



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du :

Diplôme d'Ingénieur d'Etat
Spécialité : **Conception Mécanique et Innovation**

« Conception et calcul d'un protecteur disque frein avant »

Effectué au sein du
ALTRAN MAROC
Département mécanique

Soutenu le 20 juin 2016

Par :
Mlle. Fatima Ezzahra BENCHAOUIA

Jury:

Pr. Mme. I. MOUTAOUAKKIL (FSTF)
Pr. Mr. J. ABOUCHITA (FSTF)
Pr. Mr. A. EL BIYAALI (FSTF)
Mr. R. NOUFISSOU (ALTRAN MAROC)

Encadré par :

- Pr. Mme. I. MOUTAOUAKKIL (FSTF)
- Mr. R. NOUFISSOU (ALTRAN MAROC)

Année Universitaire : 2015-2016

Dédicace

À ma mère, source de confiance et d'amour
Inconditionnel, aucune dédicace ne sera à la hauteur
De ses prières incessantes durant mon parcours
Scolaire pour ma réussite.

À mon père, homme de valeurs et de principes dont la vie est synonyme d'amour et
de sacrifice. Nul Sentiment ne peut exprimer ma reconnaissance envers lui.

À mon oncle et à toute ma famille, que ce travail soit témoignage d'une fraternité indéfectible
et d'amour éternel.

À tous mes amis, à toute personne qui m'a donné de l'aide pendant ma carrière
estudiantine. Trouvent en ce travail, l'hommage de ma gratitude, qu'aucun mot ne saurait
l'exprimer, leur attachement durant ces longues années.

BENCHAOUIA Fatima Ezzahra

Remerciements

Je tiens à exprimer mes gratitude et remerciements à Mme Imane AL MOUTAOUAKIL mon encadrante pédagogique, pour sa disponibilité et son assistance quant à la réalisation du projet et la rédaction du présent rapport et les conseils pertinents qu'elle m'a donné tout au long de ce travail. Encore une fois merci pour, vos conseils attentionnés, vos réponses rapides, précises et avisées qui m'ont guidé en permanence durant tout le déroulement de mon stage.

Je remercie très particulièrement mon parrain de stage M. FOUAD FARAH, mon encadrant technique M. Reda NOUFISSOU et NOTRE spécialiste M.BACHAR Fouad de m'avoir accompagné tout au cours de cette expérience avec beaucoup de patience et de pédagogie. De même, merci pour avoir su me transmettre les bons conseils, les bonnes recommandations au moment où il le fallait pour pouvoir atteindre les objectifs souhaités.

Nos gratitude s'adressent aussi à l'ensemble du personnel de ALTRAN MAROC, particulièrement à M. Zakaria WASFI , M. MOUAD SENHAJI, M. OMAR BAZZIN et M. TOURABI Khelifa , qui m'ont comblé de leurs bienveillances et amabilités, aussi à ceux ayant peu ou prou contribué à l'élaboration de ce présent rapport.

Je tiens enfin à remercier l'organisme de notre chère établissement FST Fès, et tout le corps professoral, spécialement les enseignants du département mécanique.

Résumé

Fort de sa position géopolitique et de son savoir-faire, le Royaume s'impose comme un fer de lance de l'automobile sur le continent. L'industrie automobile marocaine a enregistré une croissance remarquable au cours des dix dernières années. Une progression fulgurante qui n'est pas près de s'arrêter, puisque le Maroc est en train de se hisser parmi les plus grands constructeurs d'automobiles du monde.

Altran, étant séduit par tous ces faits, le leader de l'ingénierie et de l'innovation s'installe dans le parc d'offshoring Casanearshore renforçant ainsi les activités Near shore avec l'Europe dans les domaines de la mécanique, l'automatique et l'électronique.

Mon premier jour à Altran Maroc a eu lieu le 22 Février 2016, j'ai commencé par une formation dans l'outil CATIA et spécialement dans les modules PART DESIGN, ASSEMBLAGE, DRAFTING et l'atelier SURFACING. Afin d'avoir la compétence nécessaire pour mener à bien un projet dans le secteur automobile au sens d'Altran, mon équipe fait partie du département mécanique /CAO spécialisé dans la conception des pièces de liaison au sol.

D'où La proposition du sujet qui consiste à concevoir un protecteur disque frein avant, pour cela j'ai suivi une démarche bien enchainée pour réussir ce projet, j'ai utilisé les outils de la planification, de la conception, d'analyse qualité afin de réaliser un produit bon du premier coup et d'éviter les modifications de la définition du produit après la conception.

Abstract

With its geopolitical position and its expertise, the Kingdom stands out as a spearhead of the car on the mainland. The Moroccan automotive industry recorded a remarkable growth over the past decade. A meteoric rise that is not going to stop, because Morocco is about to become one of the largest automobile manufacturers in the world.

Altran, being seduced by all these facts, the leader in engineering and innovation moves into the park offshoring Casanearshore reinforcing the Near shore activities with Europe in the fields of mechanics, automatic and electronics.

My first day at Altran Morocco took place February 22, 2016, I started training in CATIA tool especially in the modules PART DESIGN, ASSEMBLY, DRAFTING and SURFACING workshop. In order to have the necessary competence to carry out a project in the automotive sector within the meaning of Altran, my team is part of the mechanical department / CAD specializes in the design of the connecting pieces to the ground.

Hence the proposal the subject of designing a front brake disc protector, why I followed a good approach chained to succeed in this project, I used the tools for planning, design, validation, analysis and quality to achieve a good product right the first time and avoid the change in the product definition after design.

Table des matières

Introduction générale	10
Chapitre 1:	11
I Introduction.....	12
II Groupe Altran	12
II.1 L’historique :.....	12
II.2 L’implantation	13
II.3 Les domaines d’activités.....	13
II.4 Les chiffres clés.....	14
III Altran Maroc.....	15
III.1 Missions.....	15
III.2 Les chiffres clés.....	16
III.3 Locaux Altran Maroc	17
III.4 Organigramme opérationnel.....	17
III.5 Organigramme des équipes opérationnelles	18
IV Contextualisation du projet.....	19
IV.1 Département mécanique	19
IV.1.1 Liaison au sol	20
IV.1.2 Système de freinage	21
IV.1.3 Les types de frein.....	22
IV.1.4 Les freins à disque disques	23
IV.2 Mise en place du projet.....	24
IV.2.1 Présentation et but du PFE.....	24
V Conclusion	25
Chapitre 2:	26
I Introduction.....	27
II Problématique et cahier de charge :	27
II.1 Problématique :.....	27
II.2 Cahier de charge.....	28
II.3 Planification du projet :	28
III Analyse de l’existant :	30
III.1 Présentation de l’environnement du protecteur :	30

III.2	Classification des problèmes qui attaquent le disque :	32
III.3	Etudes des protecteurs existants chez les concurrents :	36
IV	Analyse fonctionnelle	37
IV.1	Analyse du besoin.....	37
IV.2	Analyse fonctionnelle du besoin	38
IV.3	Analyse fonctionnelle technique :	40
V	Choix de la solution	43
V.1	Choix du matériau (logiciel CES).....	43
V.2	Choix du procédé d'assemblage :.....	45
V.3	Choix du procédé de fabrication	51
V.4	Le choix du concept :.....	52
VI	Conclusion	53
Chapitre 3:	54
I	Introduction.....	55
II	Conception	55
II.1	Outils de la conception.....	55
II.2	Règle de la conception	57
II.3	Conception 3D.....	58
II.4	Validation DMU/ analyse proximité :	66
III	Simulation	68
III.1	Calcul éléments finis.....	68
III.2	Tenue en fatigue vibratoire et analyse des contraintes :	73
III.3	Synthèse des résultats.....	82
III.3.1	Présentation du critère et des limites matériau	82
III.3.2	Solution ref V432 corps 1mm:.....	82
III.3.3	Solution ref V432 corps 1.2mm :.....	82
III.4	Emboutissabilité	83
III.4.1	One step	84
IV	Conclusion :.....	84
Conclusion	85

Liste des figures

Figure 1:implantation dans le monde	13
Figure 2:Les trois "Business Lines" et le cycle d'innovation	13
Figure 3 : solution principale Altran Maroc	16
Figure 4: Adresse locaux Altran Maroc	17
Figure 5:organigramme opérationnel	18
Figure 6:Département simulation	18
Figure 7:Département industriel.....	19
Figure 8: Département mécanique	19
Figure 9:Constitution de la liaison au sol	21
Figure 10:Système de freinage	22
Figure 11:Frein à disque	22
Figure 12:Eléments constitutifs du frein à disque	23
Figure 13:Mise en place du projet.....	24
Figure 14: problématique	28
Figure 15:planification des taches du projet.....	29
Figure 16:environnement protecteur	30
Figure 17: la basse température.....	33
Figure 18: disque mouillé.....	33
Figure 19: la température élevée	34
Figure 20: l'effet du gravillon.....	34
Figure 21: la bête à corne du protecteur	38
Figure 22: diagramme pieuvre du protecteur	39
Figure 23:Diagramme SADT	41
Figure 24:Diagramme FAST	42
Figure 25:Choix du matériau (logiciel CES) 1	44
Figure 26:V.1 Choix du matériau (logiciel CES) 2	44
Figure 27:Choix du matériau (logiciel CES) 3.....	45
Figure 28 Perçage écrou à sertir	46
Figure 29:assemblage par clinchage.....	49
Figure 30:assemblage par rivetage	50
Figure 31:CATIA	56
Figure 32: 3DCOM	56
Figure 33:étape 1 de la conception 3D	58
Figure 34 : étape 2 de la conception 3D	58
Figure 35:étape 3 de la conception 3D	59
Figure 36:étape 4 de la conception 3D	59
Figure 37:étape 5 de la conception 3D.....	59
Figure 38:étape 6 de la conception 3D	60
Figure 39:étape 7 de la conception 3D	60
Figure 40:étape 7 de la conception 3D	60
Figure 41:étape 8 de la conception 3D	61
Figure 42:étape 9 de la conception 3D	61

Figure 43:étape 10 de la conception 3D	61
Figure 44:étape 11 de la conception 3D	62
Figure 45:étape 12 de la conception 3D	62
Figure 46:étape 13 de la conception 3D	62
Figure 47:étape 14 de la conception 3D	62
Figure 48:étape 15 de la conception 3D	63
Figure 49:étape 16 de la conception 3D	63
Figure 50:étape 17de la conception 3D	63
Figure 51:étape 18 de la conception 3D	64
Figure 52:étape 19 de la conception 3D	64
Figure 53:étape 20 de la conception 3D	64
Figure 54:étape 21 de la conception 3D	65
Figure 55:les pattes de fixation.....	65
Figure 56:version finale d'assemblage protecteur et pattes de fixation	65
Figure 57:proximité étrier/protecteur	66
Figure 58:proximité protecteur/pivot	67
Figure 59:proximité pivot/flexible	67
Figure 60:proximité protecteur/disque	67
Figure 61: proximité protecteur/capteur de vitesse	68
Figure 62 les épaisseurs des éléments du protecteur	68
Figure 63: les surfaces de contact.....	70
Figure 64: les surfaces de contact.....	70
Figure 65:vissage par pattes de fixation	71
Figure 66: résultat du maillage 1	72
Figure 67:résultat du maillage 2	72
Figure 68:résultat du maillage 3	73
Figure 69:résultat du maillage 4	73

Liste des tableaux

Tableau 1 : les chiffres clés Altran Maroc.....	16
Tableau 2 : les éléments de l'environnement du protecteur.....	32
Tableau 3:protecteurs existants chez les concurrents	37
Tableau 4: QQQQCP du projet	38
Tableau 5: Le cahier de charge fonctionnel.....	40
Tableau 6 les types des écrous sertis	47
Tableau 7: les informations sur les écrous sertis	47
Tableau 8: étude comparative clinchage rivetage.....	51
Tableau 9 grille de la décision.....	53
Tableau 10:informations sur le protecteur à concevoir	53
Tableau 11:les cotes fonctionnelles.....	58
Tableau 12: les éléments de l'environnement.....	66
Tableau 13:Les données matériau ALU	69
Tableau 14:Les données matériaux ACIER	69
Tableau 15: Solution ref V432 corps 1mm	82
Tableau 16:Solution ref V432 corps 1.2mm	82
Tableau 17:Solution ref V432 corps 1mm	83

Introduction générale

L'entreprise ALTRAN est un Leader mondial du conseil en innovation et ingénierie avancée, Pour son client en industrie automobile La productivité s'organise autour de l'approfondissement d'une trajectoire technologique constituée de trois éléments : le moteur thermique, la carrosserie en acier, et le système de transmission mécanique. Altran de Casablanca emploiera pour l'essentiel des ingénieurs et techniciens spécialisés dans la CAO (conception assistée par ordinateur), le calcul scientifique, la documentation technique et la conduite de projets sur des éléments de futurs véhicules du constructeur.

