdot \text{largeur bobine} \cdot \text{pas de découpe} \cdot e$:

CUM : C'est le rapport Masse nette / Masse brute.

Durant notre étude, on s'intéresse à optimiser **la matière** en augmentant **le coefficient utilisation de matière** et en diminuant le coût d'outillage qui représentent **90%** du **PRF**.

3. Description du projet

3.1. Contexte du Projet :

Afin d'opérer avec excellence les projets et satisfaire les clients notamment le principal client **PSA** et garantir une bonne qualité, Altran a lancé des projets qui visent à atteindre l'excellence en termes de qualité, coût et délai.

C'est dans cette perspective que s'inscrit mon projet qui a pour objectif d'étudier la faisabilité produit/process des pièces automobiles de plusieurs gammes.

3.2. Présentation du projet

Notre projet se déroule dans le service conception emboutissage (CEMB). Le client **PSA** est exigeant concernant la qualité des produits, ainsi que la date de livraison. Les défauts apparus pendant l'opération d'emboutissage influence sur la qualité d'aspect de la pièce ainsi que l'assemblage final du véhicule, la conception de la pièce ne prend pas en compte la faisabilité économique de la pièce ce qui augmente le prix de revient de fabrication (PRF)

3.3. Cahier de charge :

Ce projet vise à :

Evaluer la faisabilité produit/process de deux pièces embouties (renfort arrière arc pavillon et le renfort serrure) en respectant l'environnement de ces derniers.

L'étude se base sur deux axes principaux :

- ✓ Éviter les défauts qui peuvent influencer sur la qualité du produit et sur l'assemblage final du véhicule, en utilisant la simulation d'emboutissage, et proposer des améliorations.
- ✓ Optimiser le prix de revient de fabrication (PRF) en optimisant le coefficient utilisation de matière (CUM) et le nombre d'outils par gamme.

3.4. Démarche du projet :

DMAIC est une méthode de résolution des problèmes utilisée dans le cadre de projets Lean six sigma

Elle repose sur une démarche structurée en 5 étapes que voici :

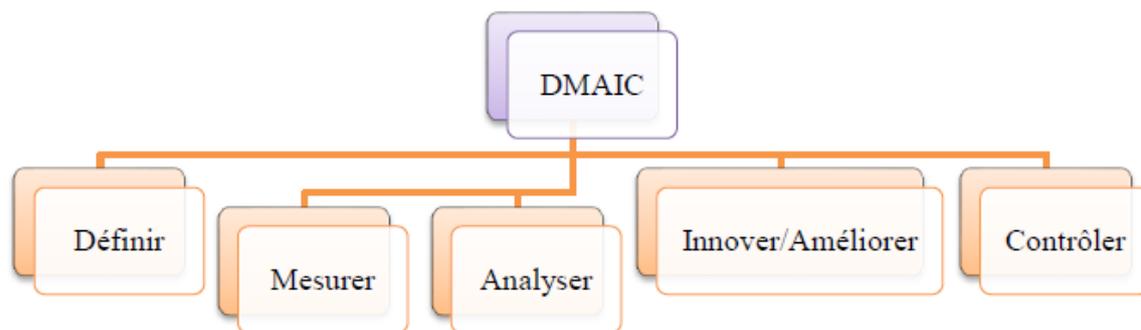


Figure 27 : Démarche DMAIC

- Définir : définition du problème, et des objectifs associés, les attentes des clients du processus, ainsi que l’environnement des pièces embouties.
- Mesurer : cette phase consiste à rassembler les informations et définir les paramètres qui influencent sur la faisabilité produit\process, ainsi que mise en œuvre de la collecte des données.
- Analyser : analyser la situation actuelle des deux pièces embouties et les objectifs fixés, afin d’Identifier les causes des problèmes pour y remédier.
- Améliorer : mettre en place des solutions pour éviter les défauts apparus pendant l’opération d’emboutissage et pour optimiser le prix de revient de fabrication.
- Contrôler : Cette phase essentielle vise à évaluer le process et suivre les résultats des solutions mises en œuvre.

3.5. Planification du projet :

J’ai planifié les tâches que je dois effectuer en utilisant le logiciel MS PROJECT, en résumant ces étapes sous forme d’un diagramme GANT.

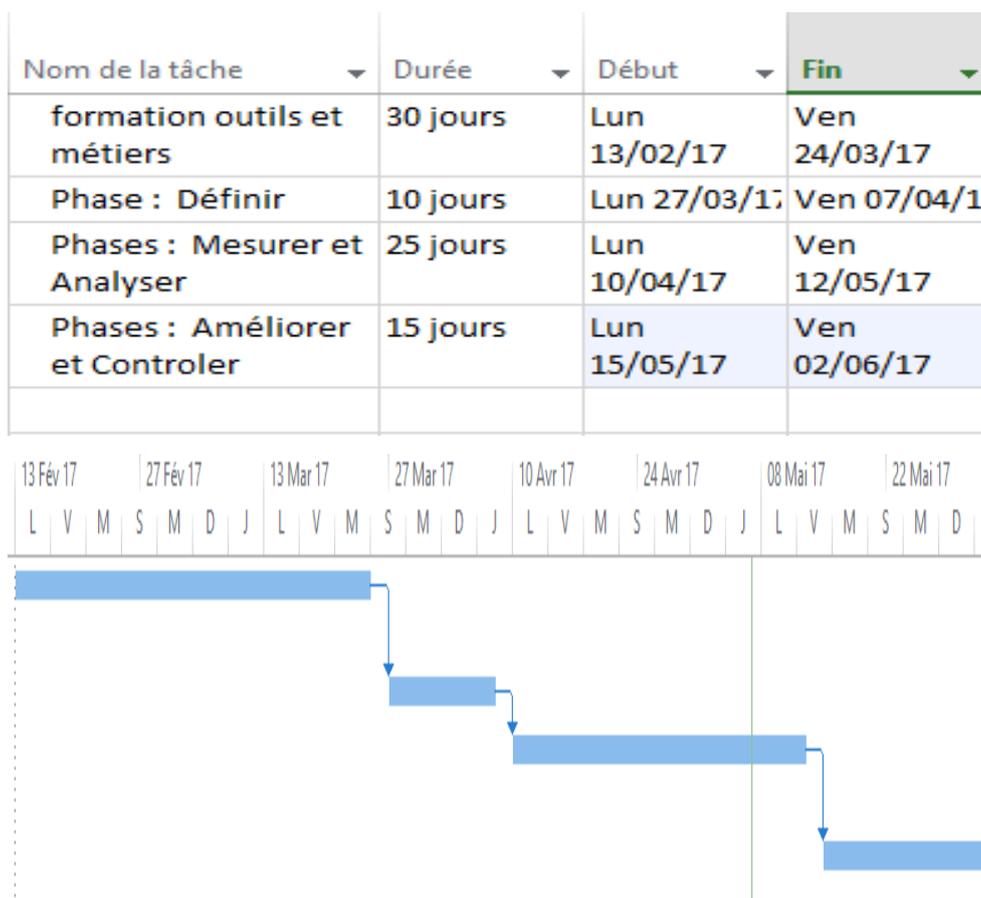


Figure 28 : planification des tâches du projet

IV. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur l'organisme d'accueil et le service CEMB, ainsi le process d'emboutissage, ensuite nous avons fait une description du projet, ainsi que la démarche adoptée pour la résolution du problème, et finalement le planning suivi pour réussir le projet de fin d'étude.

2

Chapitre 2 Définition du projet

I. Introduction

La première étape de la démarche DMAIC dessine le contour du projet, le fonctionnement du processus, l'organisation et les objectifs à atteindre. Les principaux axes de cette phase sont : l'identification des besoins, la définition du problème, La formalisation claire du besoin du client, l'identification de l'environnement des deux pièces embouties, la constitution d'une équipe. De nombreux outils de qualité seront utilisés dans cette partie tels que : la charte du projet, le diagramme SIPOC, le diagramme CTQ et le QQQQCP.

II. Formulation du problème

La formulation du problème est une étape indispensable pour tout projet, car Il est impossible de trouver une solution adéquate à un problème mal défini. C'est pourquoi l'ingénieur consacre généralement beaucoup de temps à la formulation du problème.

1. QQQQCP

QQQQCP est un outil qui permet de bien clarifier le problème en adoptant une attitude interrogative systématique, en posant les questions suivantes :

Q = Quoi ? De quoi s'agit-il ? Quel est le défaut ?

Q = Qui ? Qui est concerné ?

O = Où ? Où cela se produit-il ? Où est-ce localisé ?

Q = Quand ? Quand est-ce que cela s'est produit ? A quelle fréquence ?

C = Comment ? Comment cela arrive-t-il ? Comment l'a-t-on détecté ?

P = Pourquoi ? Pourquoi cela s'arrive-t-il ? Pourquoi ne l'a-t-on pas détecté avant

Quoi ?	Assurer la faisabilité produit\process des pièces embouties Garantir la qualité d'aspect de la pièce
Qui ?	Département industriel Service CEMB Mohamed BOUZAFFOUR
Où ?	Plateau CEMB
Quand ?	Mars à Juin 2017
Comment ?	Analyse et diagnostic de l'état actuel des deux pièces et la mise en œuvre des actions d'améliorations.
Pourquoi ?	Parce que le prix de revient de fabrication de la DFNuc (première pièce reçue par le concepteur) est élevé Retours du client aval (ferrage, montage...) et du client PSA.

Tableau : QQQQCP

La figure 29 présente la problématique du sujet

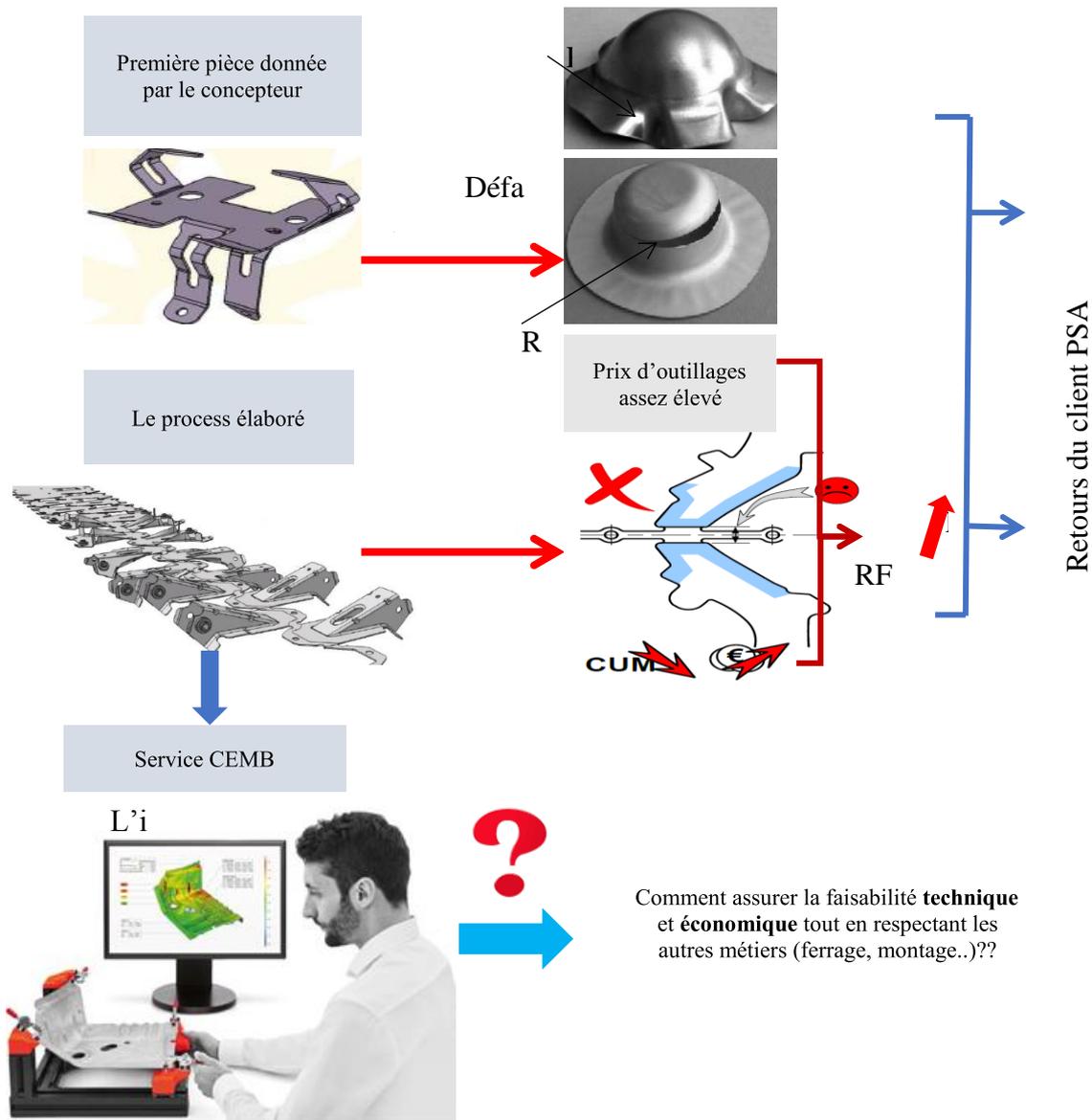


Figure 29 : le schéma qui explique la problématique du sujet

III. Identification des caractéristiques clés

La réussite d'un tel projet nécessite dans un premier lieu, une définition claire des objectifs ainsi qu'une identification précise des sources de problèmes. Pour cela, il faut clarifier un certain nombre de points :

Quelles sont les caractéristiques critiques pour le client, leurs cibles, leurs limites ?

1. Diagramme CTQ

Le diagramme CTQ a pour objectif de décomposer le besoin du client en exigences (qualité, coût, délais) qui doivent pouvoir être mises en face de caractéristiques. Pour chacune de ces caractéristiques, on doit pouvoir déterminer une spécification limite.

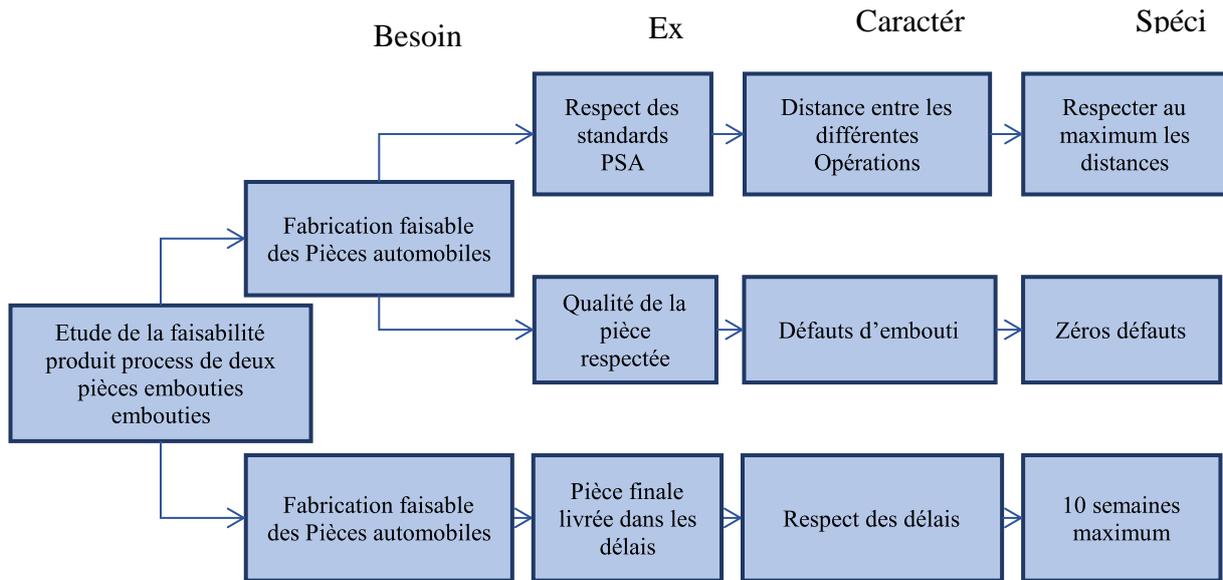


Figure 30 : Diagramme CTQ

IV. Description du processus métier

1. Diagramme de SIPOC

Un outil très adapté à cette cartographie est le diagramme SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) qui permet de faire apparaître les flux de matières et les flux d'informations sur un même graphique. La Figure 9 donne le SIPOC

Fournisseurs (S) : La personne ou un service fournissant les entrées nécessaires au processus

Entrées (I) : les ressources ou données requises pour l'exécution du processus.

Processus (P) : Un ensemble d'activités nécessitant un ou plusieurs types d'entrées et créant des sorties qui ont de la valeur ajoutée pour le client.

Sorties (O) : Un service ou produit résultant du processus.

Client (C) : Le destinataire du produit du processus (c'est-à-dire de la sortie).

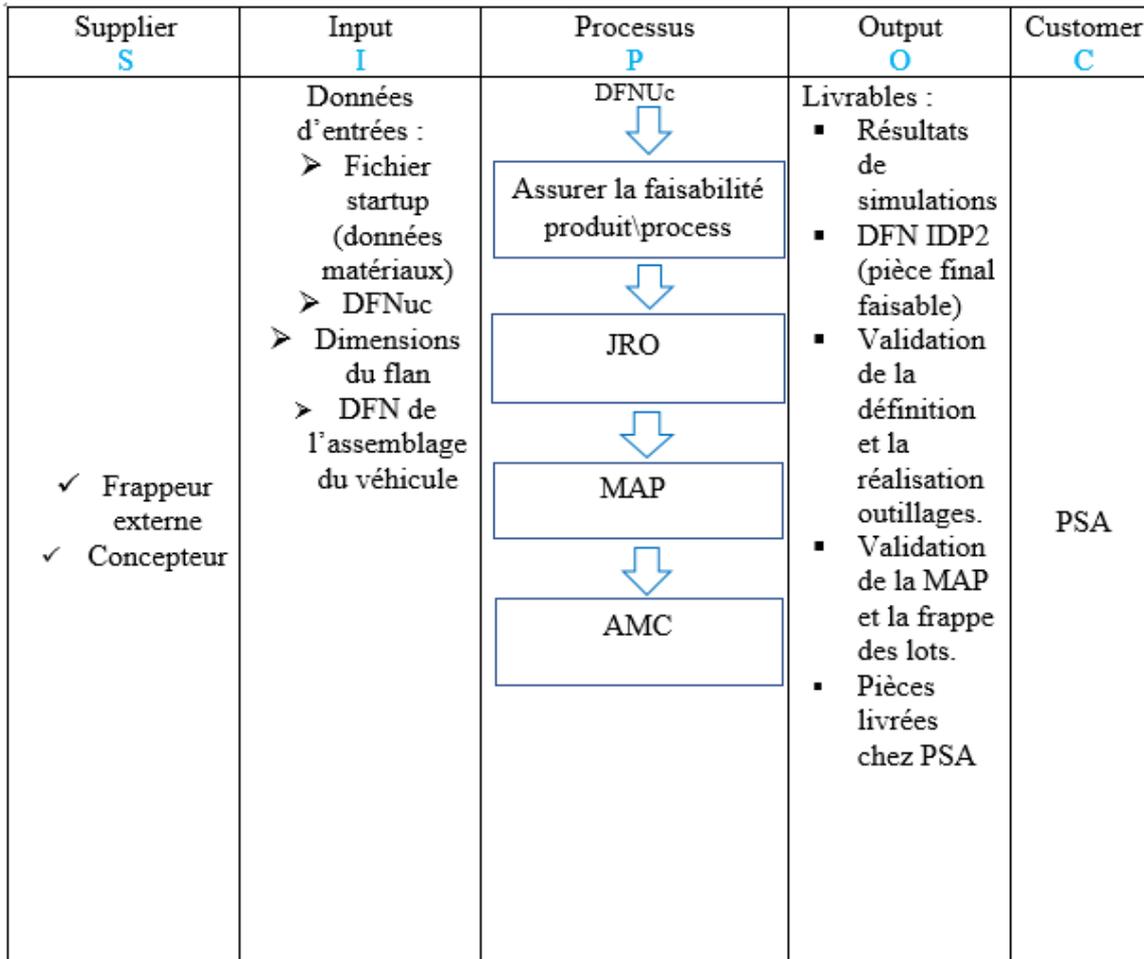


Figure 31 : Diagramme SIPOC

V. Identification des produits et de ses environnements

1. Le renfort arrière arc pavillon :

Le renfort arc pavillon destiné à être interposé entre le coté d'habitacle et la doublure arc pavillon, il permet de renforcer plus efficacement la tenue du pavillon aux chocs.

CONFIDENTIEL

Figure 32 : renfort arrière arc pavillon (DFNUc)

La zone entourée en rouge présente la position du renfort Ar Arc pavillon dans le véhicule.

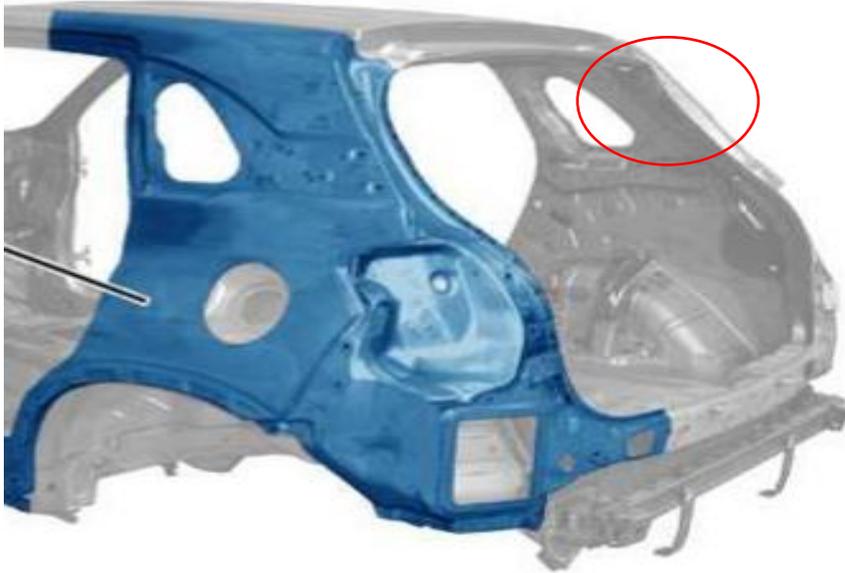


Figure 33 : Position du renfort dans le véhicule

CONFIDENTIEL

Figure 34 : l'environnement du renfort arrière arc pavillon

Les quatre zones d'accostage sont :

- **Zone 1 : accostage avec le coté d'habitacle**
- **Zone 2 : accostage avec le gousset gouttière**
- **Zone 3 : accostage avec la Doublure arc de pavillon arrière**
- **Zone 4 : accostage avec le Renfort de ceinture de sécurité.**

- **La gamme d'emboutissage du renfort arrière arc pavillon**

Le renfort arrière arc pavillon se fabriquera dans une presse simple effet de la gamme classique G1

2. Le Renfort serrure porte avant

Le renfort serrure destiné à être interposé entre la serrure et la doublure, il permet de renforcer plus efficacement la tenue des serrures aux chocs.

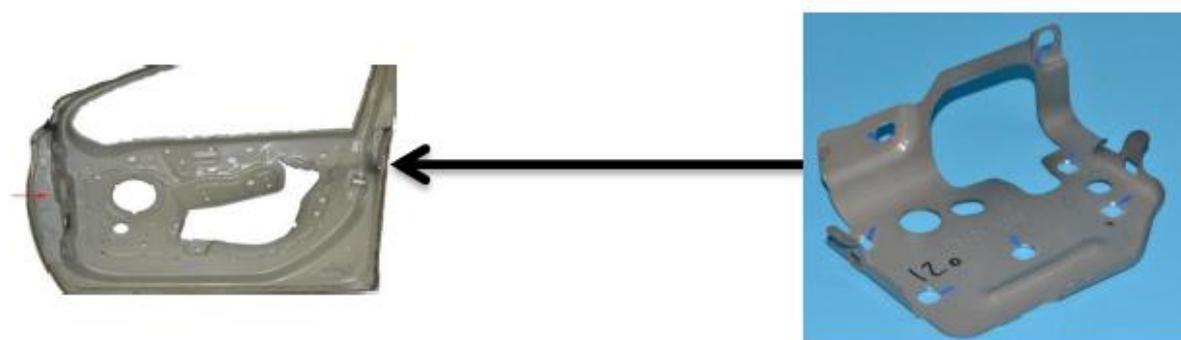


Figure 35 : la position du renfort serrure dans la porte

CONFIDENTIEL

Figure 36 : renfort serrure porte avant (DFNUc)

CONFIDENTIEL

Figure 37 : l'environnement du renfort serrure

Les trois zones d'accostage sont :

- **Zone 1 : accostage avec l'encadrement de la porte.**
- **Zone 2 : premier accostage avec doublure de porte av**
- **Zone 3 : deuxième accostage avec la Doublure de porte av**
- **La gamme d'emboutissage du renfort serrure**

La gamme d'emboutissage du renfort serrure porte avant est une gamme OAS.

VI. Equipe du projet

Chef du projet	Amine El GBOURI
Pilotes techniques	Fabien BECCARIA (PSA) Souhail HACHAMI (Altran)
Pilote du projet	Mohamed BOUZAFFOUR

Tableau 2 : Equipe du projet

VII. La charte du projet

Projet	Etude de la faisabilité produit_process des pièces embouties pour l'automobile
Objectifs du projet	Assurer la faisabilité de la pièce et garantir la qualité de l'embouti
contraintes	Utilisation du logiciel Catia V5, Autoform Règles de métiers confidentiels Temps : 4 mois
Date	début : 13/02/2017 fin : 16/06/2017

Tableau 3 : charte du projet

VIII. Conclusion

Dans cette partie, nous avons appliqué la première étape de la démarche DMAIC, qui nous a permis de bien définir le problème, ainsi que le besoin du client et l'objectif du projet qui consiste à assurer la faisabilité de deux pièces embouties en minimisant le prix de revient de fabrication.

3

Chapitre 3 Evaluation du processus actuel

I. Introduction

Après avoir défini la Problématique, l'objectif, le besoin du client, nous commençons :

- **La phase « Mesurer » dont on va étudier la faisabilité des poinçonnages en précisant leurs directions (à coulisseau ou en direct) et mesurer les distances entre les découpes et la faisabilité du tombage dans le cas du renfort serrure en utilisant des méthodes existantes chez le client PSA, et finalement on calcule prix de revient de fabrication actuelle.**
- **La phase « analyser » dont on va évaluer le process en analysant l'état actuel par la simulation d'emboutissage.**

II. Analyse de l'existant

Avant toute recherche de solution, une analyse de la situation de départ est indispensable.

Cela permet d'éviter de faire des erreurs et d'obtenir de meilleurs résultats en comparant la situation actuelle avec la situation finale.

1. Phase Mesurer

- a) **Données d'entrées**
 - **Renfort arrière arc pavillon**
- b) **Matériau : acier E335D**
- c) **Limite d'élasticité conventionnelle : $Re_{0.2}=345\text{Mpa}$**
- d) **Epaisseur de la tôle : 0.75 mm**
 - **Renfort serrure porte avant**
- e) **Matériau : acier E275D**
- f) **Limite d'élasticité conventionnelle : $Re_{0.2}=330\text{Mpa}$**
- g) **Epaisseur de la tôle : 1.15 mm**

1.1. Faisabilité des poinçonnages

Le renfort serrure porte avant ne contient pas de poinçonnages, donc on se contente d'étudier la direction des poinçonnages du **renfort arrière arc pavillon**.

On précisera la possibilité du poinçonnage (**en direct** ou **à coulisseau**) en fonction de :

ΦD : diamètre du poinçonnage.

e : épaisseur de la tôle.

a : l'angle d'inclinaison du poinçonnage par rapport à l'axe horizontal (perpendiculaire à l'axe de l'outil).

Angle : a°

Valeur d'ovalisation : $D = P - \Phi D$

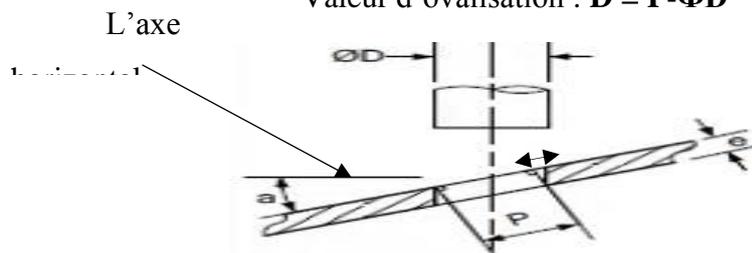


Figure 38 : paramètres pour la précision de la direction du poinçonnage

La pièce contient sept trous (six trous de passage et un trou pilote)