Vu la grande importance du Projet de fin d'études dans la formation d'ingénieur, qui se présente comme un projet complet en situation professionnelle et marquant en même temps la fin de la formation, J'ai jugé nécessaire de bien choisir le contexte où il va se structurer et prendre sa forme finale, alors mon choix s'est dirigé vers Altran Maroc dont l'activité dispose d'un lien direct avec la nature de ma formation d'ingénieur, et dont la stratégie se base essentiellement sur la collaboration et le travail en groupe qui développe une dynamique du groupe et un travail collectif, me mettant en conséquent sur le droit chemin pour mettre en pratique les enseignements reçus au sein de notre faculté et me permettant ainsi d'affirmer mon savoir-faire et à considérer mes compétences.

Mon projet de fin d'étude sera décomposé en trois parties très liées :

- Dans un le premier chapitre je vais présenter l'entreprise ALTRAN, mon site d'accueil ainsi que le service que j'ai intégré, dont le contexte général du projet se mis en place.
- Le deuxième chapitre sera dédié à l'analyse et l'étude du protecteur du disque en expliquant ma mission dans ce projet, et les étapes du choix de la solution finale.
- Et en fin dans le troisième chapitre, je vais me focaliser sur la conception 3D, l'analyse de proximité, l'emboutissabilité et le calcul élément fini, afin de vérifier la robustesse de ma pièce à concevoir.

Chapitre 1:

Présentation de l'organisme d'accueil et du contexte général du projet

- ❖ Groupe Altran
- ❖ Altran Maroc
- ❖ Contexte général du projet

I Introduction

Avant de se lancer dans un projet au sein d'une entreprise, il paraît essentiel de commencer par connaître cette entité et ses domaines d'activités. Dans ce sens on commencera par présenter le groupe ALTRAN pour présenter ensuite ALTRAN MAROC dont le déroulement de mon stage de fin d'études

II Groupe Altran

Altran accompagne les entreprises tout au long de leurs 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.

II.1 L'historique :

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. Pays d'origine au cœur du développement du Groupe, la France représente aujourd'hui environ 50% des activités mondiales autour de deux grands métiers :

- Le monde des technologies et de l'innovation
- Le conseil en organisation et systèmes d'information.

Depuis plus de 30 ans, Altran anticipe le besoin croissant d'innovations technologiques dans tous les principaux secteurs d'activité en répondant à leurs enjeux économiques par le talent, les savoir-faire multidisciplinaires et les expériences multisectorielles de ses équipes. De la conception de nouveaux produits et services à l'optimisation des systèmes d'information et des processus métiers associés, Altran propose une approche unique au cœur de solutions innovantes, d'expertises métier, de nouvelles technologies et de modes d'engagement adaptés.

II.2 L'implantation

Le groupe Altran a été fondé en 1982. Il est implanté dans 26 pays dans le monde.

La figure ci-dessous montre l'implantation du groupe Altran dans le monde



Figure 1:implantation dans le monde

II.3 Les domaines d'activités

Les trois domaines, constituant le « cœur » du diagramme ci-dessus, sont : Le groupe fédère des entreprises qui officient dans trois domaines d'activités différents (appelés « Business Lines »). Les domaines d'activités - Les domaines d'activités

- **le conseil en technologies et R&D :**

C'est la capacité de mettre en œuvre le savoir-faire, les méthodes techniques et scientifiques des consultants ingénieurs pour mener à bien des projets innovants.

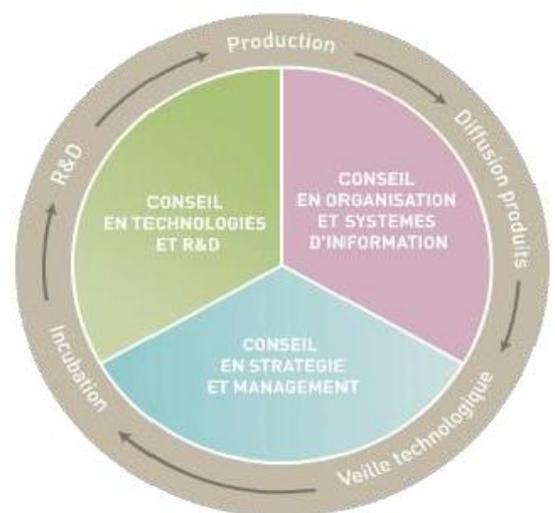


Figure 2:Les trois "Business Lines" et le cycle d'innovation

- **le conseil en organisation et systèmes d'information.**

Il permet de fournir aux entreprises la capacité de rester compétitif face aux contraintes de croissance d'entreprise, de rentabilité et de législation. Les entreprises qui font appel à Altran sur ce point cherchent à faciliter leurs prises de décisions, leurs agilités organisationnelles.

- **Le conseil en stratégie et management**

Il permet aux entreprises de maîtriser leur environnement et d'anticiper les évolutions du secteur dans lesquelles elles travaillent. Cela leurs permettent d'augmenter leurs potentiel de succès sur le long terme.

Comme le présente la « couronne » sur le schéma 2, le positionnement des trois domaines d'activités permet de couvrir totalement un cycle de produit.

II.4 Les chiffres clés

- Les consultants sont les personnes qui effectuent la réalisation des projets. Ils ont le profil ingénieur. On retrouve deux types de compétences : les experts et les chefs de projet. Les experts sont spécialisés dans un domaine particulier. Les chefs de projet se situent à la frontière du management et de la technique. Au cours d'un projet, ils coordonnent le travail de plusieurs autres consultants. Ils peuvent demander l'accompagnement de consultants experts dans un domaine. Les consultants de la direction des offres ont des rôles souvent plus transversaux : ils interviennent pour répondre aux appels d'offres publics, ils organisent les fonctions liés à la Qualité.

- Les managers ont trois rôles principaux : le recrutement, le management d'une équipe et la relation commerciale. Ainsi, ils démarchent les clients pour trouver des projets à réaliser. En fonction des demandes des clients, ils recherchent les compétences parmi les personnes disponibles au sein d'Altran. Ils se mettent généralement en rapport avec les consultants pour

- bénéficier de l'avis technique de ces derniers lors de la phase de décision des projets. Ils participent aux négociations et aux chiffrages financiers des projets.
- Les équipes administratives et la direction des Ressources Humaines apportent leur support à tous les niveaux de l'organisation.
- Le directeur opérationnel oriente la politique du groupe au niveau régional. Il sollicite les managers en leur donnant une direction commerciale. C'est généralement à lui que revient la décision de lancer la réalisation d'un projet.

III Altran Maroc

III.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 jetage et dans une forte proximité culturelle et linguistique avec l’Europe, Altran Maroc s’intègre comme une extension d’Altran Europe.

III.2 Les chiffres clés

Le tableau ci-dessous résume les chiffres clés d’Altran Maroc.

La date de création	2013
N° d’affiliation CNSS	: 9895874
Implantation	Casablanca
Nombre de collaborateurs	Plus de 800 collaborateurs (fort développement en cours)
Industries principales	Automobile, Infrastructure et Transports, Aéronautique
Solutions principales	nos solutions couvrent cinq domaines technologiques principaux

Tableau 1 : les chiffres clés Altran Maroc



Figure 3 : solution principale Altran Maroc

III.3 Locaux Altran Maroc

Altran Maroc est installé au parc Casanearshore 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...).



Altran Maroc

1100 Bd Al Qods
 Quartier Sidi Maârouf
 Casanearshore, Shore 17
 20270 Casablanca
 Tel. : +212 (0)5 29 01 51 01

Figure 4: Adresse locaux Altran Maroc

III.4 Organigramme opérationnel

L'organigramme opérationnel sur Altran Maroc est reparti sur quatre directions, chacune propose des solutions adéquates au besoin des équipes opérationnelles.

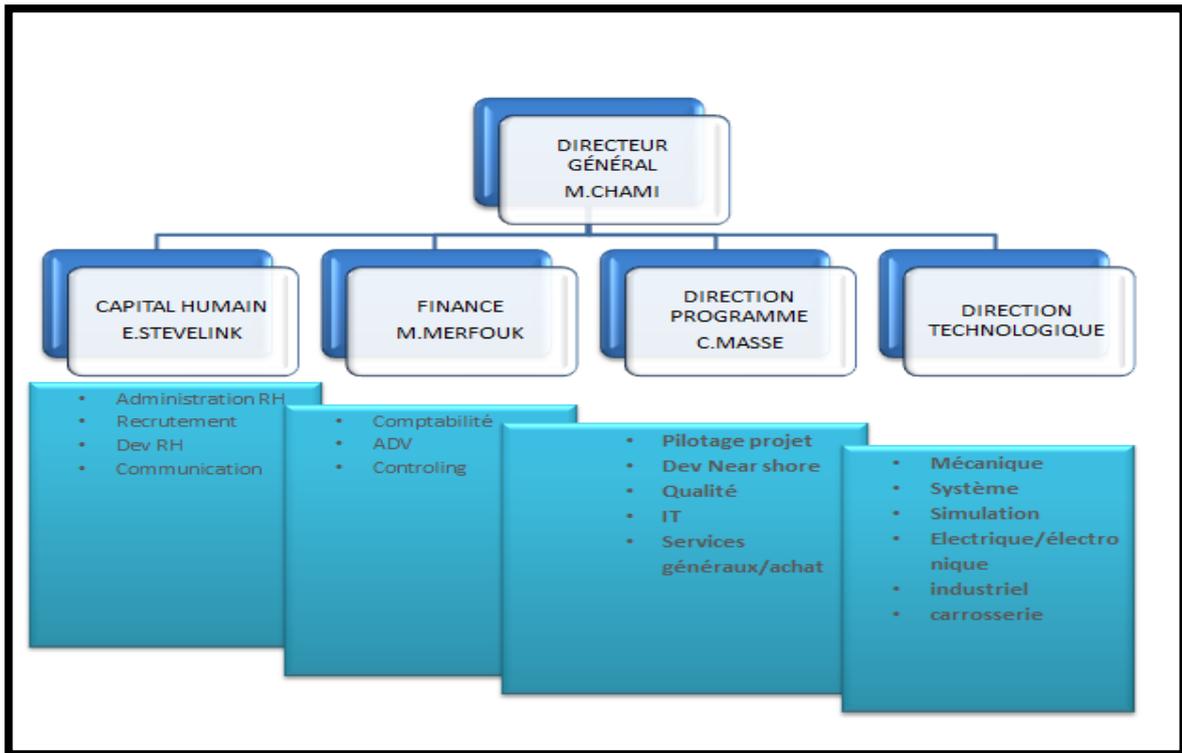


Figure 5:organigramme opérationnel

III.5 Organigramme des équipes opérationnelles

Les équipes opérationnelles sur Altran Maroc sont réparties sur quatre départements, chacun propose des solutions adéquates au besoin des clients.