1.1.1. Trous de passages

a) Trou de passage 1

Les mesures de l'angle a et du diamètre ΦD sont présentées dans les figures 1,2



Figure 39 : l'angle d'inclinaison a du premier trou de passage

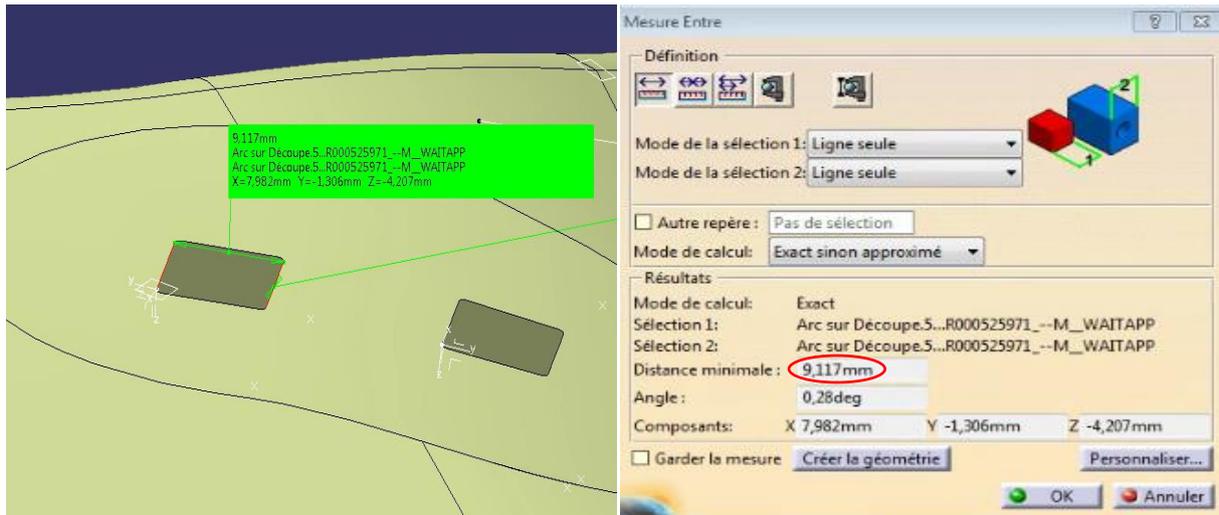


Figure 40 : le diamètre ΦD du premier trou de passage

b) **Trou de passage 2**

Les mesures de l'angle α et du diamètre ΦD sont présentées dans les figures 3,4

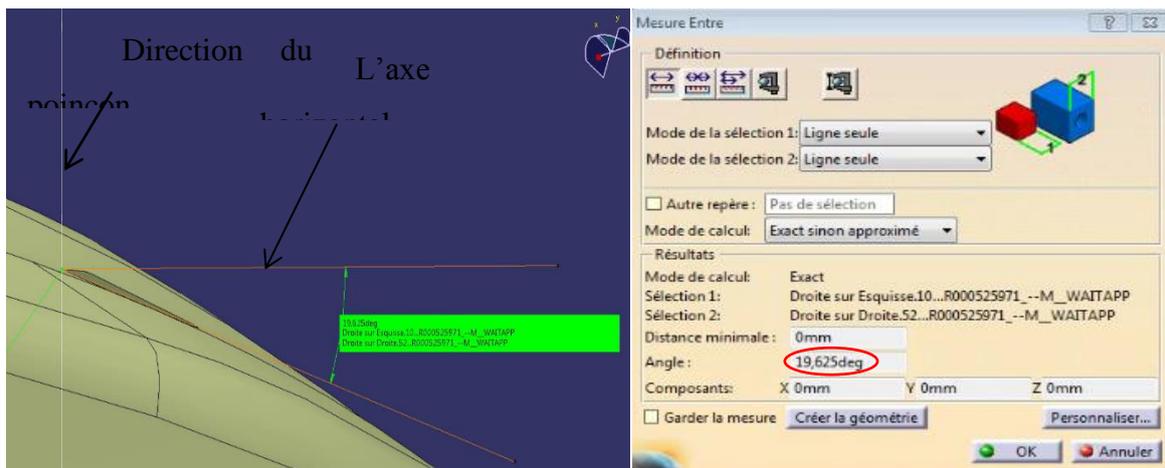


Figure 41 : l'angle d'inclinaison α du deuxième trou de passage

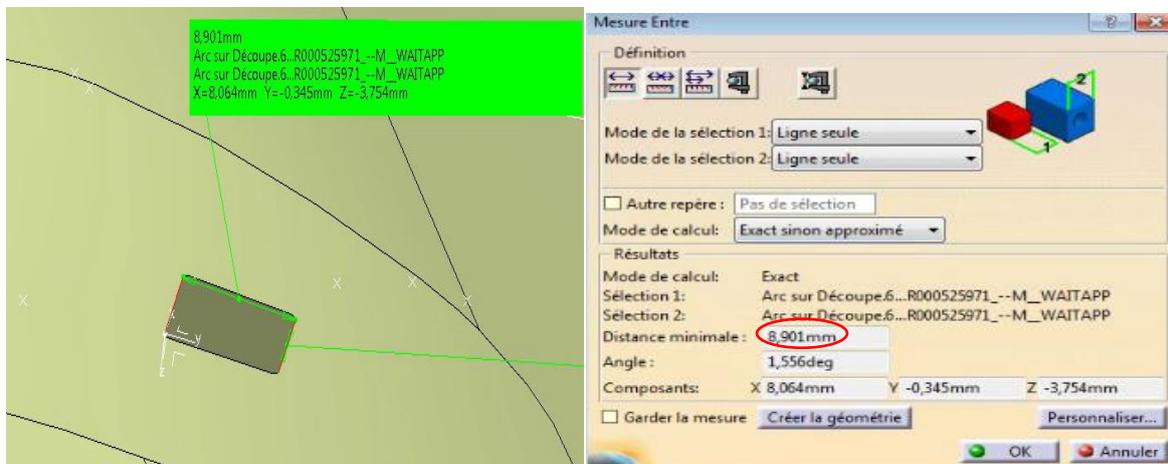


Figure 42 : le diamètre ΦD du deuxième trou de passage

c) **Trou de passage 3**

Les mesures de l'angle α et du diamètre ΦD sont présentées dans les figures 6,7

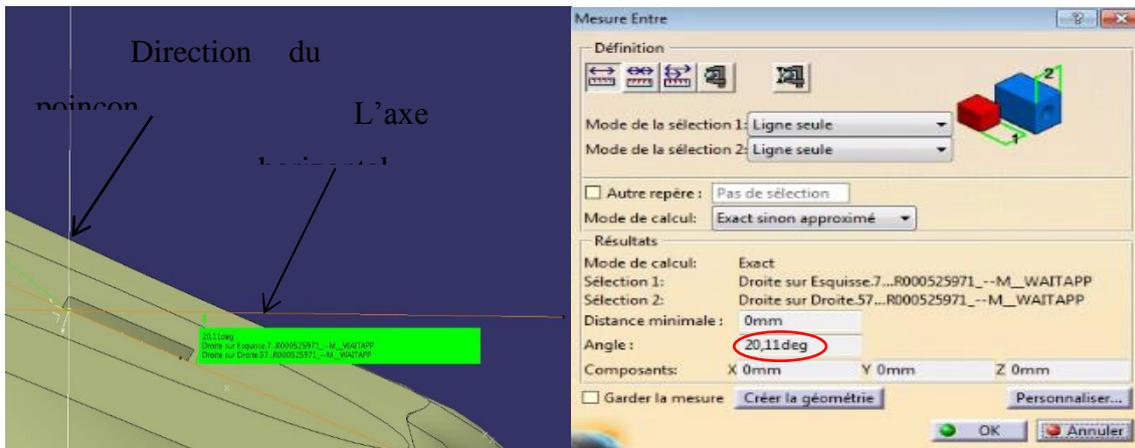


Figure 43 : l'angle d'inclinaison α du troisième trou de passage

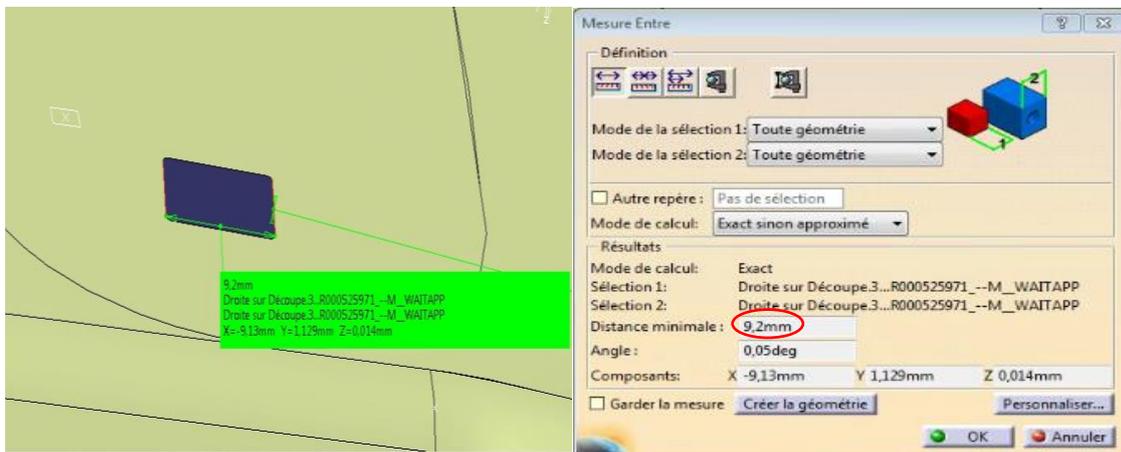


Figure 44 : le diamètre ΦD du troisième trou de passage

1.1.2. **Trou pilote**

Les mesures de l'angle α et du diamètre ΦD sont présentées dans les figures 6,7

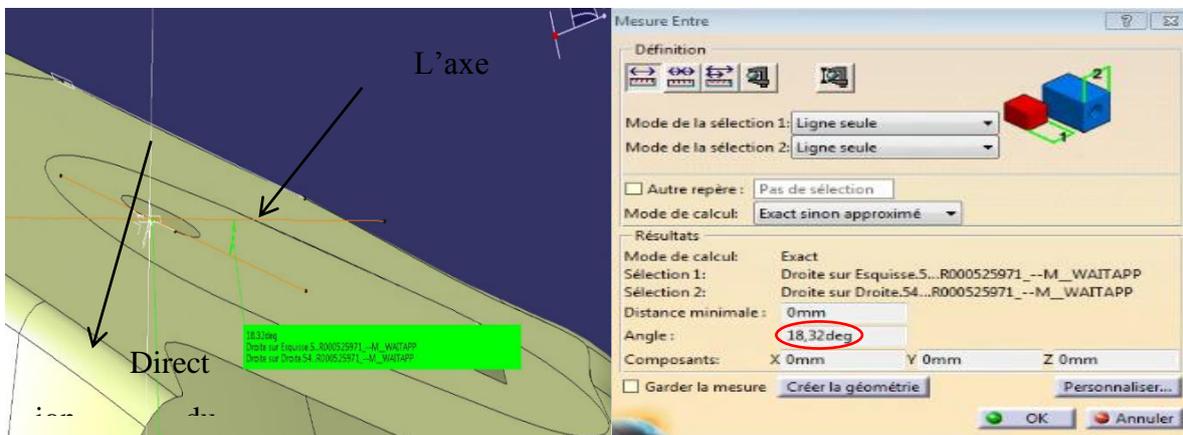


Figure 45 : l'angle d'inclinaison α du trou pilote

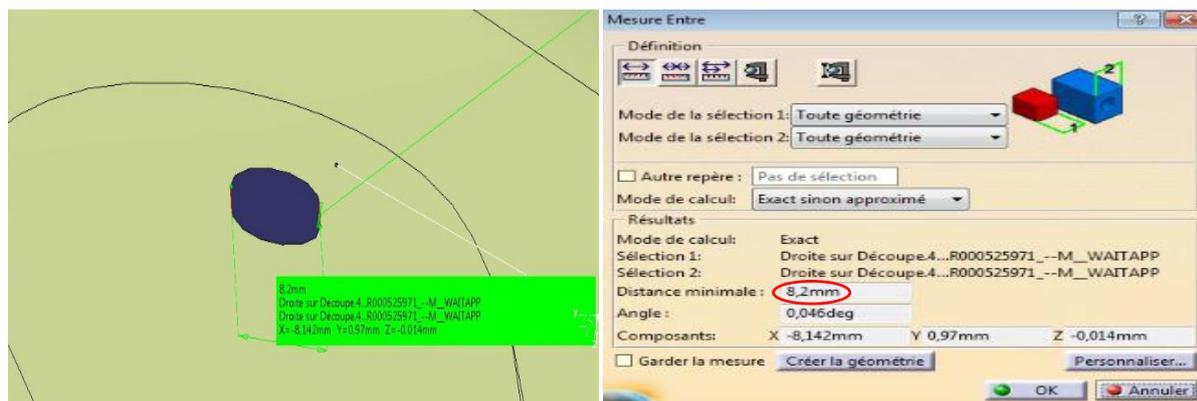


Figure 46 : le diamètre ΦD du troisième trou pilote

1.1.3. Résultats

On précise la direction des poinçonnages en utilisant l'abaque de la figure 8

CONFIDENTIAL

Figure 47 : limite de poinçonnage trous réalisés

- **Interprétation des résultats**

D'après la figure 5, on déduit que :

- **Le poinçonnage de tous les trous est faisable à coulisseau.**
- **La valeur d'ovalisation D du trou de passage 1 et pilote par rapport au nominal doit être comprise entre 0.1 et 0.2.**
- **La valeur d'ovalisation D du trou passage 3 par rapport au nominal doit être comprise entre 0.3et 0.4.**
- **La valeur d'ovalisation D du trou passage 2 par rapport au nominal doit être comprise entre 0.2et 0.3.**

Les trois trous de passages restants doivent se faire à coulisseau car l'angle par rapport à l'axe horizontal est assez grand ($\alpha=84.20^\circ$) à l'axe horizontal. Comme on peut le voir sur la figure

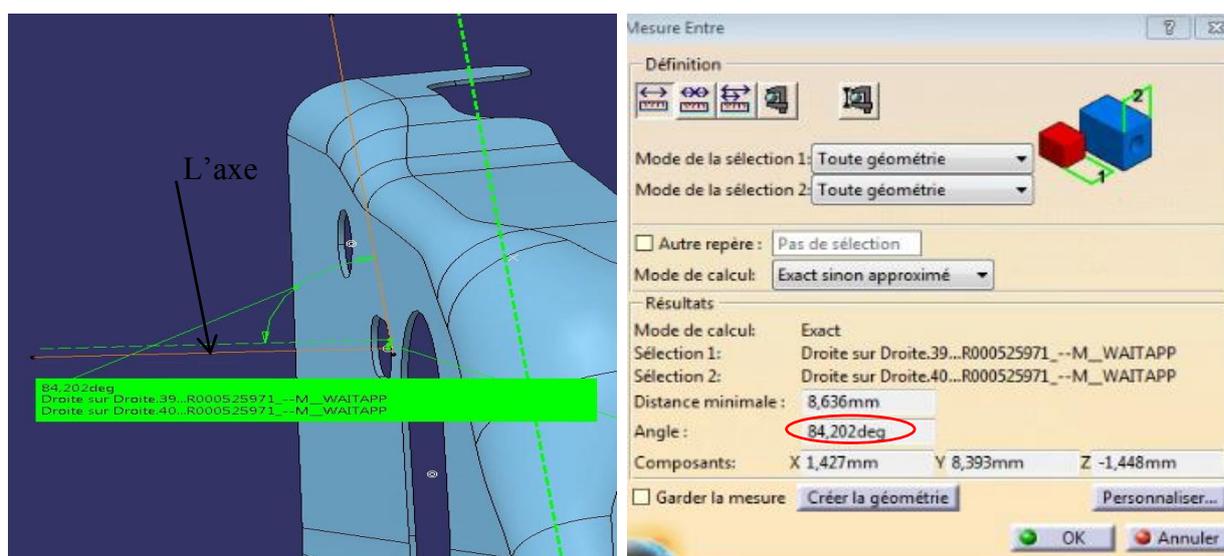


Figure 48 : les trois derniers trous de passages

1.2. Faisabilité du tombage

La faisabilité du tombage est évaluée dans le cas d'un bord en allongement ou en rétreint, le renfort arrière arc pavillon ne contient pas de bords tombés (en allongement ou en rétreint), donc on va étudier la faisabilité du tombage **renfort serrure porte avant**.

Le bord étudié est en rétreint, Comme on peut le voir sur la Figure 6

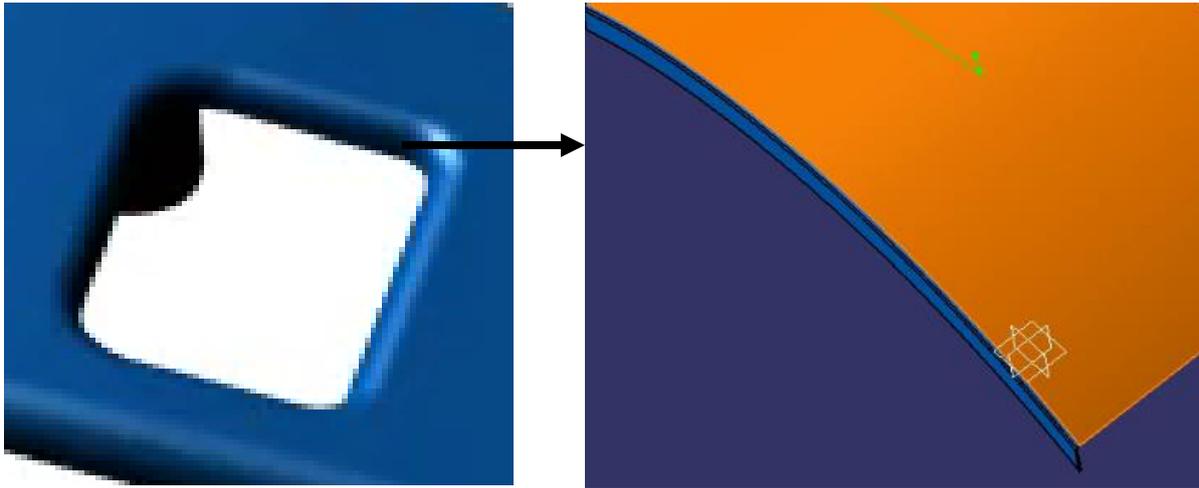
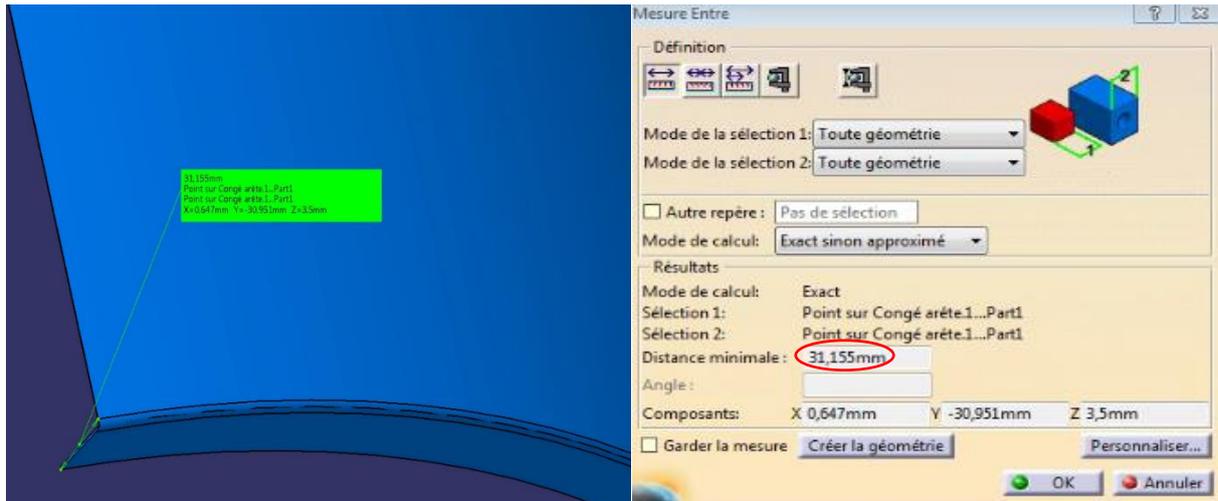
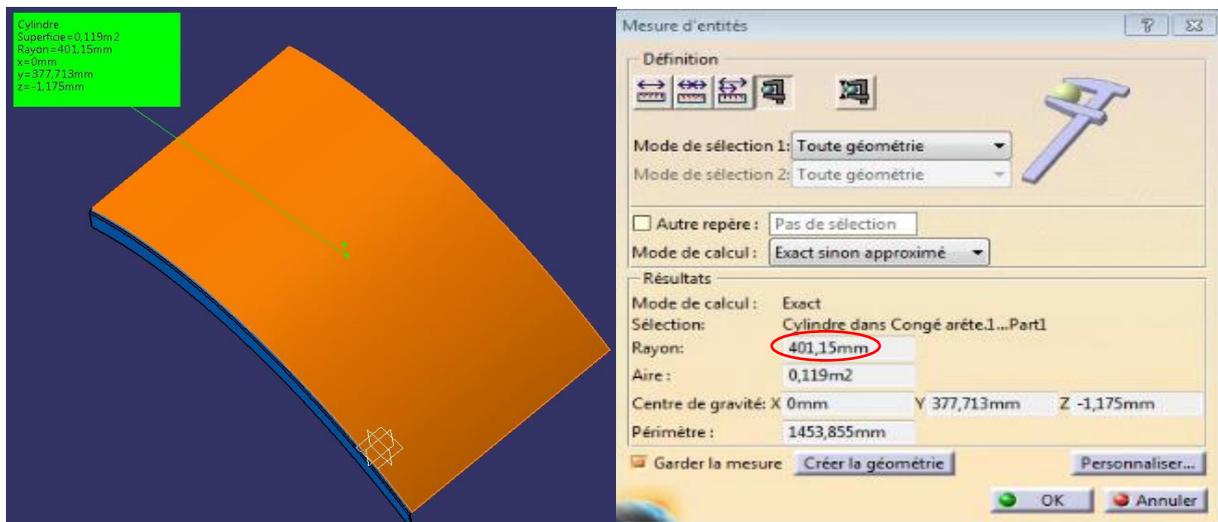


Figure 49 : le bord tombé en rétreint

La faisabilité du tombage est évaluée en fonction du :

- **Rayon de courbure R_c**
- **Hauteur du bord tombé H**
- **Matériau**

Les mesures du rayon de courbure **R_c** et de la hauteur du bord tombé **H** sont présentées dans les figures **6,7**

Figure 50 : la hauteur H du bord tombéFigure 51 : le rayon de courbure R_c du bord tombé

On décide de la faisabilité du tombage en utilisant l'abaque de la figure 8

CONFIDENTIEL

Figure 52 : faisabilité d'un bord en retreint

D'après la figure 5, le point **en rouge** se trouve à droite de la courbe du matériau (HLE 340 MPA), donc le bord tombé est **non faisable**.