Le corps du travail est l'ingénierie mécanique qui comprend l'analyse, la conception, la fabrication et la maintenance de systèmes différents. Cette solution nécessite une solide compréhension des concepts de base y compris la mécanique, thermodynamique, mécanique des fluides, sciences des matériaux et l'énergie.

-Département simulation :

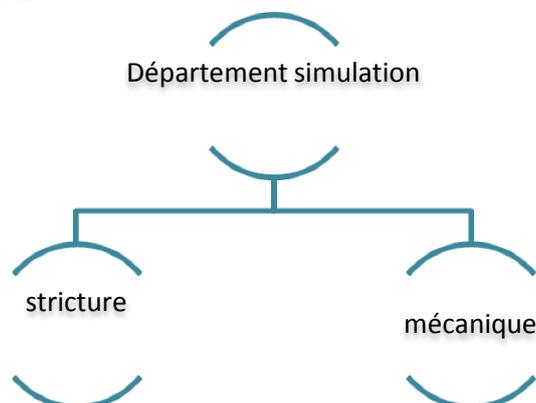


Figure 6:Département simulation

-Département industriel :

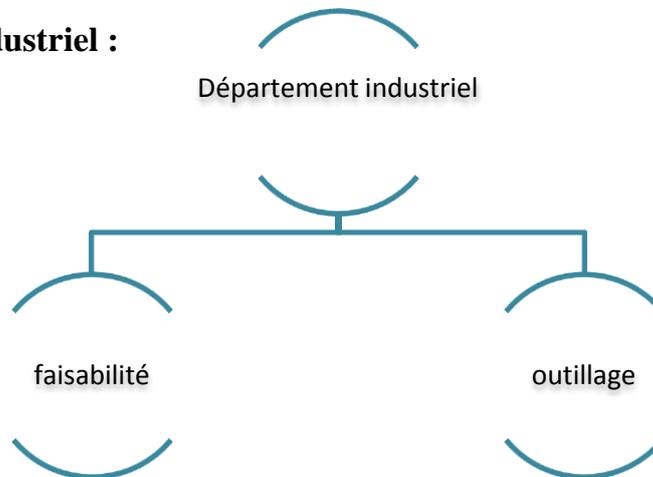


Figure 7: Département industriel

En effet il y a d'autre département à savoir le département carrosserie, département mécanique, département et électrique / électronique.

IV Contextualisation du projet

IV.1 Département mécanique

En son sein toute une équipe d'ingénieurs et de techniciens conçoivent des ensembles de pièces pour arriver à un produit (une automobile par exemple). Qui sont conduits tous aux calculs théoriques : résistance des pièces en mécanique, performances en informatique. Le département est composé de trois périmètres qui sont :

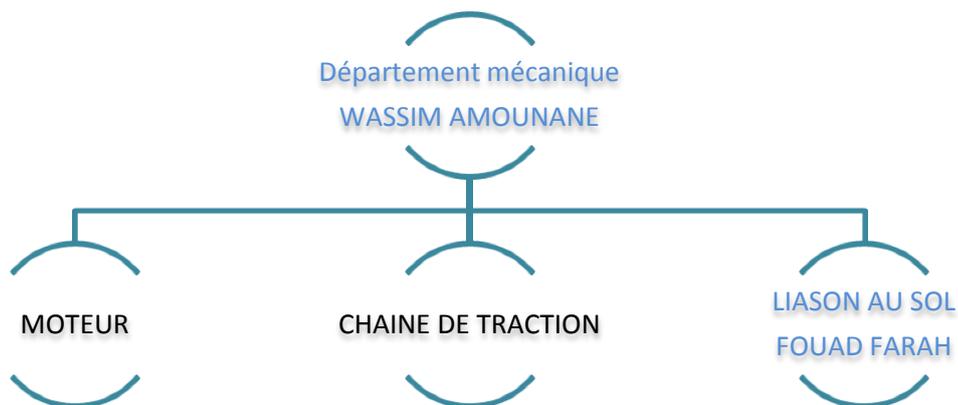


Figure 8: Département mécanique

IV.1.1 Liaison au sol

- **Définition générale.**

Un véhicule automobile est, le plus souvent, lié au sol par l'intermédiaire de quatre roues munies de pneumatiques. Elles sont numérotées de 1 à 4.

Les roues ont trois fonctions principales :

- Diriger le véhicule
- Suspender le véhicule, c'est-à-dire le découpler des irrégularités de la route
- Transmettre la puissance.

Bien que les roues soient depuis très longtemps suspendues indépendamment les unes des autres, on parle toujours de train avant et de train arrière.

Le châssis du véhicule supporte les différents organes.

Le plus souvent aussi, la puissance du moteur est transmise aux roues avant. Par contre le freinage s'effectue sur chacune des roues

- **Constitution de la liaison au sol**

- **Deux fonctions principales :**

- ✓ Porter le véhicule
- ✓ Contrôler le véhicule en circulation

- **Éléments constitutifs**

- ❖ Essieux
- ❖ Suspension
- ❖ Roue et pneumatique
- ❖ Direction
- ❖ Contrôle de trajectoire
- ❖ Freinage

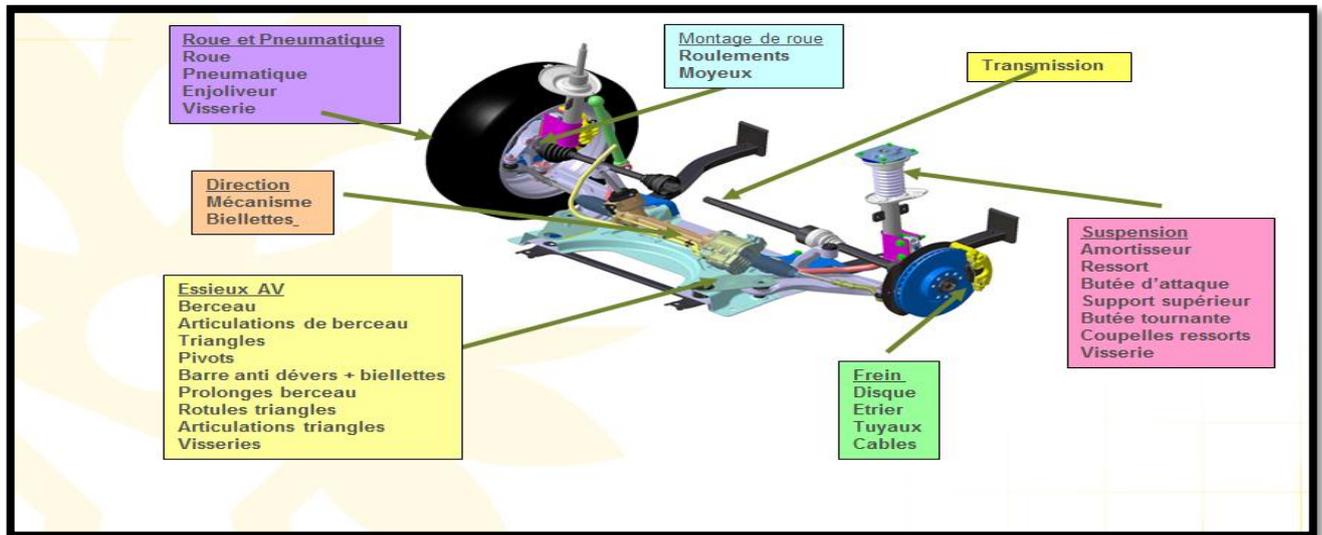


Figure 9: Constitution de la liaison au sol

IV.1.2 Système de freinage

Un frein est un système permettant de ralentir, voire d'immobiliser, les pièces en mouvement d'une machine ou d'un véhicule en cours de déplacement

Son fonctionnement repose sur la dissipation de l'énergie cinétique du véhicule (liée à la vitesse et à la masse: $E_{cin} = 1/2 \cdot m \cdot v^2$) en énergie thermique. Le frottement de pièces mobiles (rotors) sur des pièces fixes (stators) est généralement utilisé. Le frein est donc un système de conversion d'énergie cinétique en chaleur. Son efficacité est liée à la capacité de ses constituants d'assurer un frottement suffisamment important, de pouvoir dissiper rapidement la chaleur afin d'éviter la surchauffe de l'ensemble du mécanisme.

Les freins constituent un organe de sécurité important sur les véhicules, ils permettent de réduire rapidement la vitesse, et de s'arrêter afin d'éviter une collision (freinage d'urgence) entre autres.

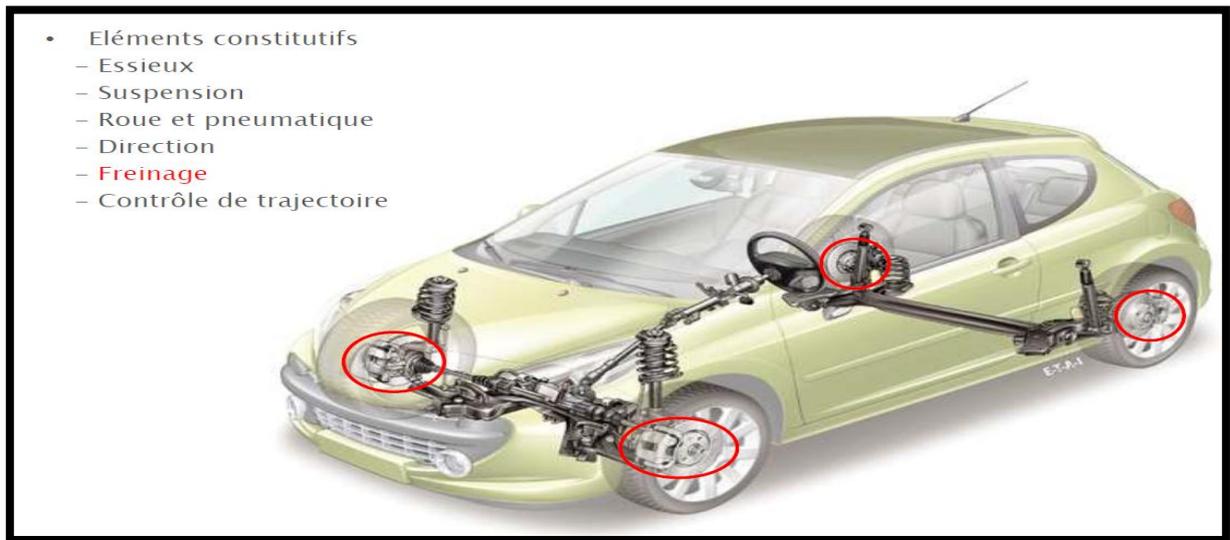


Figure 10: Système de freinage

IV.1.3 Les types de frein

- **Frein moteur**

Pour éviter de trop solliciter les freins (surtout dans les longues descentes, comme en montagne) et en cas de système de freinage défaillant ou de surchauffe, on peut utiliser ce que l'on appelle le frein moteur qui consiste à rétrograder afin de ralentir le véhicule.

- **Frein à tambour**

Le frein à tambour est constitué d'un cylindre au sein duquel des mâchoires munies de garnitures s'écartent pour réaliser le freinage, et d'un système de compensation d'usure. L'écartement est réalisé grâce à une came. Les mâchoires reviennent en position grâce à un ressort.

- **Frein à disque**

Les freins à disque, initialement utilisés dans l'aviation, font leur apparition sur automobile en 1953 aux 24 Heures du Mans sur une Jaguar type C. Celle-ci ayant remporté l'épreuve, attire tout particulièrement l'attention sur cette solution hardie. Deux ans plus tard, en octobre 1955, Citroën équipe sa DS 19 de freins à disque à

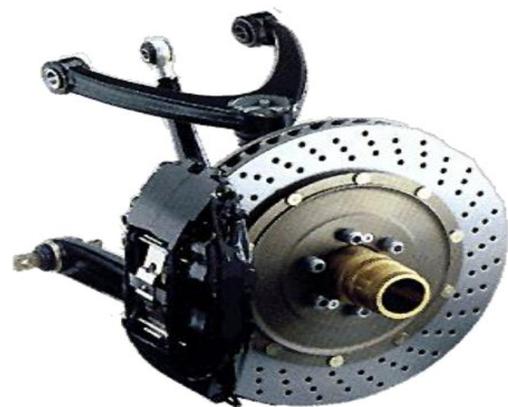


Figure 11: Frein à disque

l'avant. Les autres voitures européennes de sport et de luxe ne tardent pas à emboîter le pas. Les systèmes se multiplient (Girling, Dunlop, Bendix, etc.) et la généralisation est maintenant quasi totale pour les automobiles et motocyclettes.

IV.1.4 Les freins à disque disques

✓ Les freins à disque

- Ils ont un facteur de freinage plus faible et demandent une force d'actuation plus importante.
- Ils demandaient également des développements supplémentaires pour introduire des freins de parking

- Éléments constitutifs du frein à disque – fonctions

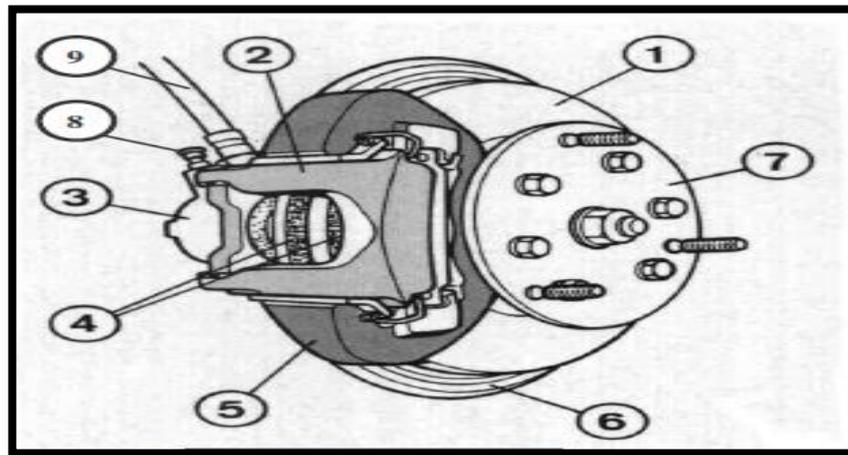


Figure 12:Éléments constitutifs du frein à disque

1: Le disque, en contact avec les plaquettes de frein, il assure la liaison entre les éléments fixes et les éléments mobiles.

2: La pince ou l'étrier, maintiennent les plaquettes de frein et transmettent l'effort de serrage par l'intermédiaire du ou des pistons.

3: Le corps de l'étrier, sorte de vérin hydraulique à simple effet, il possède un ou plusieurs pistons qui transmettent l'effort de serrage aux plaquettes.

4: Les plaquettes, éléments de friction, elles entrent en contact avec le disque de frein afin de contrôler par friction l'énergie cinétique emmagasinée

5: La chape d'étrier, élément fixe, elle est vissée sur la porte fusée, elle sert de coulisseau à la pince.

6: Le flasque de protection, c'est une tôle de protection que l'on rencontre essentiellement lors d'un montage avec freins à disques à l'arrière. Elle évite les projections de cailloux et de boue sur le système de freinage.

7: Le moyeu de roue, élément tournant, il reçoit le disque de frein, il sert à la fixation de la jante, il transmet le mouvement de la transmission à la roue.

8: La vis de purge, elle se trouve sur le corps d'étrier, elle sert à purger le circuit hydraulique, (évacuer l'air contenu dans le circuit hydraulique).

9: Le flexible de frein, il vient se fixer sur le corps d'étrier, il sert à l'alimenter en liquide de frein.

10: Les pistons, ils transforment la pression hydraulique en force, ils agissent directement sur les plaquettes de frein.

IV.2 Mise en place du projet

L'emplacement du projet dans l'entreprise est comme suivant :

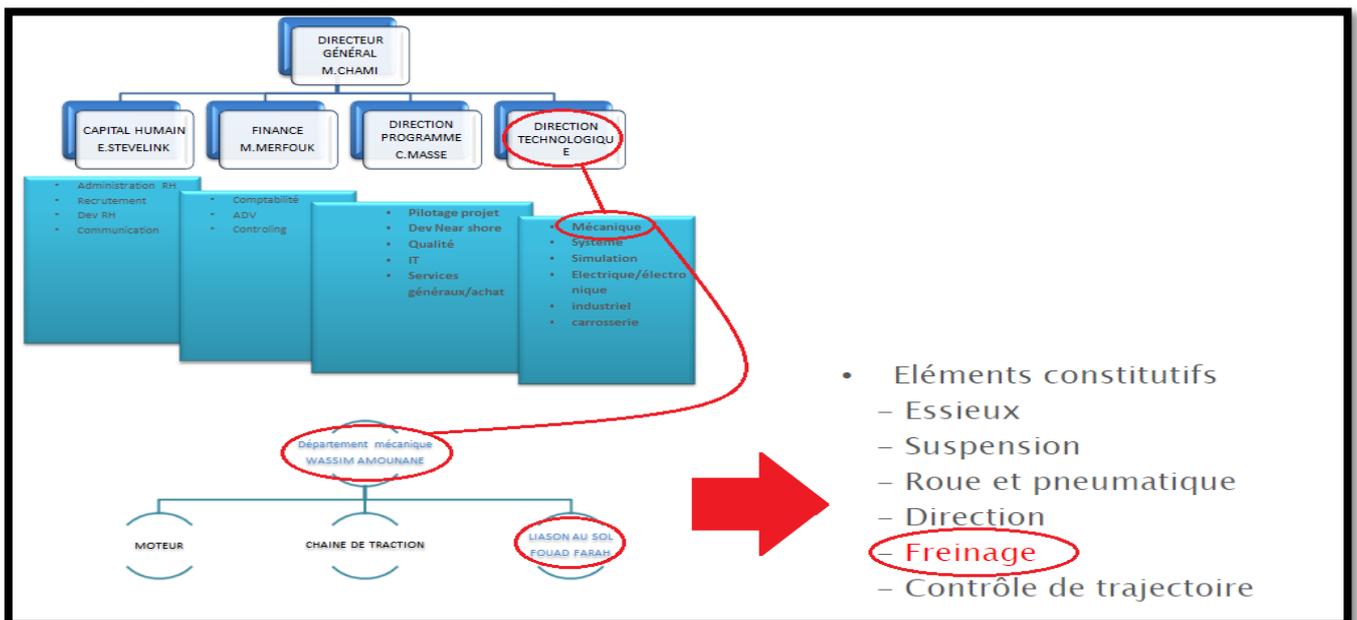


Figure 13: Mise en place du projet

A ce titre il est nécessaire de travailler en collaboration avec tous les domaines qui sont en relation avec le système de freinage, pour atteindre les objectifs de l'équipe qui s'expriment par la réalisation d'un livrable innovant de bonne qualité, Pour atteindre ces objectifs il faudra agir sur plusieurs bras de levier qui sont : la maquette numérique, le processus, la qualité, la métrologie ainsi la maintenance.

Cette mission requière une certaine autonomie ainsi qu'une bonne part d'initiative et de polyvalence.

V Conclusion

Les axes principaux de ce projet de fin d'études peuvent être résumés comme suit :

- L'analyse du besoin clôturée par le choix idéal de la solution à concevoir.
- La conception d'un protecteur qui pourra être une solution adéquate pour remédier aux problèmes créés par l'environnement sur le disque frein avant.
- L'étude technique de la solution choisie en déployant les savoirs acquis durant ma formation d'ingénierie que ce soit en mécanique ou en calcul élément finie.

Chapitre 2:

Analyse et choix de la solution du projet « protecteur disque frein avant »

- ✓ Définition de la problématique
- ✓ Analyse de l'existant
- ✓ Analyse fonctionnelle
- ✓ Choix de la solution

I Introduction

Suite au besoin exigé. Nous avons décidé de réaliser l'étude d'un protecteur frein à disque. C'est parmi les sujets qui avaient retenu notre attention, ce dernier nous a paru plus intéressant sans être trop difficile. En ce qui concerne l'étude, je vais suivre la méthodologie analytique apprise en cours, c'est-à-dire les études fonctionnelles et analyse de l'existant, ainsi qu'une étude critique reflétant mon point de vue par rapport au sujet, ses applications et son utilisation dans la vie de tous les jours en clôturant par le choix de la solution basé sur le choix du matériau.

II Problématique et cahier de charge :

II.1 Problématique :

De la première vue le frein est un produit de conception relativement simple, cependant, le fonctionnement en milieu difficile (température élevée, vibrations, poussières, projections Diverses,...) rend la maîtrise de ses réactions difficile à prévoir en toutes circonstances.

La fonction d'organe de sécurité que peut avoir un frein sur véhicule exige de la part de L'équipementier de garantir son fonctionnement dans tous les cas de figure, et cela même si le conducteur pousse le frein hors de son domaine d'utilisation habituel, le frein doit donc résister aux efforts exceptionnels. C'est dans ce cadre où l'idée de la conception d'un nouveau produit intitulé protecteur disque frein avant qui protège le disque frein contre l'environnement extérieur, la corrosion et l'efficacité sous l'eau, et qui assure la protection thermique des rotules et les capteurs de vitesse de la roue.