1.3. Distance entre les découpes

La figure montre les distances entre les différentes découpes

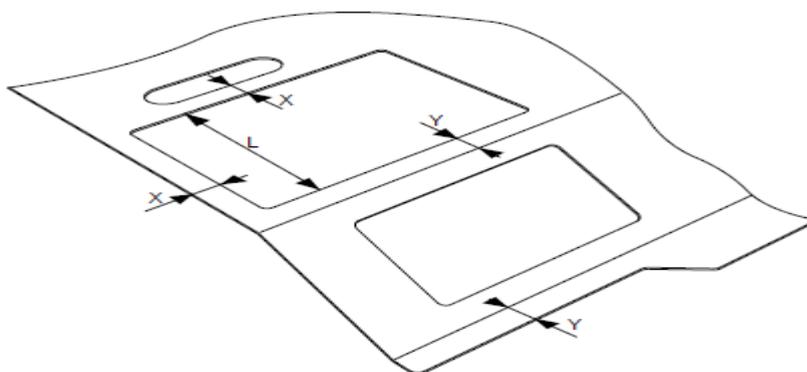


Figure 53 : distances entre découpes

Le renfort serrure porte avant est réalisé juste en opérations de tombage et d'emboutissage (pas de découpe), donc on se contente de déterminer les valeurs des distances entre les découpes du renfort arrière arc pavillon

1.3.1. Valeurs X admissibles

a) La Distance admissible entre poinçonnage et ajourage

Les mesures de la distance **X** actuelle entre le poinçonnage et l'ajourage et de la largeur d'ajourage **L** sont présentées dans les figures 6,7

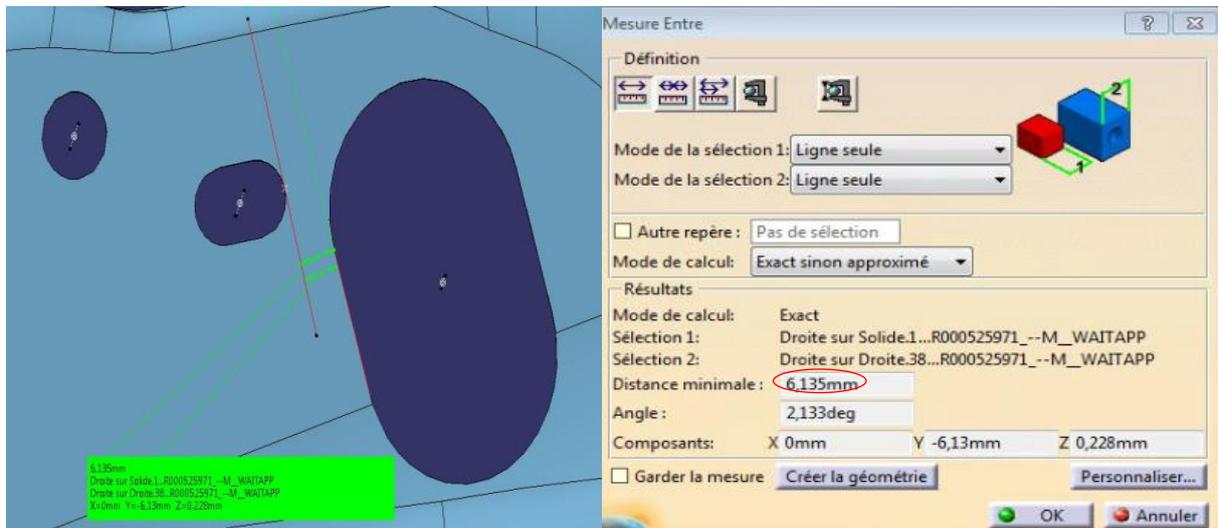


Figure 54 : la distance **X** entre le poinçonnage et l'ajourage

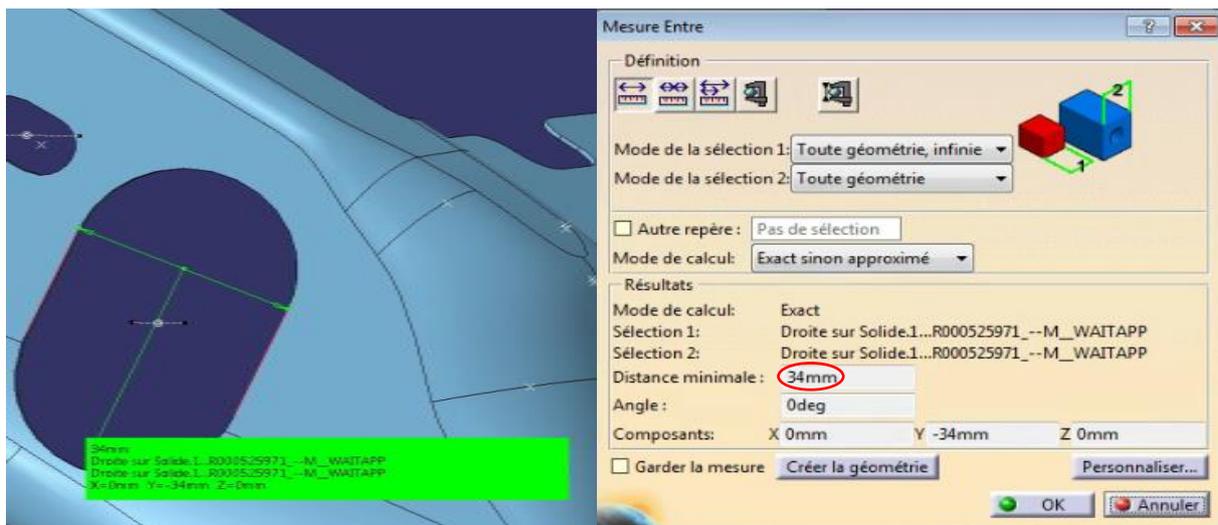


Figure 55 : la largeur d'ajourage **L**

b) **La Distance admissible entre détournage et ajourage**

La mesure de la distance **X** actuelle entre le détournage et l'ajourage est présentée dans la figure 6

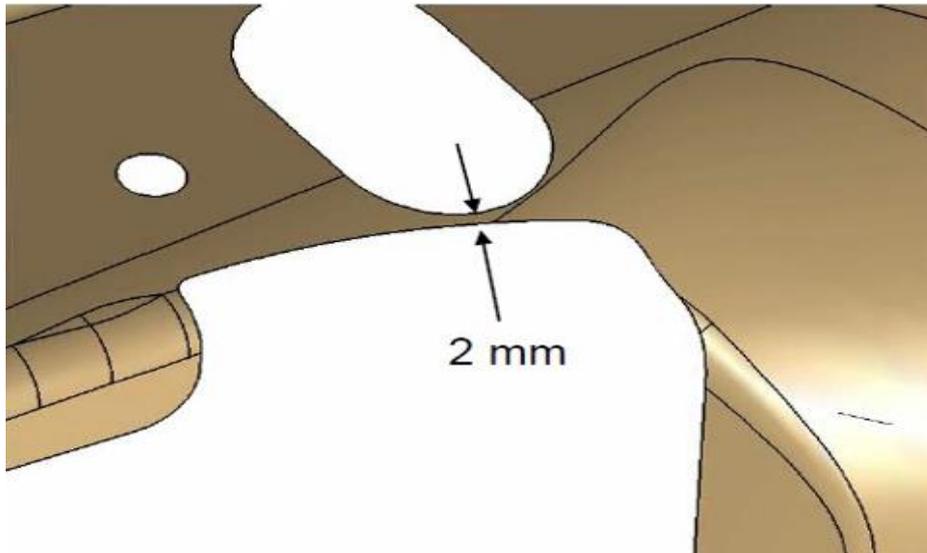


Figure 56 : la distance **X** entre le détournage et l'ajourage

c) **Résultats**

La valeur minimale de **X** est déterminée en utilisant le tableau 1, en fonction de :

- **L'épaisseur e**
- **La largeur L**
- **Le matériau**

CONFIDENTIEL

Figure 57 : valeurs **X** admissibles

- Interprétation des résultats

A partir du tableau, on trouve que la distance admissible est : $X_{\min} = 5 \text{ mm}$, on déduit que :

La distance X entre le poinçonnage et l'ajourage est validée, puisqu'elle est supérieure à 5 mm, cela prouve que les deux opérations sont faisables.

La distance X entre le détournage et l'ajourage n'est pas validée, puisqu'elle est inférieure à 5 mm, cela prouve que l'opération de détournage est impossible car le reste de matière est trop faible.

1.3.2. Valeur Y admissible

a) La Distance admissible entre détournage et tombage

La valeur Y admissible dépend de deux paramètres essentiels :

La hauteur du bord tombé H et l'angle d'inclinaison α , comme on peut le voir sur la figure 6

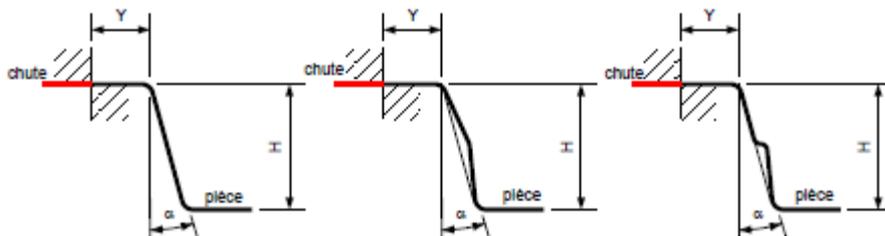


Figure 58 : les différents cas d'un tombage

Les mesures de la distance Y actuelle entre le détournage et le tombage, l'angle d'inclinaison α du bord tombé et la hauteur H du bord tombé sont présentées dans les figures 6, 7, 8

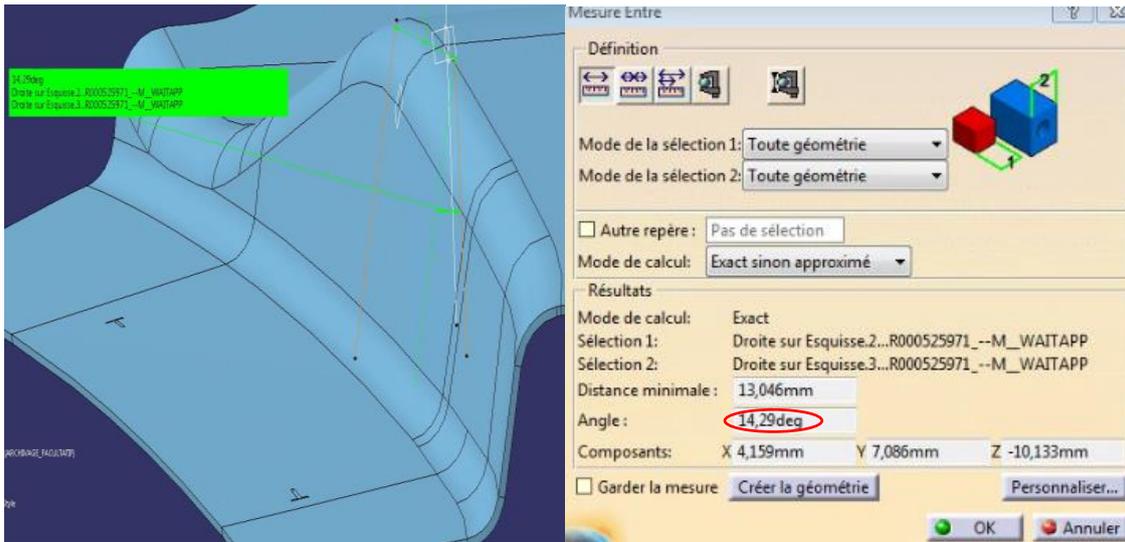


Figure 59 : l'angle d'inclinaison α du bord tombé

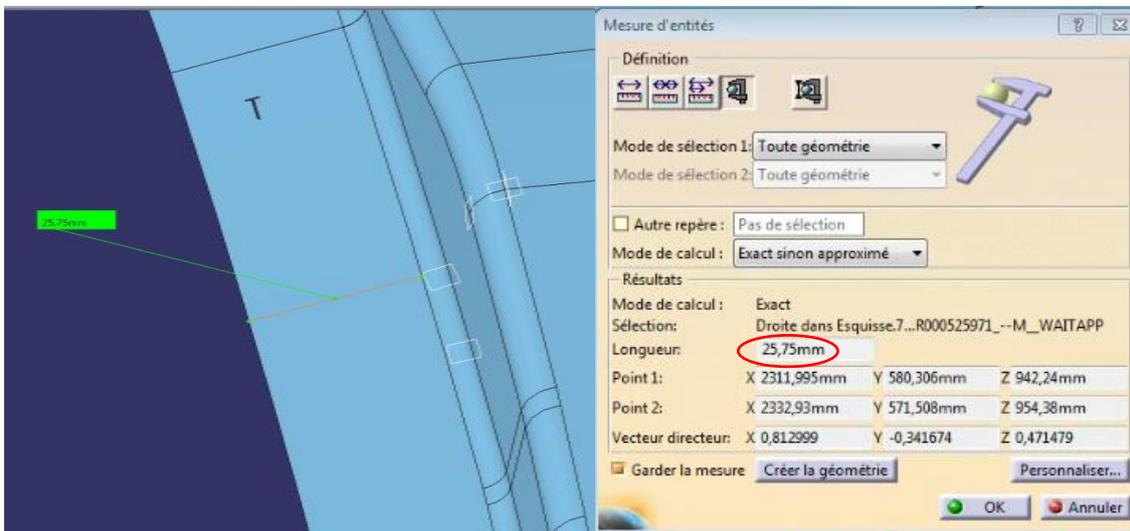


Figure 60 : la distance Y entre détournage et tombage

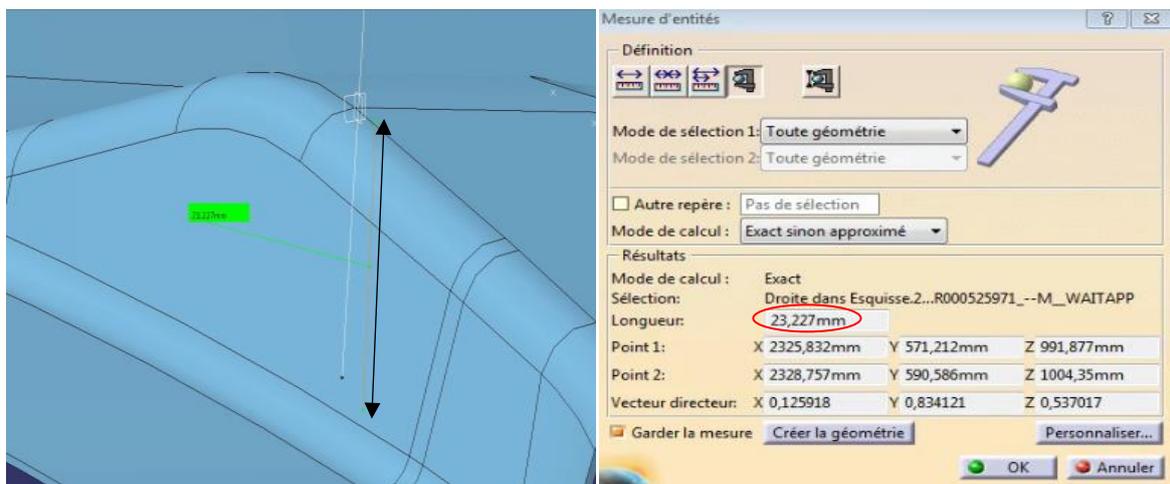


Figure 61 : la hauteur H du bord tombé

b) **Résultats**

La valeur admissible **Y** est déterminée en utilisant l'abaque de la figure 1

CONFIDENTIEL

Figure 62 : valeurs **Y** admissibles entre tombage et détourage

1.4. Calcul du coefficient utilisation matière et le prix de la valeur ajoutée

1.4.1. Prix de la valeur ajoutée

Grace à **AutoForm**, on peut calculer les couts d'outillages des pièces automobiles.

a) **Renfort arrière arc pavillon**

Le tableau 1 montre le cout de l'outillage utilisé pour la fabrication du renfort arrière arc pavillon

DFNUc CONFIDENTIEL	
Nombre de postes	4 postes avec poinçonnages à cames
Cout d'outillages (EUR)	40000

Tableau 1 : cout d'outillages du renfort arrière arc pavillon

b) **Renfort serrure porte avant**

Le tableau 2 montre le cout de l'outillage utilisé pour la fabrication du renfort serrure porte avant

DFNUc	
CONFIDENTIEL	
Nombre de postes	9 postes
Cout d'outillages (EUR)	29000

Tableau 1 : cout d'outillages du renfort arrière arc pavillon

1.4.2. Calcul du coefficient utilisation de matière

a) **Renfort arrière arc pavillon**

Le tableau 3 montre le calcul du coefficient utilisation de matière, ainsi que les différents paramètres nécessaires pour effectuer ce calcul.