Voilà un diagramme qui explique la source du problème :

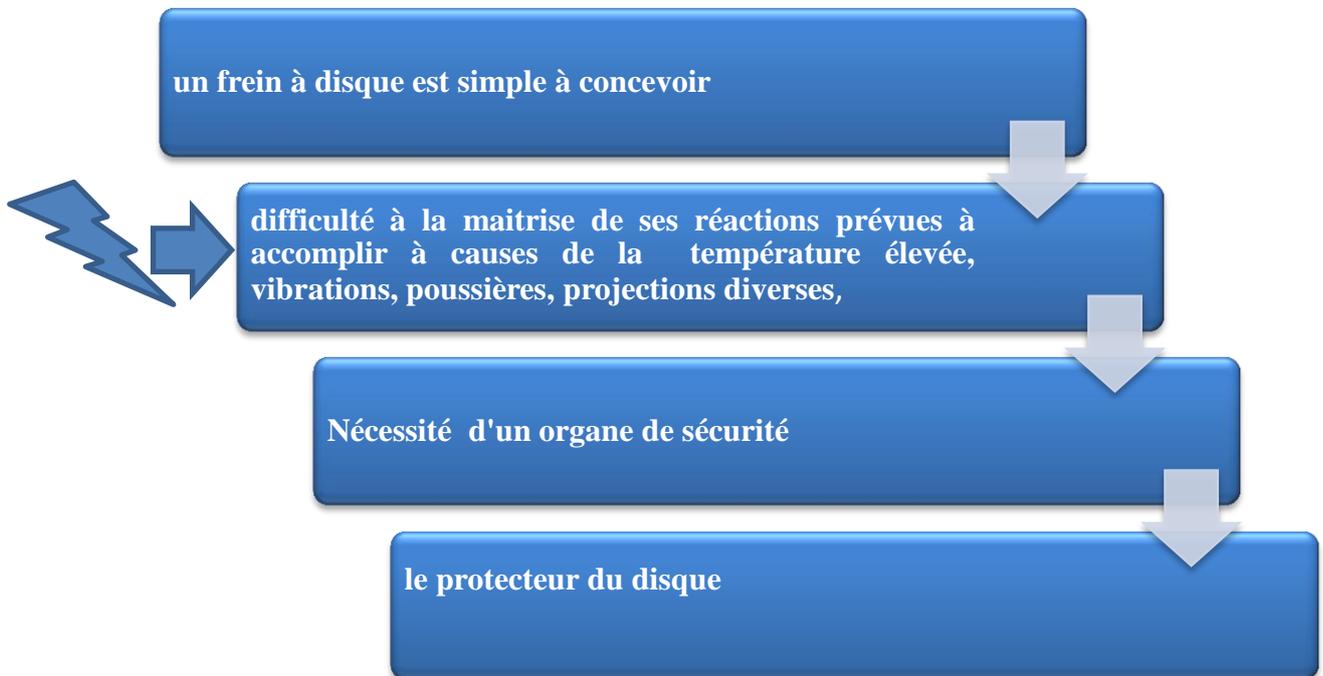


Figure 14: problématique

II.2 Cahier de charge

Le travail demandé est de Concevoir un produit qui protège le disque frein contre l'environnement extérieur, la corrosion et la sous efficacité sous l'eau, et qui assure la protection thermique des rotules et capteur de vitesse roue en respectant l'environnement et les approximations. (Voir annexe 1):

II.3 Planification du projet :

À l'aide du logiciel MS PROJECT j'ai pu planifier les taches que je dois effectuer afin de réussir mon PFE, en résumant ces étapes sous forme d'un diagramme GANT.

		Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs	Noms
1		Récupération des équipements du travail et les comptes professionnels	10 jours	Lun 22/02/16	Ven 04/03/16		
2		Formation professionnelle en LAS, CATIA ,3DCOM	23 jours	Lun 07/03/16	Mer 06/04/16	1	
3		Analyse fonctionnelle externe	5 jours	Jeu 07/04/16	Mer 13/04/16	2	
4		analyse fonctionnele interne	5 jours	Jeu 14/04/16	Mer 20/04/16	3	
5		choix de la solution idéale	5 jours	Jeu 21/04/16	Mer 27/04/16	4	
6		autoformation sheet métal (catia)	2 jours	Jeu 28/04/16	Ven 29/04/16	5	
7		étude et respect de l'environnement avec dimensionnement	4 jours	Lun 02/05/16	Jeu 05/05/16	6	
8		conception du protecteur	5 jours	Ven 06/05/16	Jeu 12/05/16	7	
9		validation par DMU fitting	3 jours	Ven 13/05/16	Mar 17/05/16	8	
10		simulation et maillage (ANSA)	3 jours	Mer 18/05/16	Ven 20/05/16	9	
11		calcul élément fini par Abacus	3 jours?	Lun 23/05/16	Mer 25/05/16	10	
12		2D final	2 jours	Jeu 26/05/16	Ven 27/05/16	11	
13		finition du raport	7 jours	Lun 30/05/16	Mar 07/06/16	12	

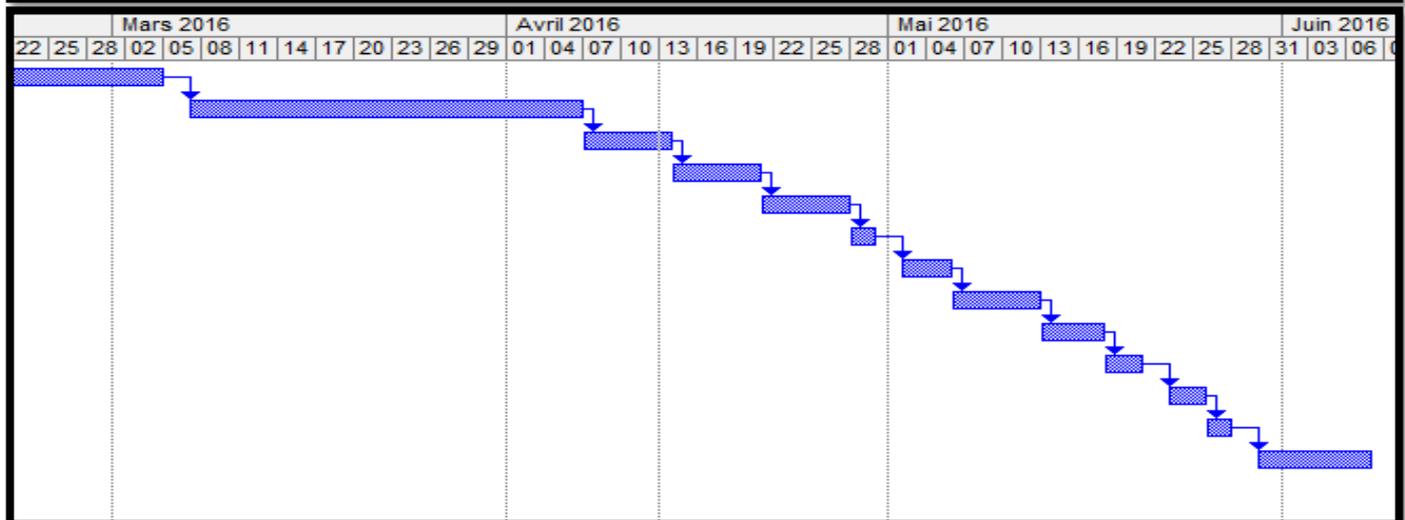


Figure 15: planification des taches du projet

Lors de la planification d'un projet dans le milieu industriel, on utilise un outil nommé "charte de projet" permettant de définir les objectifs et contraintes principales du projet. La charte du présent projet est détaillée ci-dessous.

Pourquoi lancer le projet ?

Afin de garantir un bon fonctionnement du système de freinage en milieu difficile.

Problème à résoudre :

Comment protéger le système de freinage contre les agressions du milieu extérieur et la température élevée produite par le disque ?

Objectifs du projet :

— Garantir une protection du montage roue avant

Date :

— Début : 22 février 2016

— Fin : 22 juin 2016

Livrables :

— Modèle CAO

— Rapport de stage

— Présentation PowerPoint.

Critère de fin fonctionnelle :

— Garantie une protection pour une durée de vie de cinq ans.

Contraintes :

— Utilisation du logiciel CATIA V5, ABAQUS et Ansa.

— Maquette numérique complexe 3DCOM.

— Documents de référence confidentiels.

— Temps : 4 mois

III Analyse de l'existant :

Après avoir défini le cahier des charges, je vais par la suite entamer l'analyse de la situation existante tout en présentant les problèmes constatés :

III.1 Présentation de l'environnement du protecteur :

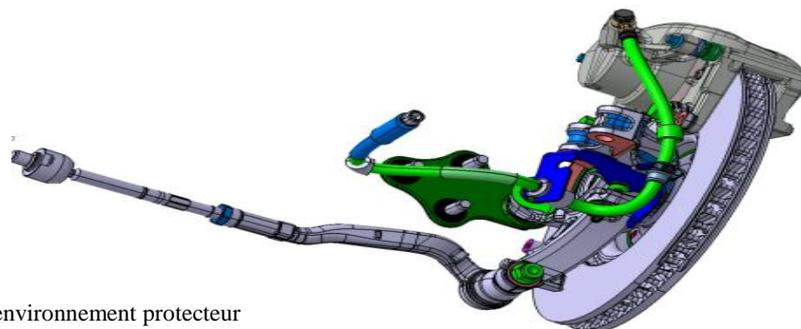
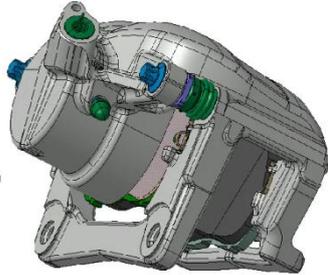
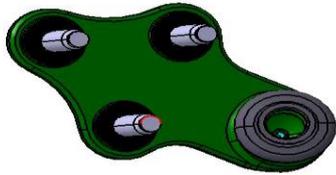


Figure 16:environnement protecteur

L'environnement du frein à disque dont je vais concevoir un protecteur se compose des éléments suivants :

Nom de l'élément	Définition	Figure
L'étrier	<p>Les plaquettes sont poussées contre le disque par l'intermédiaire d'un ou plusieurs pistons situés de chaque côté du disque et dédiés à chaque plaquette. Ce concept, permettant d'appliquer une grande force de freinage, est en général utilisé sur des voitures performantes car sa fabrication est coûteuse, notamment à cause de l'étanchéité à réaliser entre les deux chambres hydrauliques qui alimentent les pistons de part et d'autre du disque</p>	
les biellettes	<p>Les biellettes assurent la liaison entre la partie suspendue et la partie non suspendue du train directeur,</p>	
La Palette rotule	<p>Assurer la liaison entre le triangle et le pivot</p>	

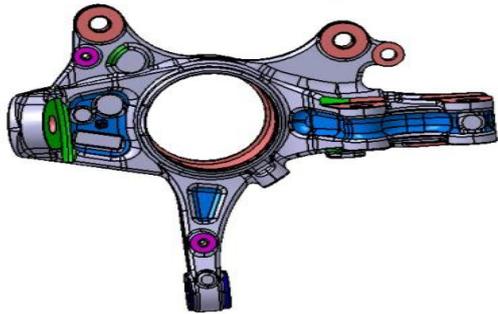
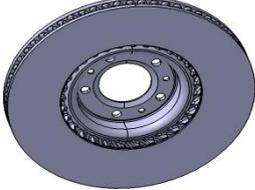
<p>Le pivot</p>	<p>C'est pour obtenir un vrai système de direction, le choix d'une seule roue orientable a été fait assez tôt mais au détriment de la stabilité. En fait, le système de direction le plus répandu pendant plusieurs siècles fut celui où l'essieu directeur du véhicule est rigide et articulé autour d'un pivot central.</p>	
<p>Le flexible</p>	<p>Contrôler et maîtriser le passage du fluide de freinage.</p>	
<p>Le disque</p>	<p>Le disque de frein est la partie centrale du système de freinage. Fixé sur le moyeu de la roue, il est également relié à des plaquettes (elles-mêmes juxtaposées à des pistons) qui vont venir frotter le disque de chaque côté en cas d'activation du mécanisme.</p>	

Tableau 2 : les éléments de l'environnement du protecteur

III.2 Classification des problèmes qui attaquent le disque :

- la basse température

L'étude d'un protecteur de disque a débuté suite aux essais sur le véhicule remplaçant la Citroën C3. Ce véhicule utilise une architecture de train arrière différente qui peut créer un risque important de blocage du système de freinage dans les pays de grand froid.