Masse nette(Kg)	Calculée par Catia V6 :
	0.914
Masse brute (Kg)	2.16
Pas découpe (mm)	630
Largeur bobine (mm)	583
Masse volumique (Kg/m³)	7860
CUM(%)	42.31

b)

c) Renfort serrure porte avant

Le tableau 3 montre le calcul du coefficient utilisation de matière, ainsi que les différents paramètres nécessaires pour effectuer ce calcul.

Masse nette(Kg)	Calculée par Catia V5 : 0.456
Masse brute (Kg)	0.65
Pas découpe (mm)	300
Largeur bobine (mm)	240
Masse volumique (Kg/m ³)	7860
CUM(%)	66.97

2. Phase Analyser

2.1. Analyse des défauts par simulation d'emboutissage

La simulation d'emboutissage diffère selon le type de gamme :

a) Gamme classique et transfert : **on fait uniquement la simulation d'emboutissage avec un FAT TEST, en réalisant la simulation avec la force de serrage nominal, puis on réduit la force à -10%, enfin on augmente la force à +30%, la simulation doit être validée dans les trois cas pour garantir la faisabilité de la pièce**

b) Gamme OAS : **on fait la simulation de toutes les opérations sans FAT TEST.**

2.1.1. Simulation d'emboutissage du renfort arrière arc pavillon

a) **La simulation d'emboutissage avec la force de serrage nominal**

Les résultats de simulation sont présentés dans la figure 1

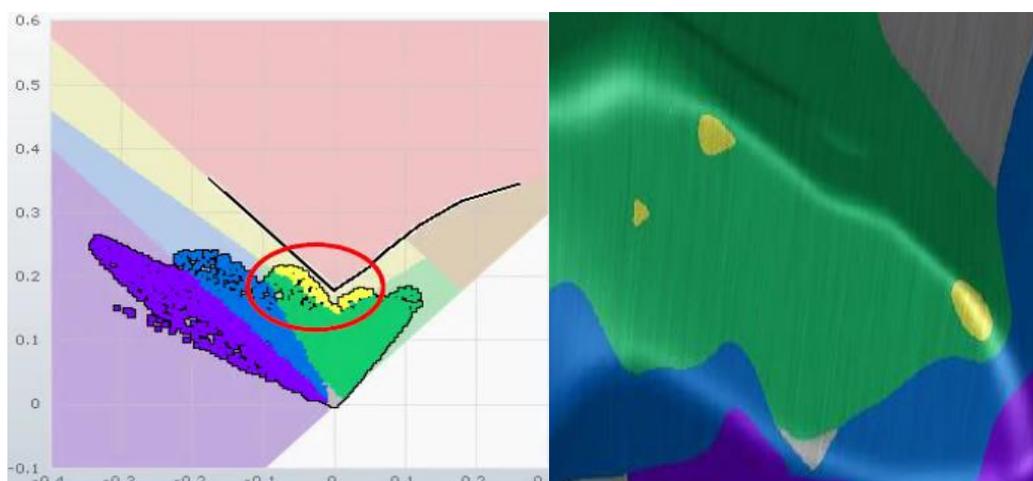


Figure 63 : résultats de simulation associé à la force de serrage nominal

- **Interprétation des résultats**

Le résultat de simulation montre les défauts suivants :

- **Un risque de rupture au niveau rayon d'emboutissage.**
- **Deux zones en épaisseur au niveau de la pièce droite et gauche.**
- **Des zones en compression**
- **Des zones dont la déformation est insuffisante**

b) **La simulation d'emboutissage avec FAT TEST -10%**

Les résultats de simulation sont présentés dans la figure 1

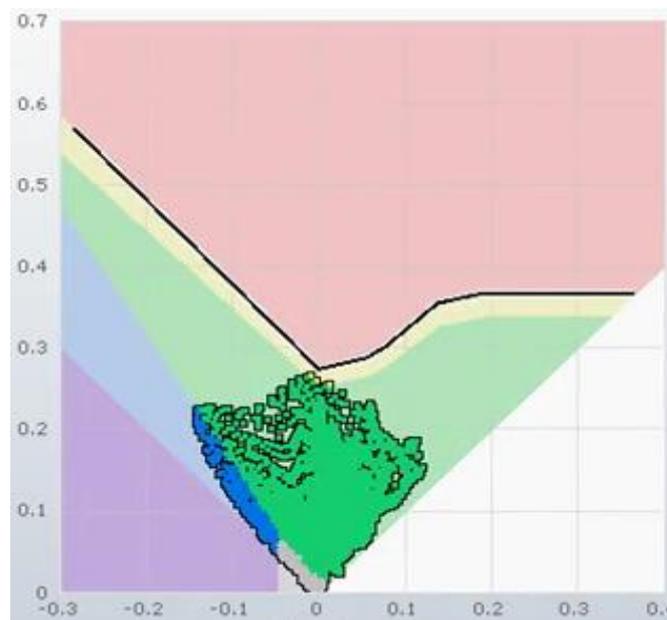


Figure 64 : résultats de simulation avec un FAT TEST -10%

- **Interprétation des résultats**

Les résultats montrent que la pièce est saine, avec des défauts de compression qu'on va négliger puisqu'ils se situent dans les zones des chutes.

c) **La simulation d'emboutissage avec FAT TEST +30%**

On applique une force de serrage de 42T Les résultats de simulation sont présentés dans la figure 1

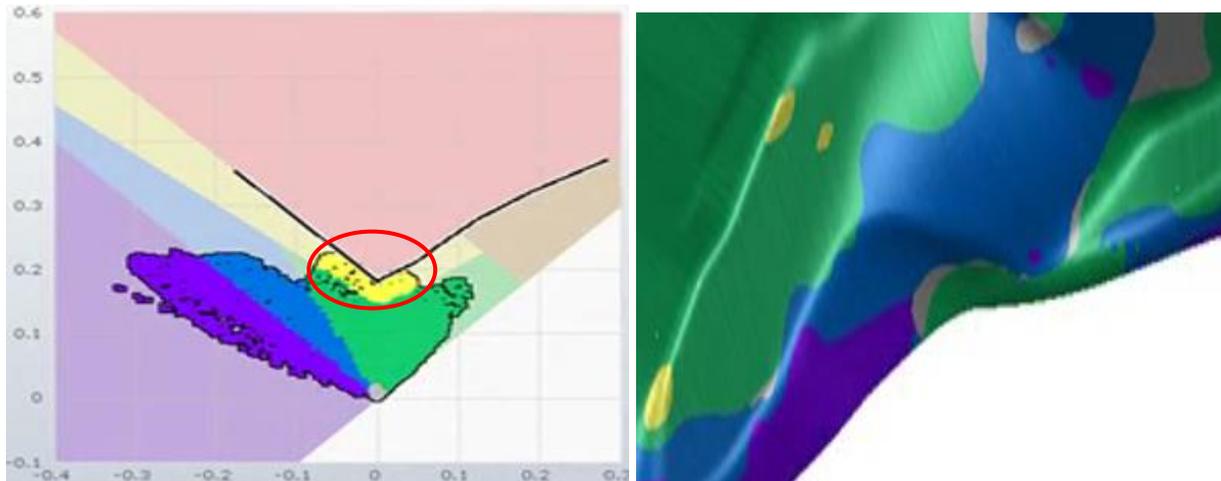


Figure 65 : résultats de simulation avec un FAT TEST +30%

- **Interprétation des résultats**

Le résultat de simulation montre les défauts suivants :

- Des zones en risque de rupture au niveau rayon d'emboutissage.
- Des zones en épaisseur
- Des zones en compression

2.1.2. Simulation d'emboutissage du renfort serrure porte avant

Les résultats de simulation sont présentés dans la figure 1

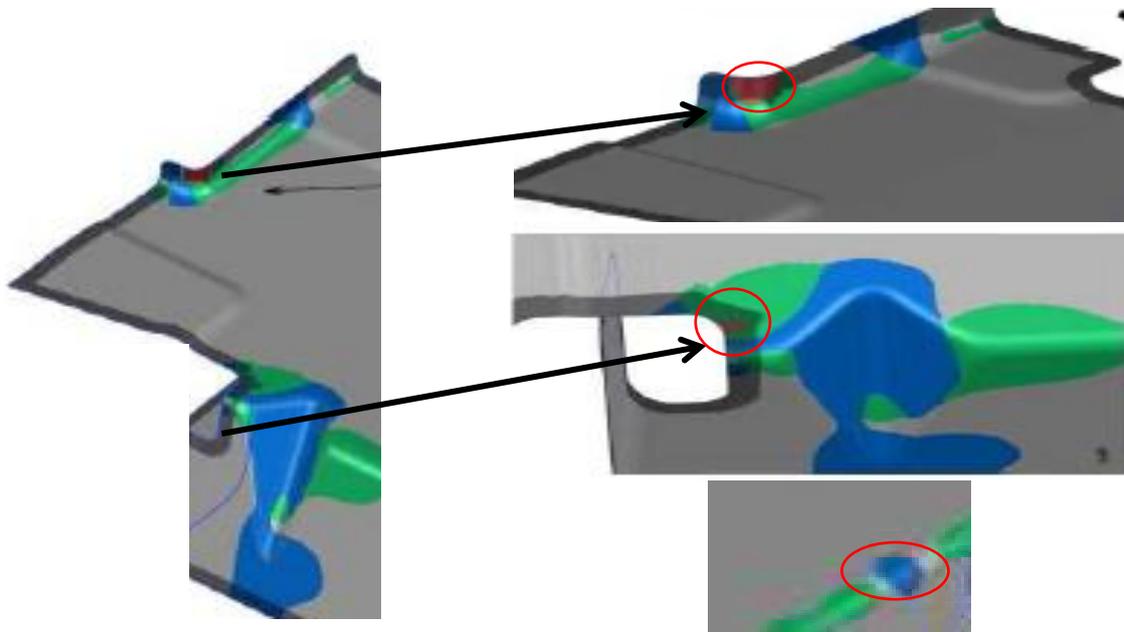


Figure 66 : résultats de simulation du renfort serrure porte avant

- **Interprétation des résultats**

- **Le résultat de simulation montre les défauts suivants :**
- **Une rupture au niveau du rayon du tombage**
- **Des zones en compression.**
- **Une rupture proche du bulldozer**

III. Conclusion

Lors de la phase de mesure, nous avons confirmé que le tombage du bord en rétreint du renfort serrure n'est pas faisable et la non validation de certaines distances entre les découpes tombage du, nous avons aussi constaté que Le CUM actuelle est inférieure à l'objectif CUM fixé par PSA.

Lors de la phase d'analyse, nous avons trouvé des défauts d'emboutissage au niveau des deux pièces ainsi, nous menons une étude approfondie pour préciser leurs sources.

4

Chapitre 4 Mise en œuvre des améliorations

I. Introduction

Ce chapitre présente les solutions mises en place pour atteindre les objectifs du projet en se basant sur l'analyse effectuée dans la partie précédente, Par la suite, nous allons prouver la faisabilité des deux pièces en effectuant des vérifications par la simulation d'emboutissage.

II. La Phase d'amélioration

1. Améliorations du process

1.1. Amélioration CUM

Afin d'améliorer le coefficient utilisation de matière, il faut voir le process actuel en essayant d'optimiser la rive centrale et les attaches afin de réduire la largeur bobine dans le cas des outils à suivre, et en essayant d'optimiser le gaspillage de la matière en réduisant les chutes dans le cas de la gamme classique.

1.1.1. Amélioration CUM du renfort serrure porte avant

Le process actuel est donné par le fournisseur est de haut degré de confidentialité, nous allons présenter uniquement les attaches et la rive centrale utilisés par le fournisseur dans la figure 1

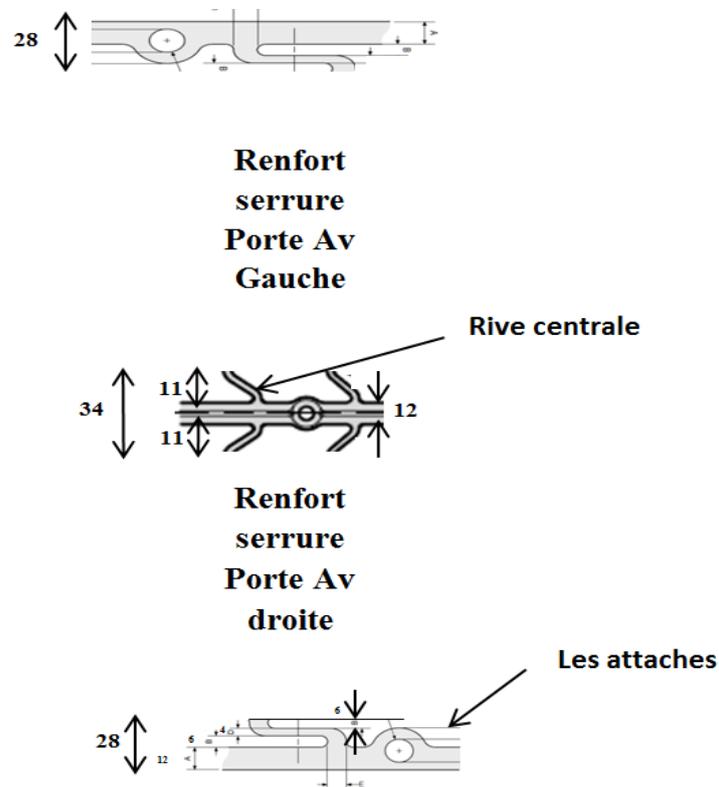


Figure 67 : process actuel du renfort serrure porte avant

Le process actuel contient des attaches et une rive centrale qui sont longues, afin d’immobiliser les trous pilotes de la bande, dans notre cas, les attaches longues ne sont pas nécessaires puisqu’on n’a pas trop d’embouti.

Les dimensions des attaches et de la rive centrale seront, de ce fait, comme on peut le voir sur la figure 2

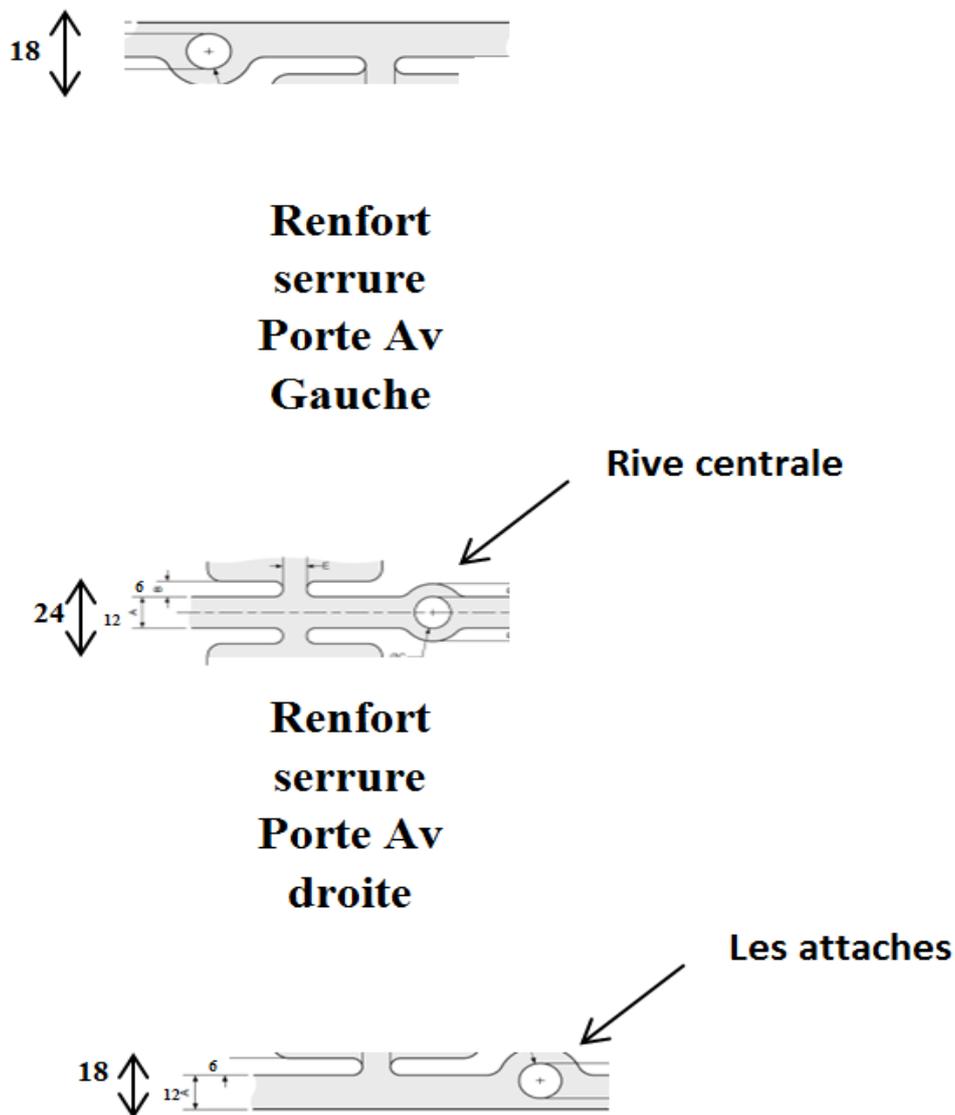


Figure 68 : process du renfort serrure porte avant après amélioration

a) Résultats

Le tableau 1 présente les nouveaux résultats obtenus :

Masse nette(Kg)	0.456
Masse brute (Kg)	0.56
Pas découpe (mm)	300
Largeur bobine (mm)	210
Masse volumique (Kg/m3)	7860
L'objectif	2000000 véhicules
CUM(%)	81.4
Gain (€)	$300*0.00000786*30*0.7*2000000=99036$

Tableau 4: le nouveau coefficient utilisation de matière et le gain du renfort serrure porte avant

Cette amélioration nous a permis de gagner 30 mm de la largeur bobine, ce qui nous donne un coefficient utilisation de matière de 81.4%, et un gain de 99036€

1.1.2. Amélioration CUM du renfort Arrière Arc Pavillon

Le process actuel est présenté dans la figure 3

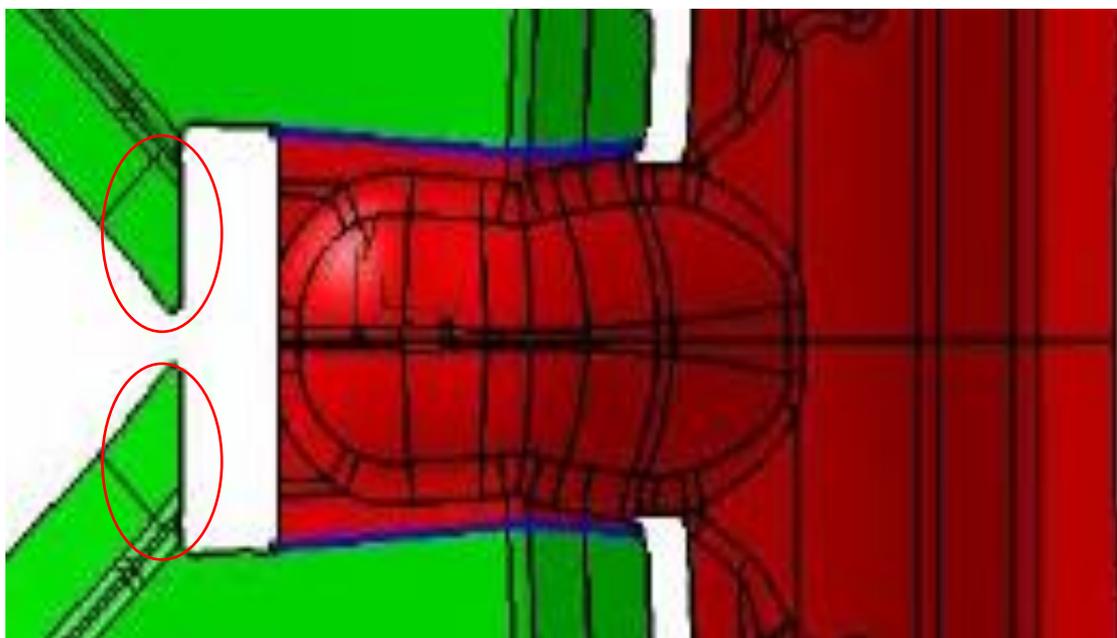


Figure 69 : process actuel du renfort arrière arc pavillon

Le process actuel contient des chutes longues présentées en rouge qui augmente la largeur bobine, de ce fait, on a proposé de modifier le produit en éliminant les triangles entourés en rouge afin d'optimiser les chutes et par conséquent réduire la largeur bobine, comme on peut le voir sur la figure 4

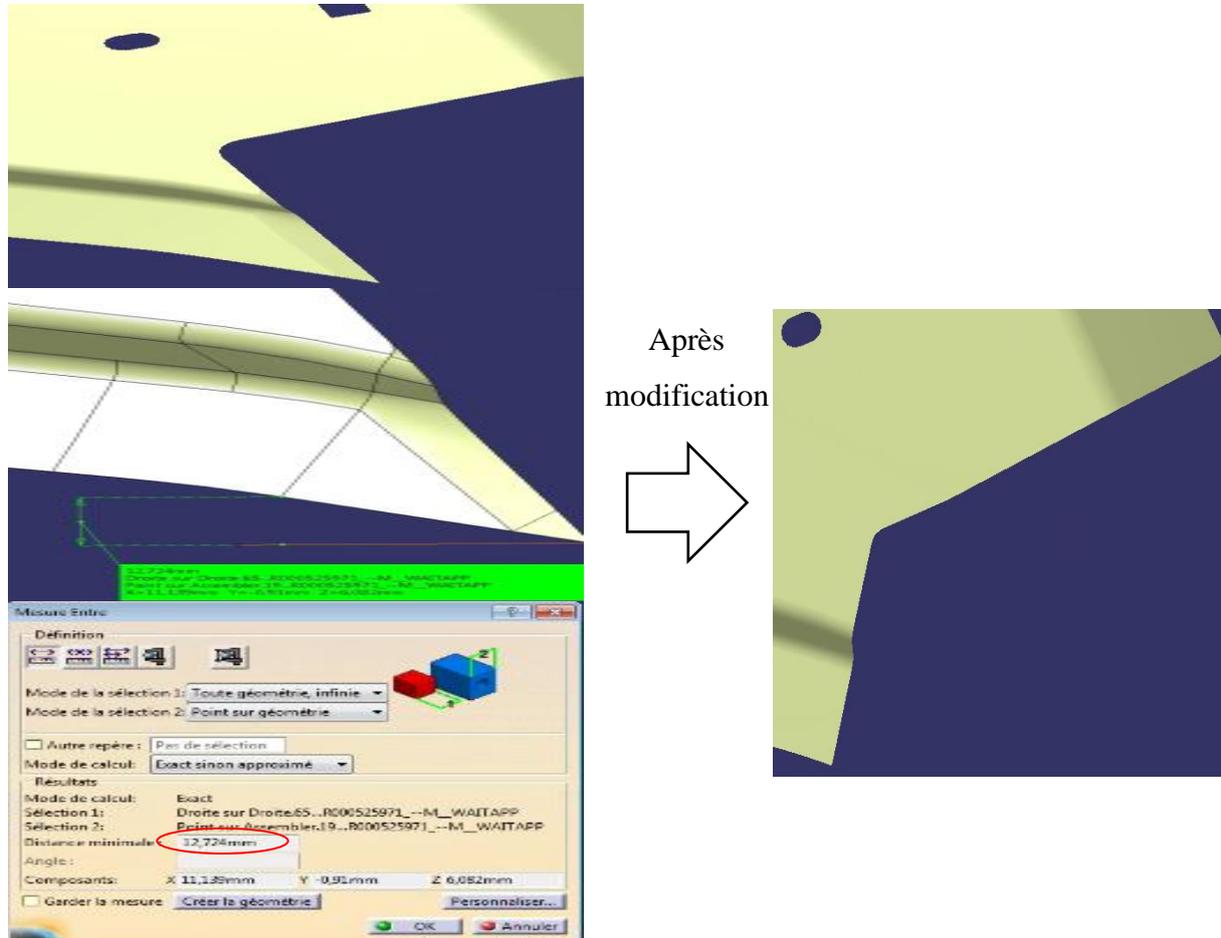


Figure 70 : modification sur le renfort arrière arc pavillon

a) **Résultats**

Le tableau suivant présente les nouveaux résultats obtenus :

Masse nette(Kg)	0.914
Masse brute (Kg)	2.07
Pas découpe (mm)	630
Largeur bobine (mm)	557.5
Masse volumique (Kg/m³)	7860
CUM(%)	44.15
L'objectif	2000000 véhicules
Prix de la tôle(€)	0.7 €/Kg
Gain (€)	$630 * 0.00000786 * 25.44 * 0.7 * 2000000 = 176363.30$

Tableau 5 : le nouveau coefficient utilisation de matière et le gain du renfort arrière arc pavillon

Cette modification nous a permis de gagner 25.44 mm de la largeur bobine, ce qui nous donne un coefficient utilisation de matière de 44.15% et un gain de 176363.30€

1.2. Optimisation du prix d'outillages

Afin d'optimiser le prix d'outillages, il faut modifier la direction du travail, en rendant le travail en direct.

1.2.1. Modification de la direction de poinçonnage du renfort arrière arc pavillon

Afin de rendre le poinçonnage en direct, on a proposé deux solutions qui vont nous permettre de poinçonner en direct, comme on peut le voir sur le tableau suivant :

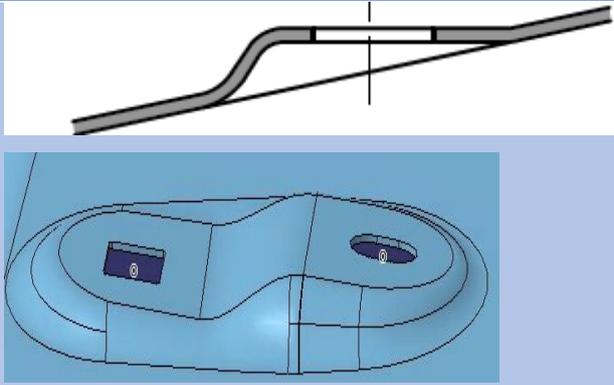
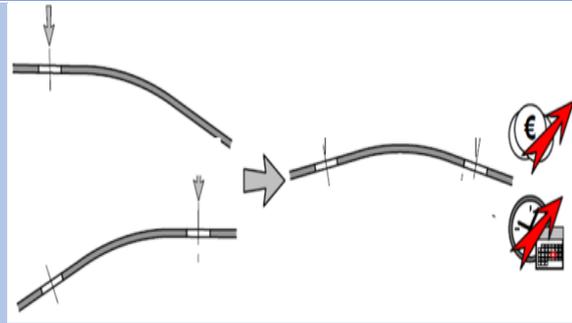
Solution 1	Solution 2
	
<p>Maccaron ou Assiette</p>	
<p>Cette solution présente plusieurs avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> Temps d'opération court Prix moins couteux puisqu'elle ne necessite pas un poste supplémentaire pour faire l'opération Mesures exactes 	<p>Cette solution offre des mesures exactes, mais elle présente des inconvénients comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> Prix élevé puisqu'elle nécessite deux postes pour faire l'opération de poinçonnage Temps d'opération élevé

Tableau 6 : solutions proposées pour modifier la direction du poinçonnage

a) **Solution choisie**

On a choisi la solution 1 parce qu'elle présente plusieurs avantages discutés précédemment.

b) **Résultats**

Le tableau 2 montre le nouveau cout de l'outillage utilisé pour la fabrication du renfort arrière arc pavillon après la modification de la direction du poinçonnage.

DFNUc	
Nombre de postes	4 postes avec poinçonnages à cames
Cout d'outillages (€)	33000

Tableau 7 : le nouveau cout d'outillages du renfort arrière arc pavillon

Cette solution a permis de réduire le cout d'outillage du renfort arrière arc pavillon de 40000€ à 33000 €, ce qui nous apporte un gain de 7000 €.

2. Améliorations du produit

Les simulations d'emboutissage a révélé des défauts vus dans le chapitre 3, et la mesure des distances entre les différentes opérations a montré une distance invalide entre le détournage et l'ajourage dans le cas du renfort arrière arc pavillon et la non faisabilité du tombage du renfort serrure porte avant, de ce fait, on a proposé des solutions pour remédier à chacun des défauts.

2.1. Améliorations sur le renfort arrière arc pavillon

2.1.1. L'apport des améliorations nécessaires pour remédier aux défauts

a) Risque de rupture

Le risque de rupture est en réalité un amincissement trop excessif qui se transformera rapidement en rupture lorsque la pièce arrive à la peinture, de ce fait, On a proposé d'augmenter le rayon afin de réduire cet amincissement très excessif.

L'augmentation du rayon doit respecter l'environnement (la pièce assemblée avec notre produit et la distance entre la fin du rayon d'embouti et le point de soudure), comme on peut le voir sur la figure 1

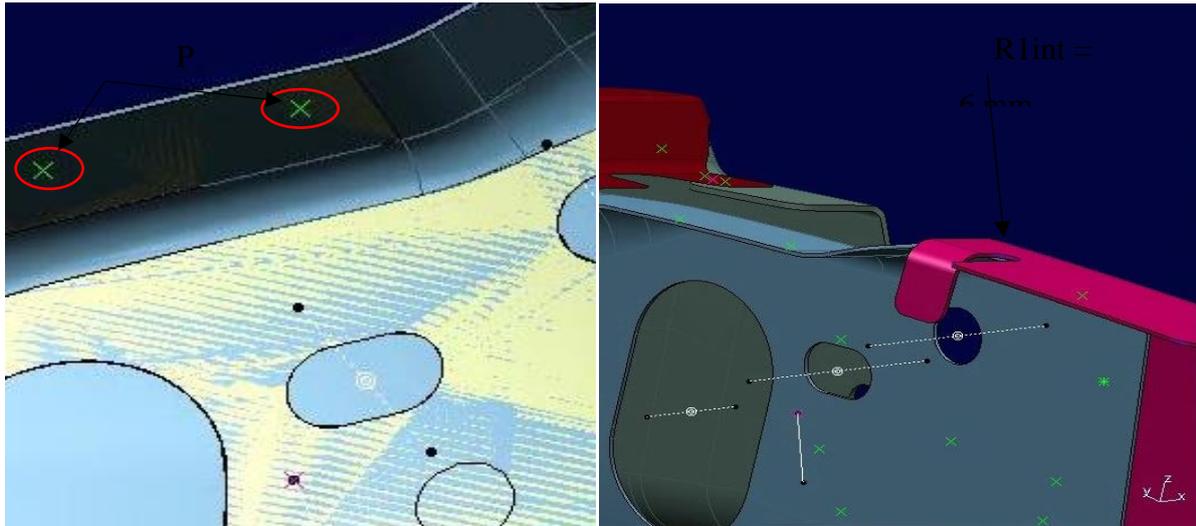


Figure 71 : l'environnement à respecter pour l'augmentation du rayon

On va appliquer une règle pour les rayons extrait de la règle des 3P (voir annexe1), comme on peut le voir sur la figure 2

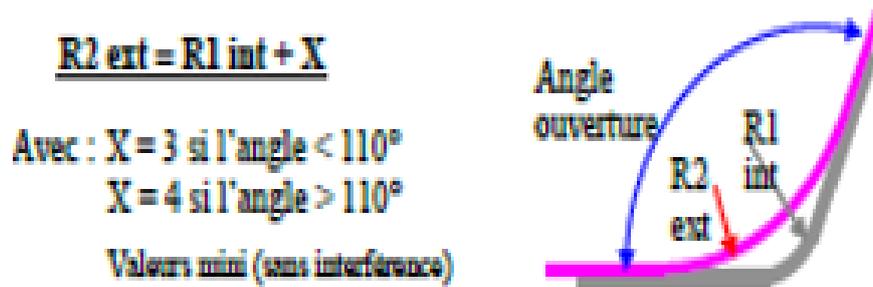


Figure 72 : règle pour les rayons

La mesure de l'angle est présentée dans la figure 3

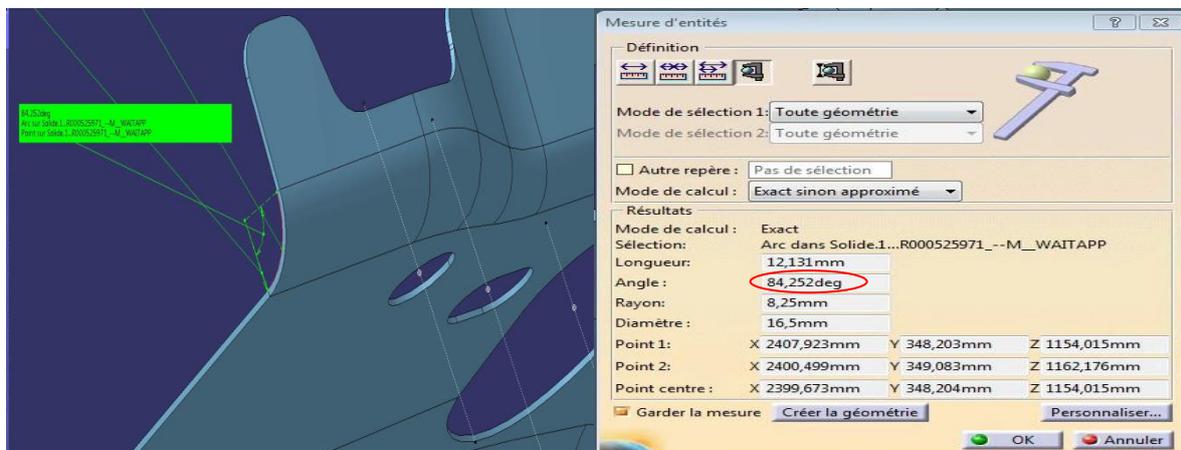


Figure 73 :l'angle d'ouverture

Dans notre cas, l'angle $\lt; 110^\circ$, donc :

$R_{2ext} = 9 \text{ mm}$

Avec $x = 3 \text{ mm}$

Par la suite, on vérifie que la distance entre les points de soudure et la fin du rayon est supérieure ou égale à 7 mm (voir figure 4).