La neige s'accumule sur la traverse et tous les organes environnants pendant l'utilisation du véhicule comme sur la photo ci-dessous et après frein de parking serre, pendant la nuit (-4°C/-24°C), la neige se solidifie et bloque ainsi tout le système. De plus, il peut y avoir sur les véhicules de ces zones géographiques des risques de corrosion) causée par les projections d'eau en roulage véhicule.

Il est donc nécessaire de protéger le montage de roue arrière de tous ces phénomènes.



Figure 17: la basse température

- **la non-efficacité sous l'eau**

Habituellement, le frein à disque fonctionne à l'air libre, ce qui lui permet d'évacuer les calories du freinage par ses deux faces. En revanche, cela l'expose aux projections d'eau, ce qui peut provoquer un léger retard au freinage lorsqu'il est mouillé (nécessité de le sécher en quelques tours avant de récupérer le mordant).



Figure 18: disque mouillé

- **La haute température**

→ Le flexible de frein est un tuyau en caoutchouc, souple, blindé, qui permet de faire transiter le liquide de frein de la caisse du véhicule (partie rigide) jusqu'aux trains avant et arrière (parties toujours en mouvement). Comme beaucoup de produits d'apparence simple, les flexibles de frein, organes de sécurité par excellence, sont en réalité des produits très sophistiqués qui doivent répondre à des spécifications et des

conditions de contrôles multiples et sévères. Ci-dessous une image d'un flexible détérioré soumis à une température équivalente à celle fournie par le disque dans le cas extrême :



Figure 19: la température élevée

→ Le liquide de frein est hygroscopique, il absorbe de l'eau qui a 100°C comme point d'ébullition. La température dans le circuit de freinage étant plus élevée, des bulles vont se former. Plus la teneur en eau augmente, plus il y a de risque que la formation de bulles de vapeur provoque une absence de freinage du véhicule. (Le gaz est compressible) Selon les différents liquides de frein, il existe une valeur dite « point d'ébullition humide » au-dessous de laquelle il existe un danger réel à utiliser votre véhicule.

→ Le capteur peut admettre une température maximale de 200°

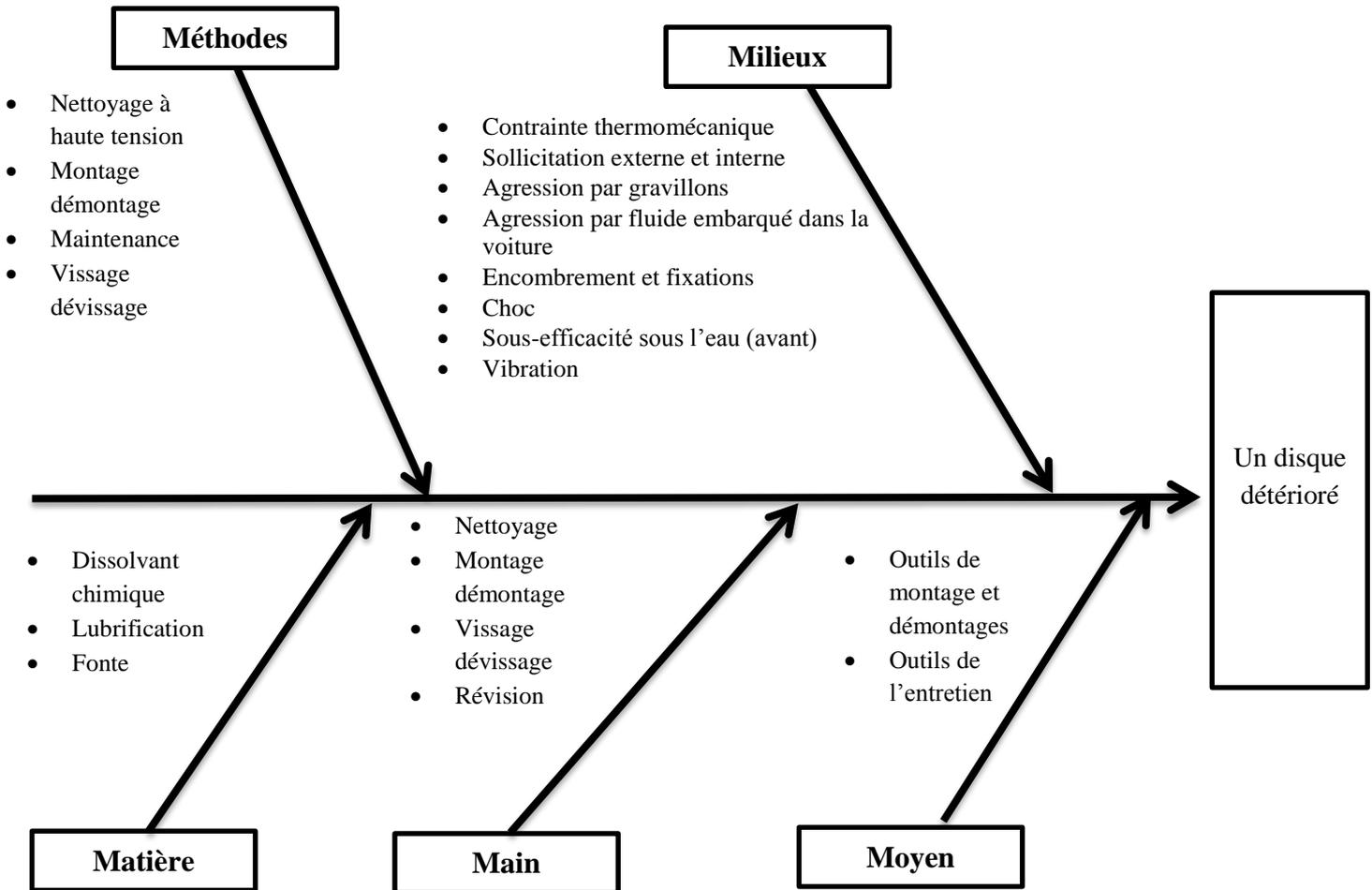
- **Risque du gravillonnage**

Durant le roulage du véhicule, le disque est soumis à des risques de gravillonnage, particulièrement sur un sol non stabilisé ou sur du gravier, ce qui peut engendrer une détérioration des caractéristiques mécaniques du disque voir même une apparition de fissure.



Figure 20: l'effet du gravillon

Les autres risques ont été dégagés en se basant sur la méthode brainstorming avec l'équipe liaison au sol (voir annexe 2) et je les rassembler dans le diagramme Ishikawa



Le diagramme Ishikawa

➤ **Risques associés à la suppression d'un protecteur de disque :**

- Corrosion feuilletant disque (avant).
- Tenue thermique des rotules et capteurs (avant)
- Sous-efficacité sous l'eau (avant)

D'où la nécessité d'un protecteur qui doit en général résister au vieillissement dans son environnement véhicule. En particulier, le protecteur doit résister au vieillissement thermique. Le démontage des éléments permettant le changement des garnitures et des pièces d'usure doit être encore possible sans détérioration.

III.3 Etudes des protecteurs existants chez les concurrents :

J'ai parcourus dans cette phase la méthode du benchmarking qui est une technique de marketing et de gestion de la qualité qui consiste à étudier et analyser les techniques de gestion, les modes d'organisation des autres entreprises afin de s'en inspirer et d'en tirer le meilleur. C'est un processus continu de recherche, d'analyse comparative, d'adaptation et d'implantation des meilleures pratiques pour améliorer la performance des processus dans une organisation.

Pour cela je me suis basé dans la recherche sur une plateforme qui englobe les pièces d'automobiles des concurrents (Comparaisons par rapport à des concurrents directs),

Ici, je ne vais pas présenter d'autres concepts qui se sont s'avérées non réalisable techniquement vu les dimensions. Par conséquent j'ai choisis 4 types d'automobiles qui utilisent des solutions différentes et qui vont m'aider à converger mon choix. (Voir annexe 3)

- Ford Fiesta 1.5 Flex :
- Audi a1 1.4 TFSI S TRONIC Ambition (Solution 2)
- us Ford Foc1.6 Eco BOOST Titanium 2011 (Solution 3)
- Seat LEON 1.2 TSI Reference 2014 (Solution 4)

Les protecteurs	Ford Fiesta 1.5 Flex	Audi a1 1.4 TFSI S TRONIC Ambition	us Ford Foc1.6 Eco BOOST Titanium 2011	Seat LEON 1.2 TSI Reference 2014
Figure				
Poids	0.335kg	0.227 kg	0.330 kg	0.142 kg
Fixation	Vis à tête hex	Vis Torx femelle	-----	-----
Nombres de vis	3	3	3	3
Poids des vis	0.050*3	0.016*3	0.035*3	0.016*3

matériau	Tôle en Acier	Tôle en Acier	Tôle en Acier	Tôle en aluminium
Revêtement	Peinture	Peinture	Peinture	Peinture
Diamètre de la vis	6	6	_____	_____
Longueur de la vis	8	12	-----	-----

Tableau 3:protecteurs existants chez les concurrents

De cette petite étude comparative , on peut déjà connaître la géométrie ainsi le procédé d'assemblage pour les protecteurs qui existent chez les concurrents ce qui va faciliter la tâche pour avoir la solution la plus optimale en analyse fonctionnelle.

IV Analyse fonctionnelle

IV.1 Analyse du besoin

- **QOQCP du projet**

Afin de bien décortiquer le projet il s'apparaît nécessaire de mettre une place des questions qui vont bien expliquer l'idée générale.

Qui ? Qui est concerné par le problème ?	Le constructeur automobile client d'ALTRAN MAROC.
Quoi ? De quoi s'agit-il ?	Création d'une nouvelle définition d'un protecteur de disque frein avant pour un véhicule en cours de développement.
Où ? Où apparaît le problème ?	Le problème apparaît dans le montage roue du train avant du véhicule.
Quand ? Quand cela apparaît-il ?	Depuis les premières phases de développement du véhicule.
Comment ? Comment on se rend compte du problème ?	Suite aux résultats des essais faits sur le train arrière.

<p>Pourquoi ? Pourquoi résoudre ce problème ?</p>	<p>Pour assurer un bon fonctionnement du système de freinage en le protégeant contre agressions du milieu extérieur.</p>
--	--

Tableau 4: QOOQCP du projet

- **La verbalisation du besoin :**

Afin de verbaliser notre besoin, il faut se poser trois questions (... et y répondre !) :

« **A qui** le protecteur rend-il service ? » **au conducteur**

« **Sur quoi** le produit agit-il ? » **Sur le disque frein**

« **Dans quel but** ? » Pour : Protéger le disque frein Contre les risques de l'environnement

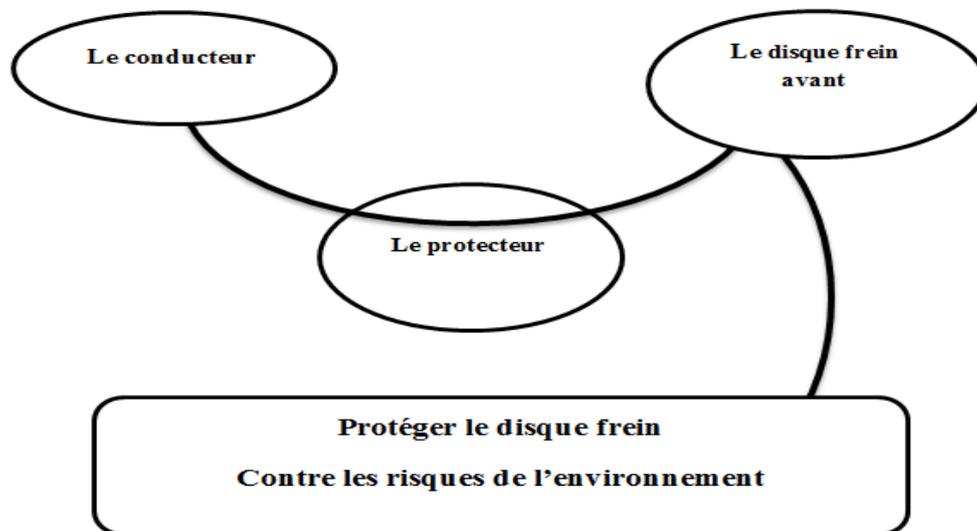


Figure 21: la bête à corne du protecteur

IV.2 Analyse fonctionnelle du besoin

Dans la pratique, le protecteur est créé pour satisfaire un besoin correspondant à son utilisation principale. Mais chaque phase du cycle de vie du protecteur ajoute des contraintes, et sa conception prend nécessairement la forme d'un compromis, source d'écart entre le besoin satisfait et le besoin rêvé.

- **Identification des éléments de milieu externe. E.M.E**

On identifie les Fonctions de Service grâce à un outil graphique : le graphe des inters acteurs, ou graphe fonctionnel (le « **Diagramme Pieuvre** » :

Les éléments du milieu externe qui sont en contact avec le fonctionnement du protecteur sont :

- ❖ Le montage
- ❖ L'environnement ambiant
- ❖ Le Support disque frein
- ❖ Les normes
- ❖ L'environnement architectural

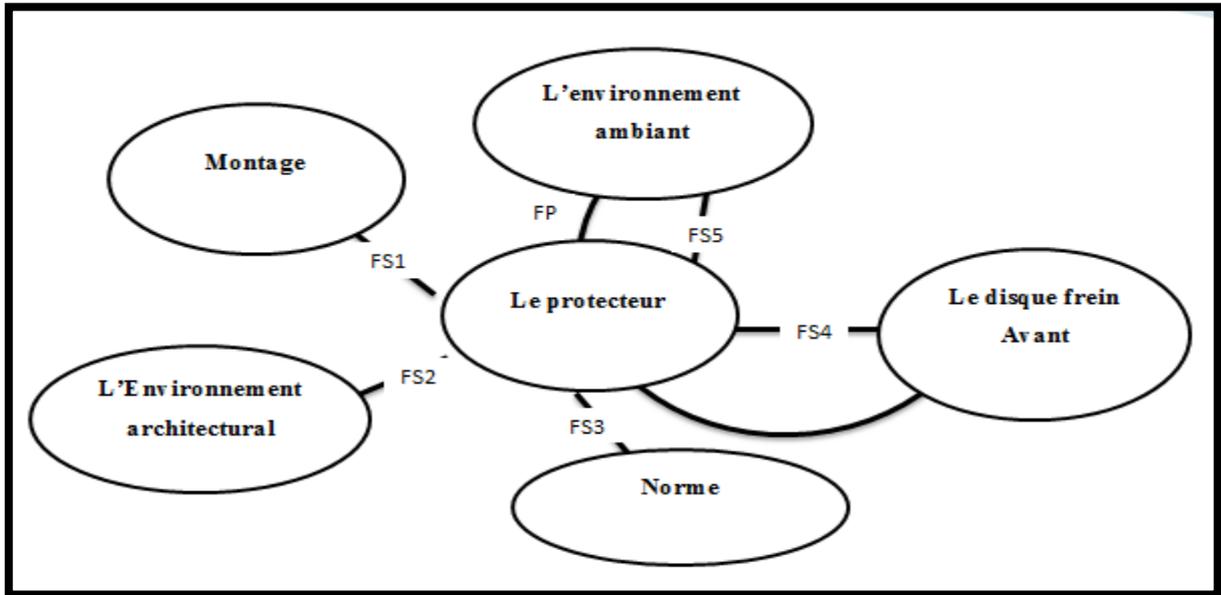


Figure 22: diagramme pieuvre du protecteur

Identification des F.S :

FP : protéger le disque frein contre les risques de l'environnement.

FS1 : s'adapter au montage et au démontage.

FS2 : être compatible avec l'environnement architectural.

FS3 : respecter les normes.

FS4 : être stable, compatible avec son disque.

FS5 : être adaptable aux contraintes environnementales.

Le cahier de charge fonctionnel

Le Cahier des Charges Fonctionnel (CDCF) est le document qui récapitule la démarche et les résultats de l'Analyse Fonctionnelle du Besoin. Il porte donc essentiellement sur les Fonctions de service.

Fonction de Service	Critère	Niveau	Flexibilité
FS1	<ul style="list-style-type: none"> -fixation par vissage (protecteur /pivot) -fixation par clinchage (protecteur / protecteur) -fixation par rivetage (protecteur / protecteur) -flexibilité -Sécurité à l'usage 	<ul style="list-style-type: none"> -4 vis -Clinchage -rivets - une tôle de 1 mm flexible avec des pattes de fixation 1.2 (acier...) -pliage à l'extrémité, chan freinages arrondis 	F4
FS2	<ul style="list-style-type: none"> -Proximité de l'étrier -proximité de la rotule triangle -proximité du disque - proximité rotule inférieur -dépassement du diamètre du disque -proximité du pivot -proximité capteur CVR -proximité rotule biellette de direction 	<ul style="list-style-type: none"> -5mm<jeu<10mm -Jeu min =3mm - jeu min =5mm - jeu min=3mm -dépassement de 2 mm -5mm<jeu<10mm -jeu<3mm - jeu<4mm 	F0
FS3	<ul style="list-style-type: none"> Norme Qualité Fiabilité Durabilité 	<ul style="list-style-type: none"> Norme client Cahier de charge Cotation ISO Cotation fonctionnelle Respect des délais 	F4
FS4	Emballer le disque	<ul style="list-style-type: none"> -dépassement de 2 mm : -pliage - les arrondis -les chans freinages -le revêtement 	
FS5	<ul style="list-style-type: none"> Protection des cailloux Protection de l'eau accumulée pendant la pluie Protection de la neige Protection contre la pénétration d'eau et des corps étrangers Protection contre la corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> -création des vides dans le périmètre du protecteur -respecter les jeux -Durée de vie : 200 000 km 	F4

Tableau 5: Le cahier de charge fonctionnel

IV.3 Analyse fonctionnelle technique :

L'Analyse Fonctionnelle Technique (A.F.T.) permet de faire la transition entre l'Analyse fonctionnelle du Besoin (qui reste étrangère aux préoccupations d'ordre

technologiques) et la conception détaillée, qui entre de plain-pied dans les considérations technologiques.

- **Diagramme SADT**

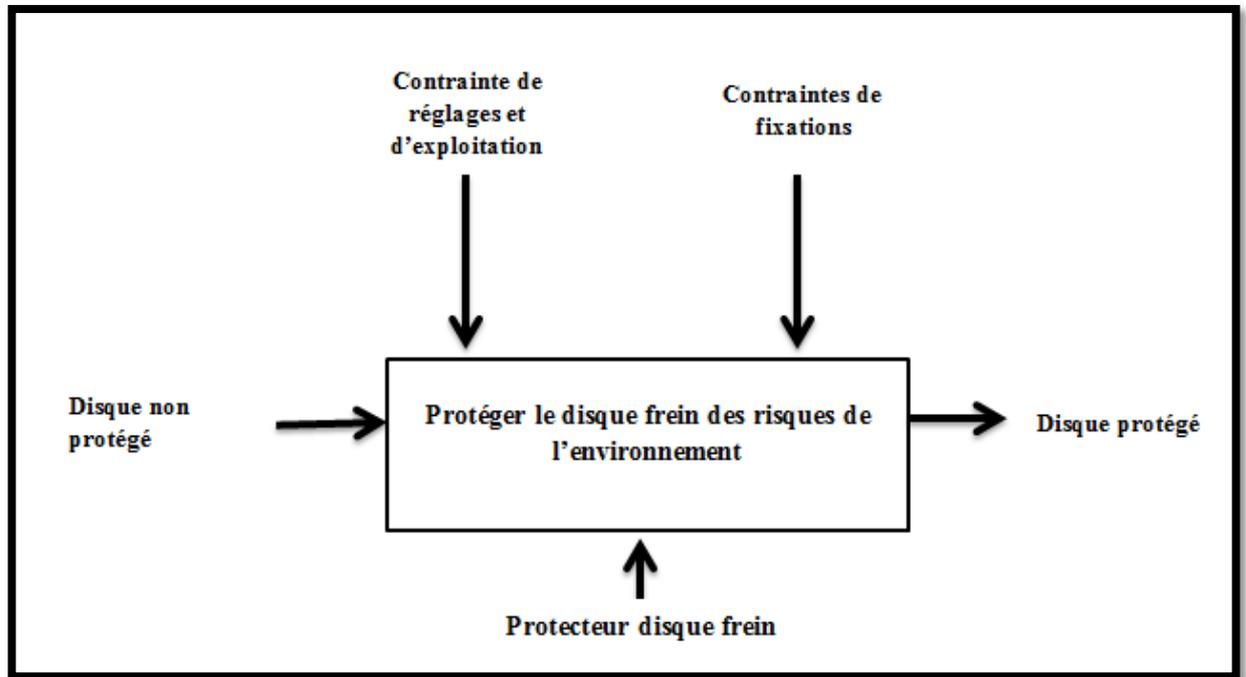


Figure 23:Diagramme SADT

- **Diagramme FAST**

Trois sous fonctions quand peut dégager de la fonction principale et qui sont :

- protéger le disque frein
- Protéger les rotules
- Protéger le capteur de vitesse roue