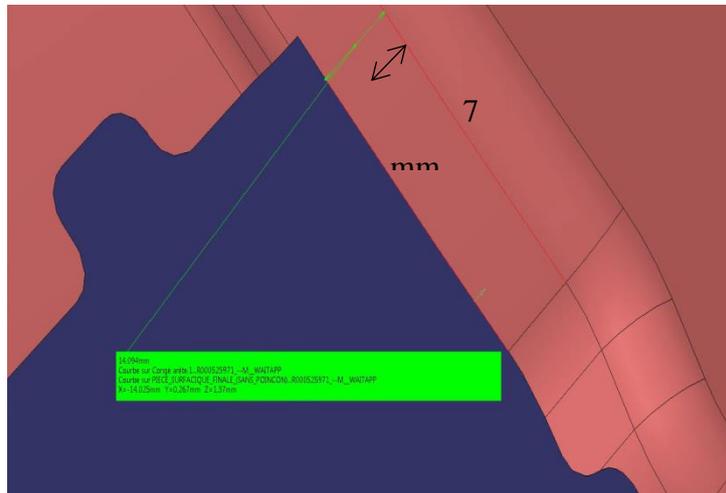


Figure 74 : distance entre PSE et fin de rayon

On déduit que la distance entre PSE et fin de rayon est bien vérifiée.

b) L'épaissement

L'épaissement provoque l'apparition des ondulations, ce qui impacte l'assemblage final de la pièce, de ce fait, on a proposé deux solutions présentées dans le tableau 1

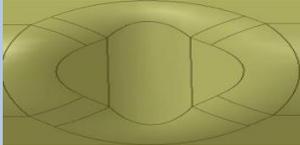
Solution 1	Solution 2
Serrer plus le flan	Créer deux bulldozers 
Cette solution présente l'avantage de supprimer les ondulations, mais il risque de provoquer un amincissement excessif au niveau des coins.	Cette solution présente des avantages : Prix moins couteux puisqu'elle ne nécessite pas un poste supplémentaire pour faire l'opération Eviter l'épaissement.

Tableau 8 : solutions proposées pour le défaut d'épaissement

- **Solution choisie**

On a choisi la solution 2 parce qu'elle présente plusieurs avantages discutés précédemment.

c) **La déformation insuffisante**

La déformation insuffisante impacte la géométrie de la pièce, du coup, on a proposé d'ajouter une opération de **calibrage** afin d'assurer la conformité géométrique.

d) **La compression**

Ce défaut ne présente pas de risque pour l'environnement, mais il influence sur l'aspect de la pièce puisqu'il donne des petits plis, on a décidé de négliger ce défaut, puisqu'il s'agit d'**une pièce de structure**

e) **L'impossibilité de détournage**

Afin de pouvoir faire l'opération de détournage, on a proposé deux solutions présentées dans le tableau 1

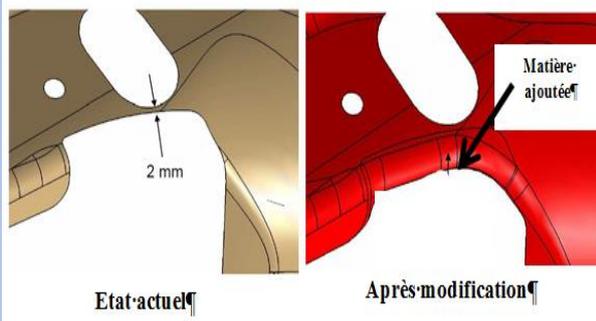
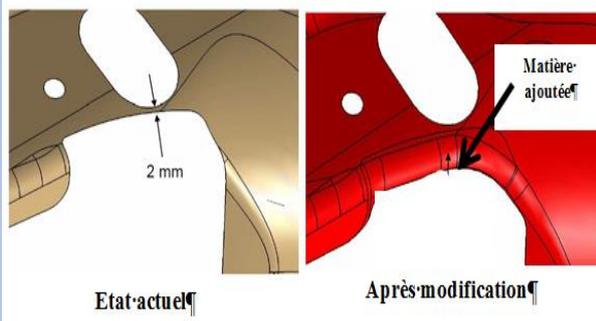
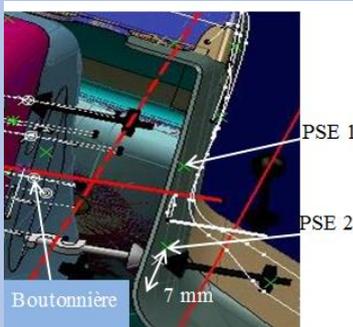
Solution 1		Solution 2	
Déplacer la boutonnière		Ajout de matière	
 <p>Etat actuel</p>		 <p>Après modification</p>	
Avantage	Inconvénient	Avantage	Inconvénient
Détourage possible	La boutonnière est un trou de passage pince pour faire les deux PSE, le déplacement de la boutonnière entrainera le déplacement de ces deux PSE, ce qui est impossible.	Détourage possible	L'augmentation de la masse nette, ce qui augmente un petit peu le CUM.
	 <p>Boutonnière 7 mm</p> <p>PSE 1</p> <p>PSE 2</p>		

Tableau 9 : solutions proposées pour l'impossibilité de détourage

- **Solution choisie**

La solution 1 présente un risque grave du déplacement des PSE, de ce fait, On a choisi la solution 2, malgré son impact économique.

2.2. Améliorations sur le renfort serrure porte avant

2.2.1. L'apport des améliorations nécessaires pour remédier aux défauts

a) Rupture au niveau du rayon de tombage

Ce défaut est causé par le surplus de matière pendant l'opération de tombage, du coup, on a proposé de faire un échancrage au niveau du rayon tout en respectant la hauteur minimum du bord (voir annexe 2), le résultat est présenté dans la figure 2

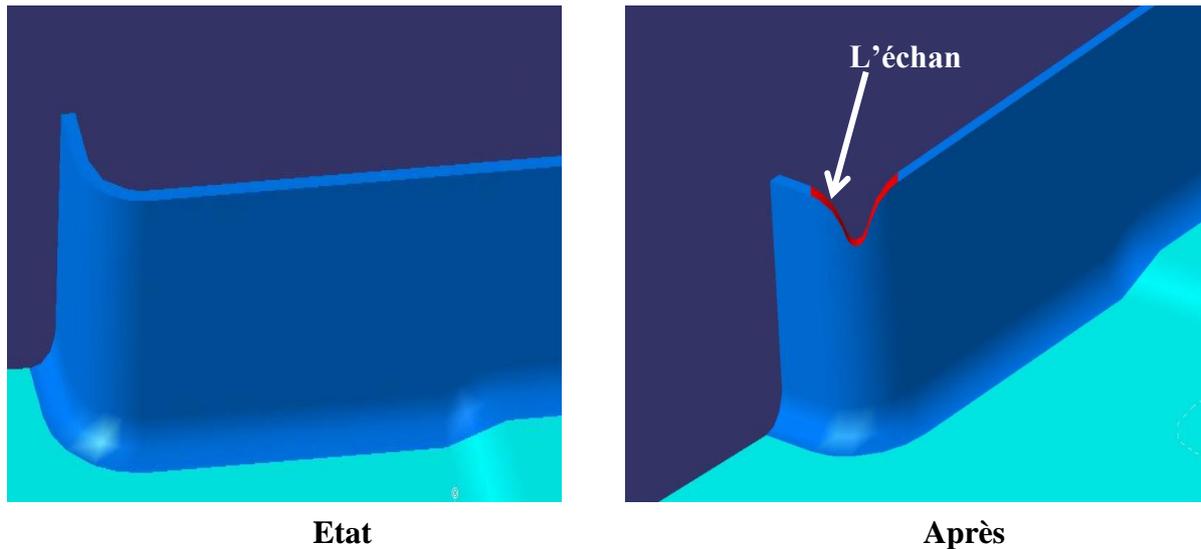


Figure 2 : solution proposée pour éviter la rupture

b) Rupture proche du bulldozer

La casse de bord est générée par le bulldozer, ce dernier a tiré plus de matière pendant l'opération d'emboutissage à cause de sa grande profondeur, du coup, on a proposé deux solutions :

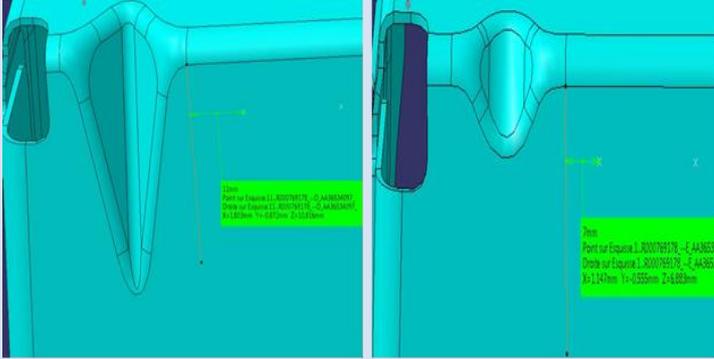
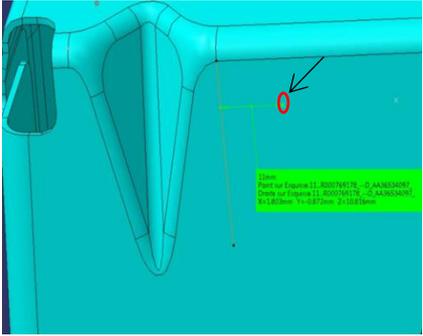
Solution 1	Solution 2
<p>Déplacer le bulldozer</p>	<p>Réduire la profondeur du bulldozer</p>  <p>Etat actuel Après modification</p>
<p>Le déplacement du bulldozer présente l'avantage d'éviter la casse, mais l'inconvénient de s'approcher au point de soudure</p> 	<p>Cette solution est plus avantageuse, puisqu'elle n'impacte pas les PSE, et évite la casse dans le bord</p>

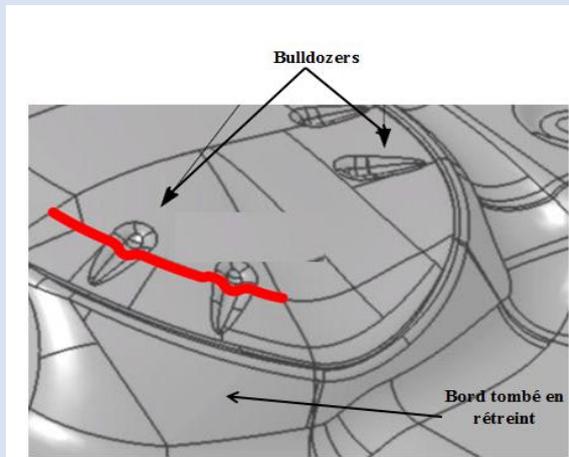
Tableau 10 : solutions proposées pour la casse de bord

- **Solution choisie**

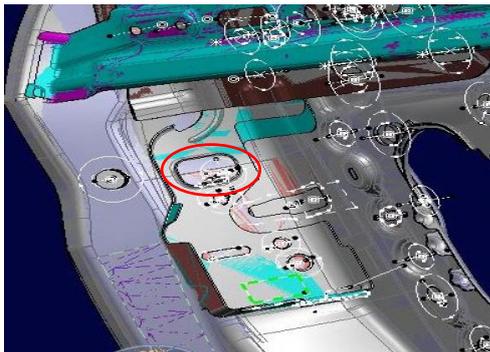
On a choisi la solution 2 parce qu'elle présente plusieurs avantages discutés précédemment.

c) **La non faisabilité du tombage du renfort serrure porte avant**

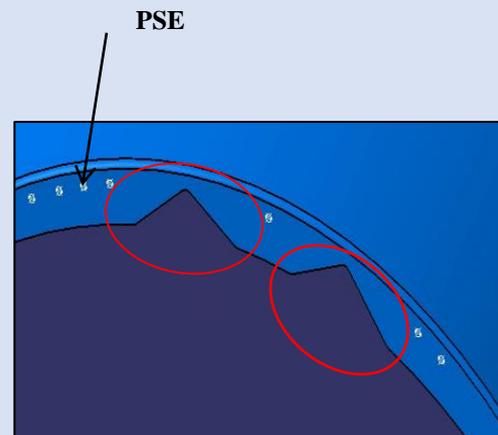
Afin de pouvoir faire l'opération de tombage, on a proposé deux solutions présentées dans le tableau 1

Solution 1**Créer des emboutis appelés bulldozers**

Cette solution présente l'avantage de créer une réserve de matière et rendre faisable le tombage du bord, mais l'inconvénient sur l'environnement

- **Solution choisie**

On a choisi la solution 2 parce qu'elle présente plusieurs avantages discutés précédemment.

Solution 2**Faire des échancrages**

Cette solution a deux avantages :

Eliminer le surplus de matière

Assemblage réussi avec la doublure de porte

III. Phase : contrôler

Le but de cette phase est d'évaluer les deux pièces en effectuant la simulation d'emboutissage, pour vérifier les améliorations mises en œuvre.

1. Renfort serrure porte avant

La figure 1 présente le résultat de simulation, Après la mise en œuvre des améliorations.

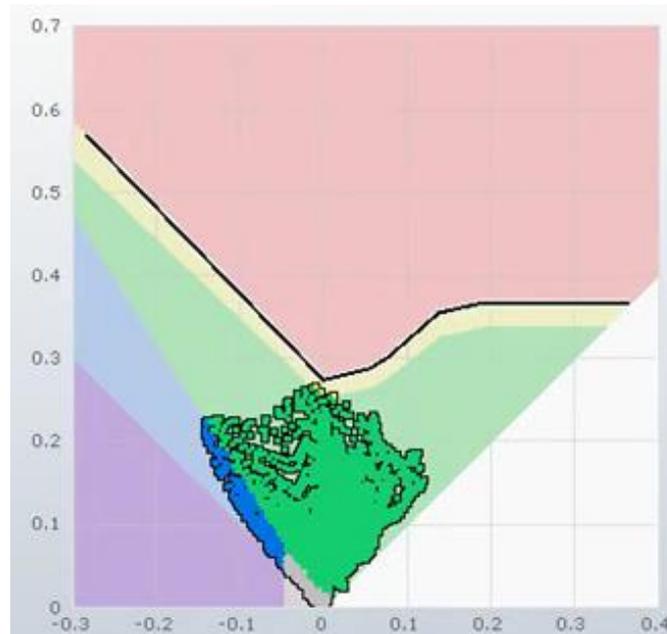


Figure 75 : la simulation du renfort serrure porte avant après les améliorations

Le résultat montre que la pièce est saine.

2. Renfort arrière arc pavillon

La figure 2 présente le résultat de simulation avec **la force de serrage nominal**, Après la mise en œuvre des améliorations

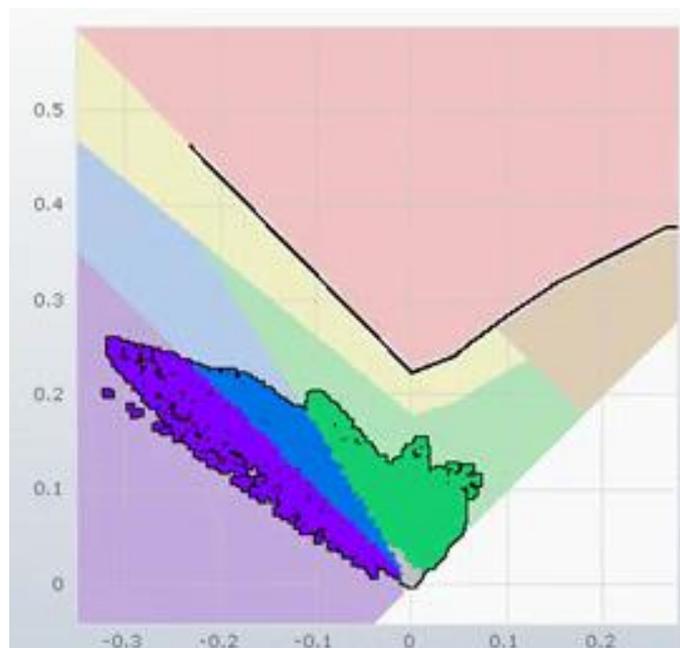


Figure 76 : la simulation avec la force de serrage nominal après les améliorations

Le résultat montre que la pièce est saine, en appliquant la force de serrage nominal, avec des défauts de compression et d'épaississement qu'on va les négliger puisqu'ils se situent dans les zones des chutes.

La figure 2 présente le résultat de simulation avec **le FAT TEST 30%**, Après la mise en œuvre des améliorations

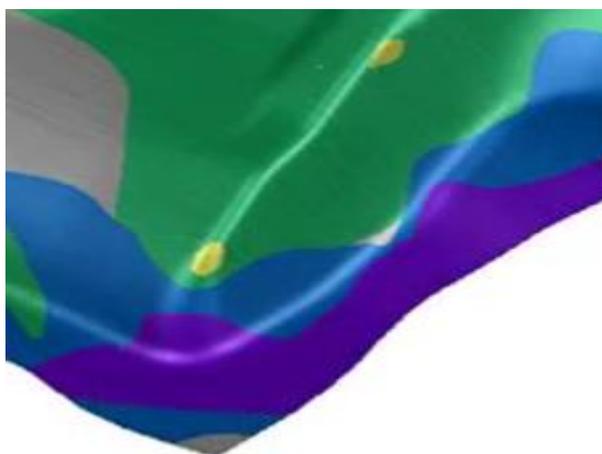


Figure 77 : la simulation avec FATTEST +30% après les améliorations

Malgré les améliorations faites dans la phase d'amélioration, la simulation montre des casses au niveau du rayon, dans le cas d'augmentation du serrage du flan de 30% (FAT TEST 30%), de ce fait, on a proposé de **modifier le matériau**.

2.1. Modification du matériau du renfort arrière arc pavillon

Dans cette partie on va utiliser le logiciel **CES EduPack** du choix des matériaux pour générer les meilleurs matériaux, en se basant sur les critères suivants :

- **Meilleure limite élastique.**
- **Résistance à la compression le maximum possible.**
- **Bonne formabilité avec un meilleur prix.**

Le premier filtrage nous a permis de choisir 27 matériaux, comme on peut le voir sur la figure 1

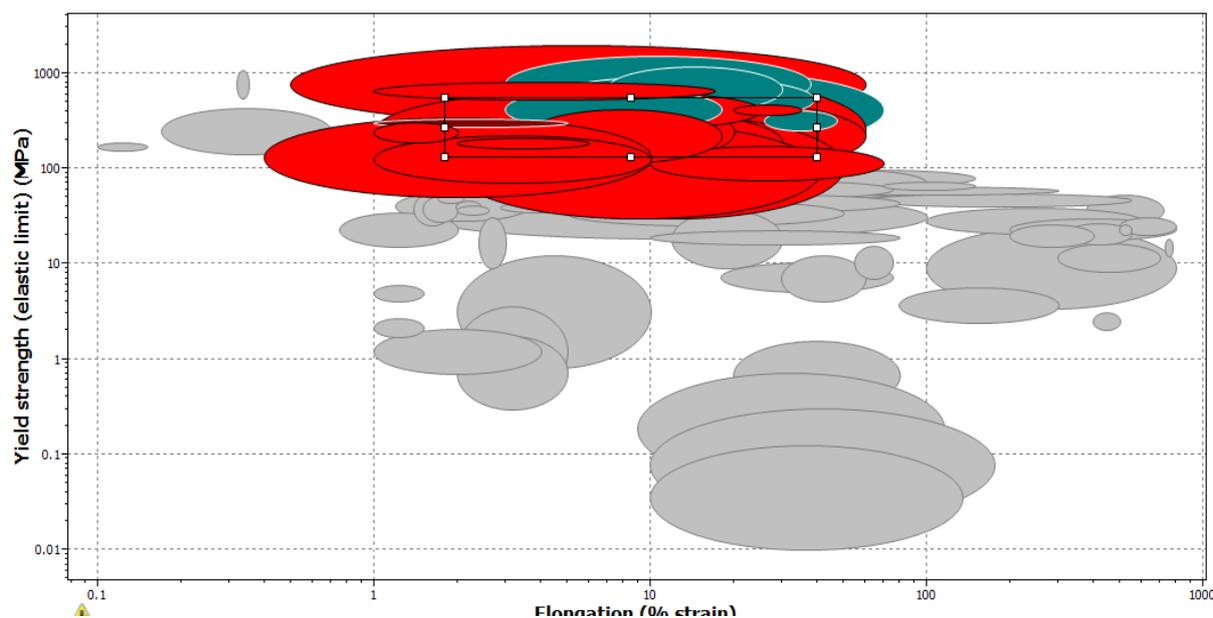


Figure 78 : premier filtrage du choix de matériau

Ensuite, on a passé au deuxième filtrage (la résistance à la compression et la masse volumique) qui nous a permis de choisir 13 matériaux, comme on peut le voir sur la figure 2

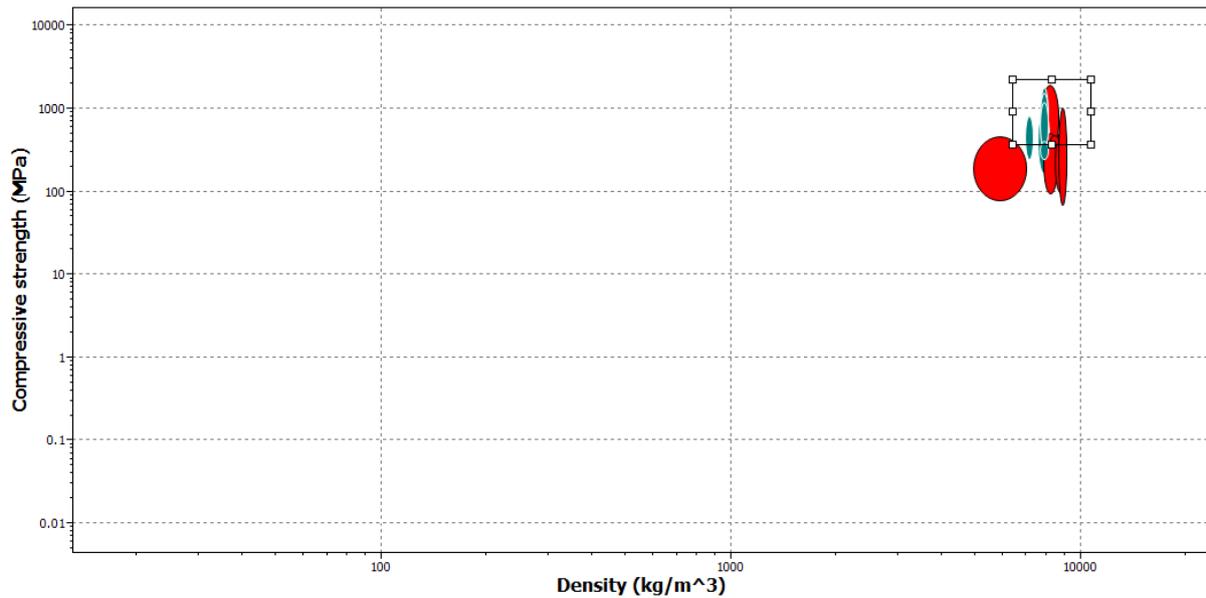


Figure 79 : deuxième filtrage du choix de matériau

Enfin, on a effectué le dernier filtrage en se basant sur la formabilité de la pièce et le prix, ce qui nous a permis de choisir 3 matériaux :

Acier faiblement allié, Acier à haute teneur de Carbone et l'acier à faible teneur de Carbone

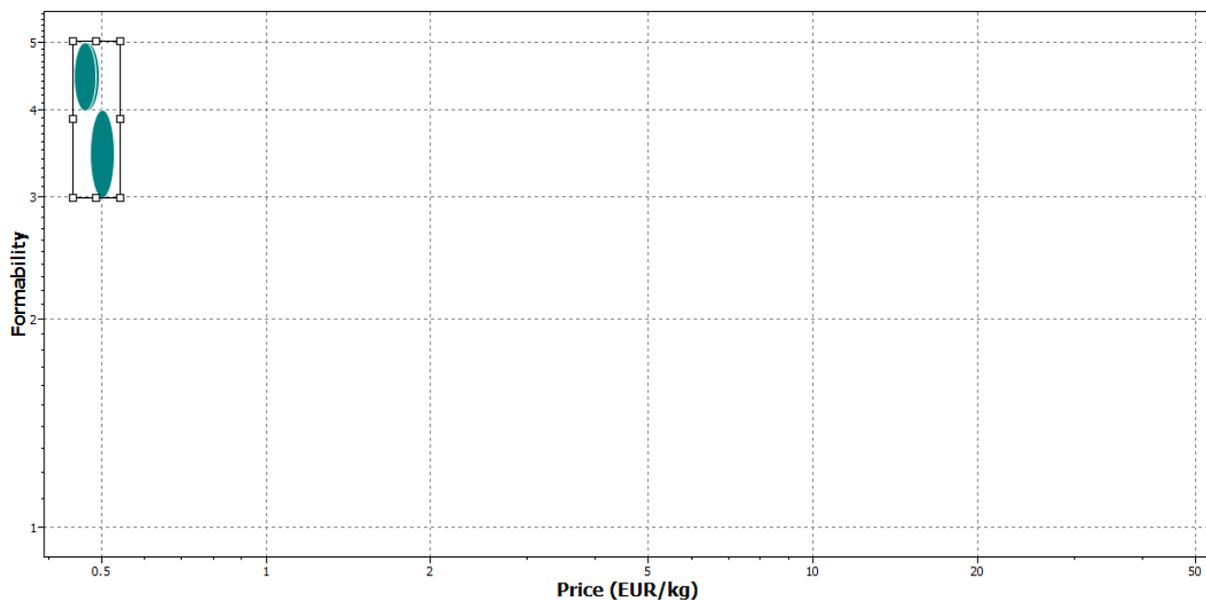


Figure 80 : dernier filtrage du choix de matériau

On a choisi l'acier faiblement allié, car c'est le matériau qui est disponible chez **PSA**

2.2. La vérification après modification du matériau

La figure 2 présente la simulation du renfort arrière arc pavillon, avec le FATTEST +30%

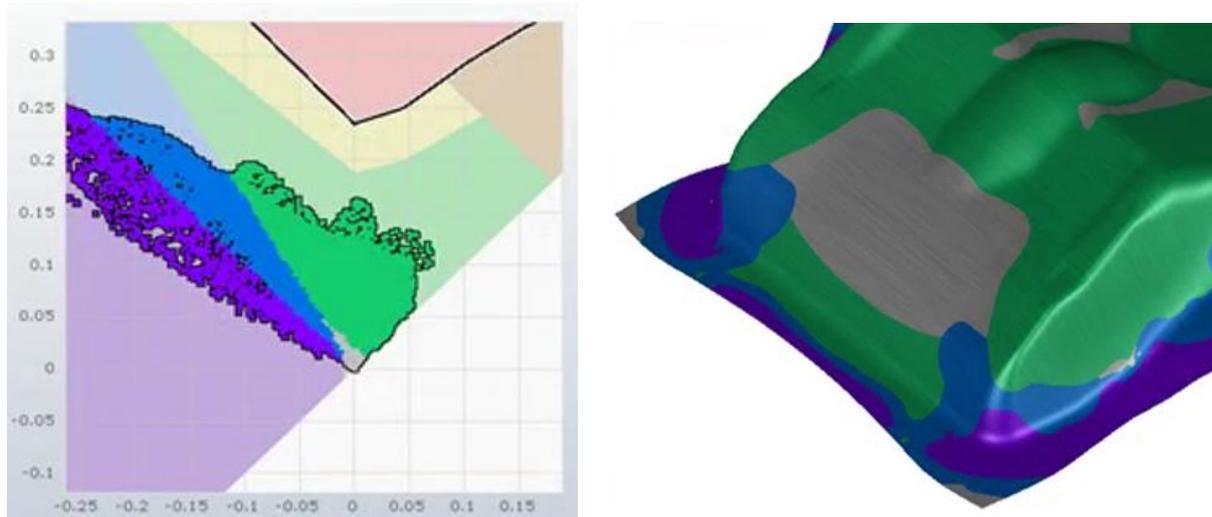


Figure 81 : simulation du renfort arrière arc pavillon après modification du matériau

La modification du matériau nous a permis de résoudre le problème d'amincissement excessif apparue dans le FATTEST + 30%.

IV. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons détaillé les actions mises en place pour mettre fin aux problèmes techniques et économiques des deux pièces. Pour ce faire nous avons commencé par la proposition des solutions adéquates qui pourront remédier aux problèmes et choisir les meilleures solutions qui coutent moins cher, Ensuite, nous avons entamé la partie de contrôle pour valider la faisabilité technique des deux pièces après la proposition des améliorations.

Conclusion Et Perspectives

En guise de conclusion, nous rappelons que notre thématique s'est portée sur la faisabilité produit\process des pièces embouties pour l'automobile.

Afin d'aboutir aux objectifs fixés, nous nous sommes basés sur la méthodologie Lean appliquée à travers la démarche DMAIC, qui met à disposition des outils structurés assurant la bonne conduite du projet.

Nous avons commencé par définir le projet, ensuite nous avons entamé l'étape 'Mesurer', Dans lequel nous avons trouvé que les différents poinçonnages du renfort arrière arc pavillon seront faits à coulisseau ce qui nécessite un cout d'outillages élevé (69000 €).

Dans l'étape « analyser », nous avons trouvé des défauts qui menacent la qualité des deux pièces

À l'issue des résultats trouvés lors des étapes « mesurer » et « analyser » nous avons pu proposer des solutions d'amélioration de la situation actuelle, ce qui nous a permis d'obtenir un gain total de 282399,3 €.

Durant la dernière étape « Contrôler », nous avons vérifié les solutions techniques par la simulation d'emboutissage, Dans lequel on a trouvé un risque de rupture au niveau du renfort arrière arc pavillon (FATTEST +30%) malgré les améliorations proposées, cela nous a obligé de modifier le matériau, ainsi le choix de matériau nous a donné l'acier faiblement allié.

Enfin, nous avons vérifié ce choix par la simulation, cela nous a donné un résultat sain.

Comme perspectives notre vision est d'organiser les réunions en direct avec les autres métiers au lieu de les organiser en ligne, afin de faciliter la communication entre les différents services dans le cadre de la convergence produit\process.

Bibliographie

[ALAIN_COL]_L'EMBOUTISSAGE_DES_ACIERS(BOOKZZ.ORG)

[HTTP://SLIDEPLAYER.FR/SLIDE/2571855/](http://SLIDEPLAYER.FR/SLIDE/2571855/)

[HTTP://WWW.TECHMANIA.FR/PSA-AUTOM/PARENT.SWF](http://WWW.TECHMANIA.FR/PSA-AUTOM/PARENT.SWF)

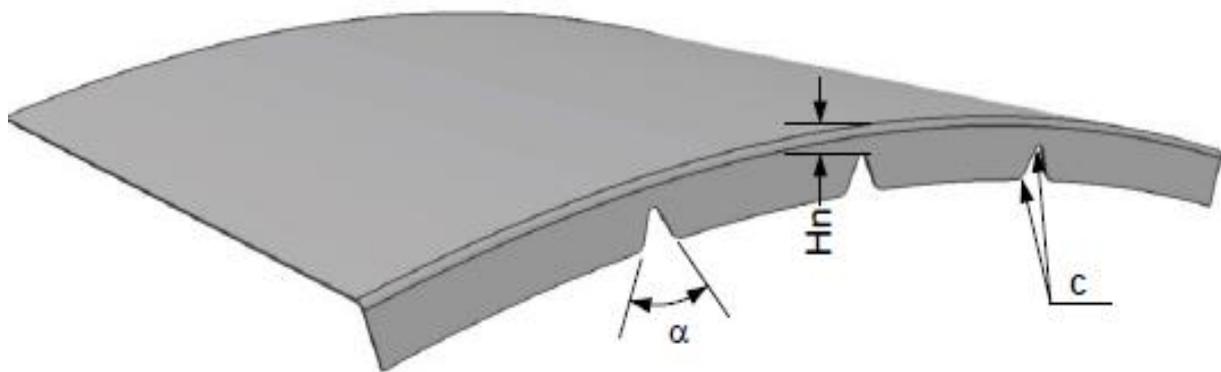
[HTTP://WWW.ROCDACIER.COM/RESSOURCE.N.266/COURS-SUR-L-EMBOUTISSAGE.HTML](http://WWW.ROCDACIER.COM/RESSOURCE.N.266/COURS-SUR-L-EMBOUTISSAGE.HTML)

[8] [HTTP://FR.WIKIPEDIA.ORG](http://FR.WIKIPEDIA.ORG)

[HTTPS://DUMAS.CCSD.CNRS.FR/DUMAS-00592326/DOCUMENT](https://DUMAS.CCSD.CNRS.FR/DUMAS-00592326/DOCUMENT)

Annexe 1 : règle des 3P

Annexe 2 : Règle d'échancrage



- La hauteur H_n doit être supérieure à H_{mini} défini par la formule : $H = R_i + r + 1,5 e$
- La distance entre 2 échancrages, est en fonction de la position des points de soudure s'il y en a.
- L'angle α doit être le plus grand possible (120° recommandé).
- Les rayons de découpe c ne doivent pas être inférieurs à 5 mm
- H_{min} étant la hauteur minimum faisable