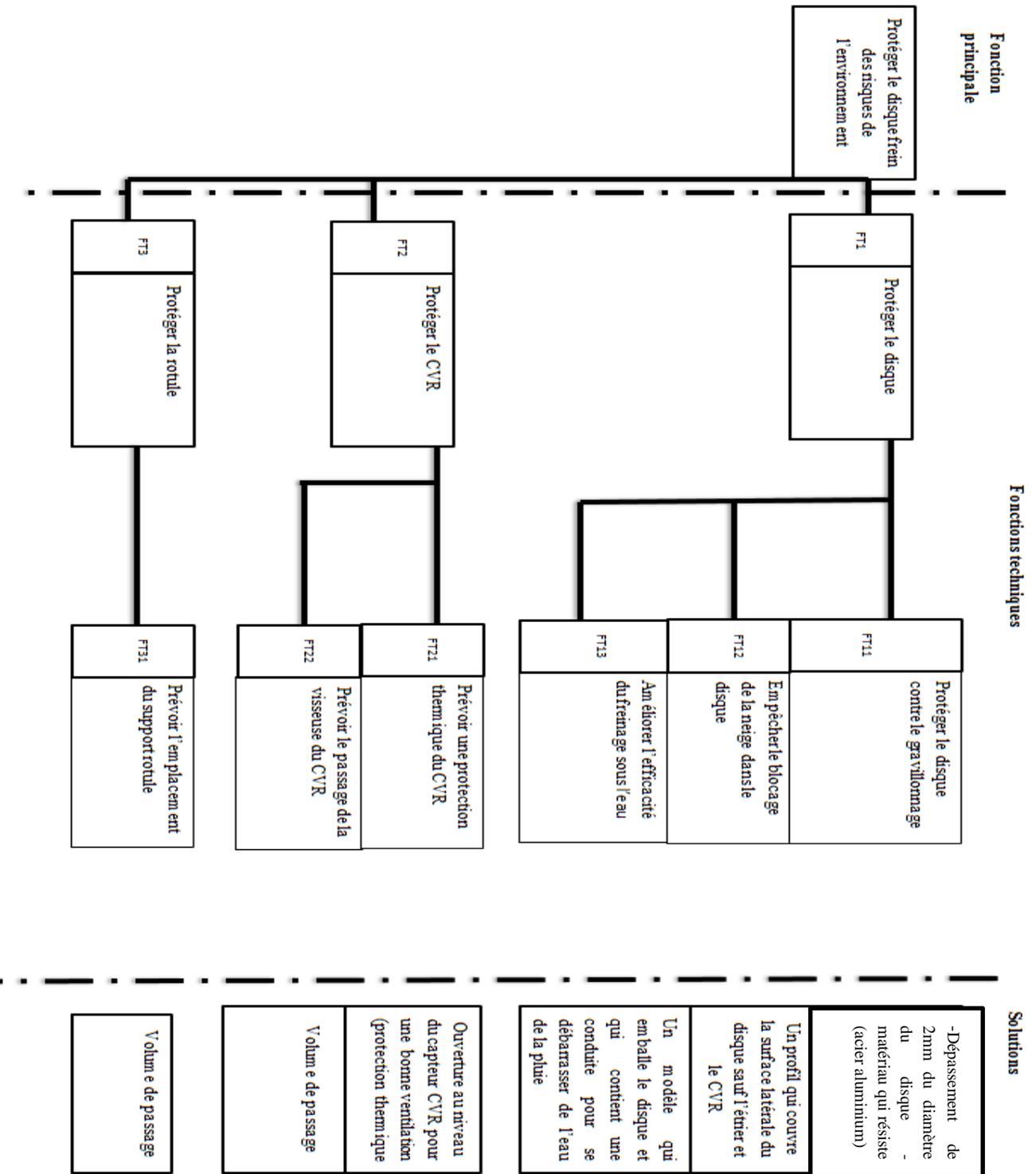


Figure 24:Diagramme FAST

V Choix de la solution

V.1 Choix du matériau (logiciel CES)

Choix d'un matériau, un compromis entre plusieurs critères (technique, économique, ...)

✓ Les critères techniques

Ils peuvent intégrer, en fonction du CDC de la pièce, et des contraintes en fonctionnement :

- Les caractéristiques mécaniques (R_m , $R_{p0.2}$, allongement, limite d'endurance en fatigue)
- La tenue en fonctionnement à chaud (220°C, 400°C, ...) en continue ou en pointe
- La densité (recherche d'allègement)
- La résistance à l'usure
- La conductivité ou la diffusivité thermique (ou électrique)
- La tenue à la corrosion (brouillard salin pour l'automobile)

✓ Les critères économiques

Sous le critère économique, on peut intégrer plus généralement la maîtrise des approvisionnements, la disponibilité des sources ou l'évolution prévisible des prix.

Il est donc nécessaire de prendre en compte :

- Le prix matière (et son évolution possible)
- La facilité de trouver un fournisseur (sources d'approvisionnement) avec le processus et le matériau retenu
- Les coûts récurrents (VA processus) et les coûts non récurrents (prototype, outillage de série, mise au point initiale, échantillons initiaux) et la durée de vie des outillages
- Les autres coûts indirects (emballage, transport, ..., contrôle qualité)

J'ai parcourus le logiciel CES pour faire mon choix en commençant toujours par le choix basé sur les critères mécaniques comme cela se voit sur la figure, (module de Young en fonction de la masse volumique .ce premier filtrage m'a permet de choisir 19 matériaux

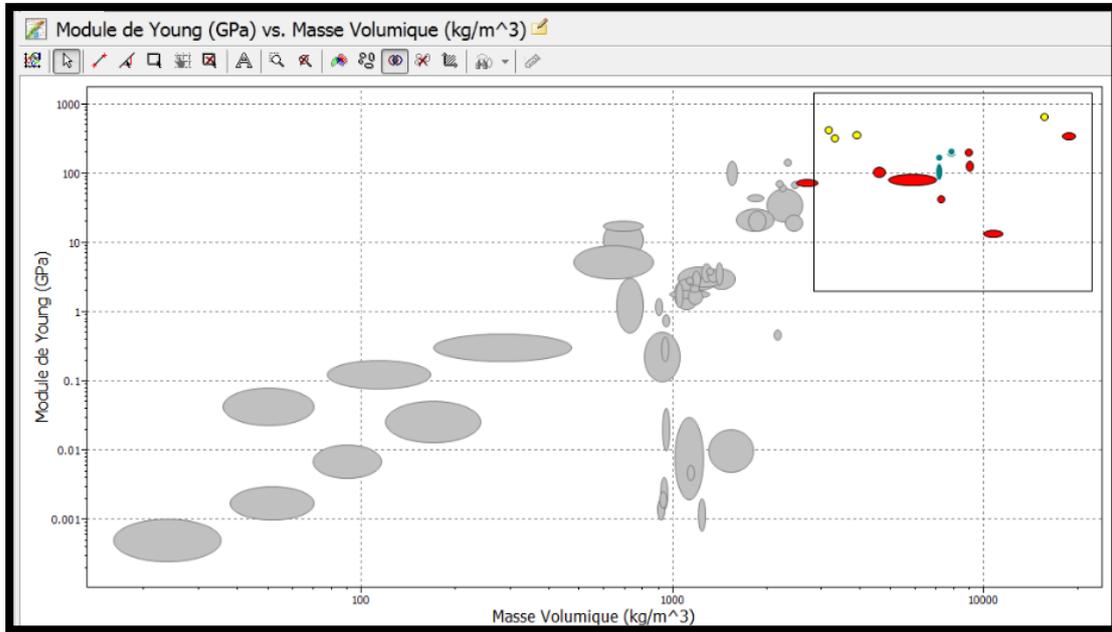


Figure 25:Choix du matériau (logiciel CES) 1

Après j'ai parcouru les limites thermiques (température max et la bonne conductivité) 2^{ème} résultat de filtrage thermique : 5 matériaux :

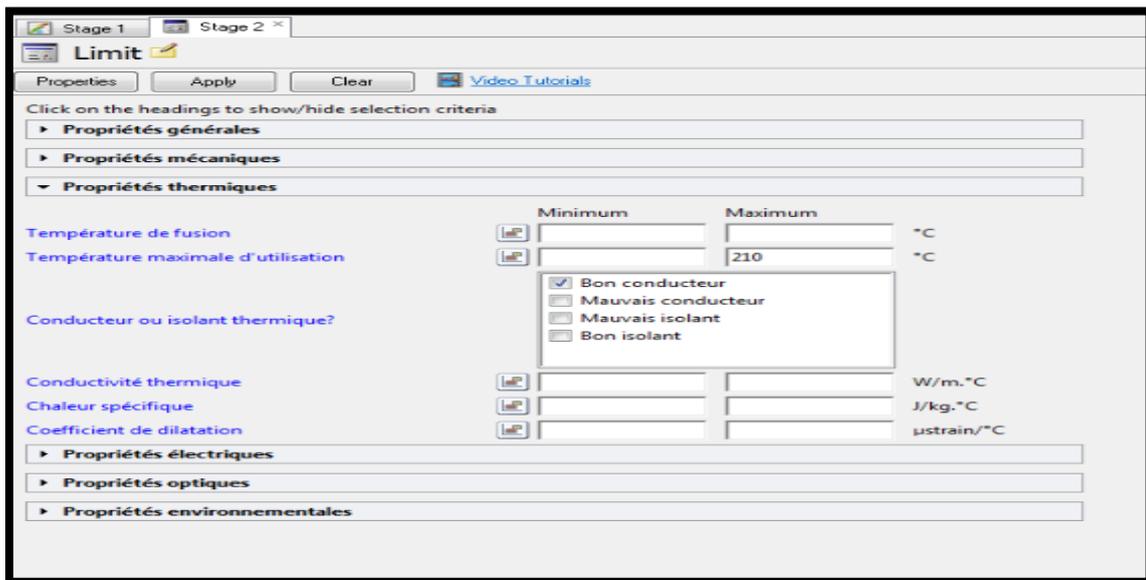


Figure 26:V.1 Choix du matériau (logiciel CES) 2

Et enfin j'ai tranché avec le cout et comme cela se voit on aura l'aluminium comme étant un matériau final pour mon choix car il est le moins couteux (Les critères du matériau que j'ai choisis (aluminium) voir annexe 4)

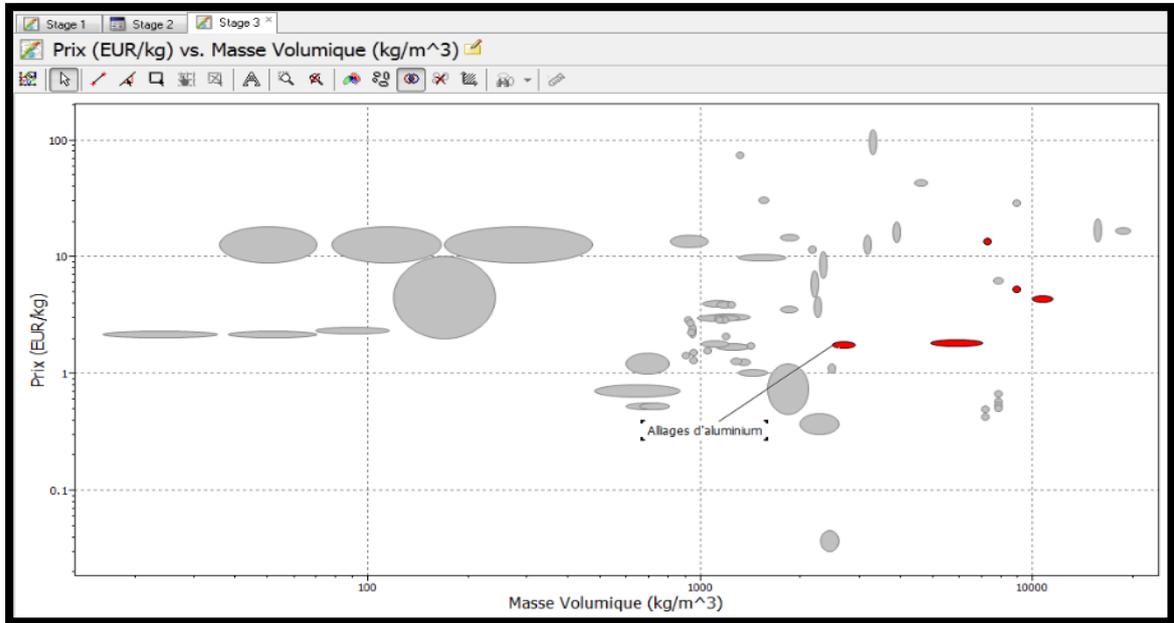


Figure 27: Choix du matériau (logiciel CES) 3

V.2 Choix du procédé d'assemblage :

Ce qu'il faut savoir d'avance, c'est que l'assemblage d'un protecteur se divise en deux grandes parties qui sont : Assemblage protecteur et pattes du protecteur, et Assemblage pivot /protecteur :

1. Assemblage pivot /protecteur :

Selon le schéma qu'on a sur la maquette numérique de notre client ; il s'apparaît obligatoire d'utiliser un assemblage par vissage et plus particulièrement la nécessité de l'utilisation des écrous à sertir sur le trou du porte flexible comme la figure représente si dessous :

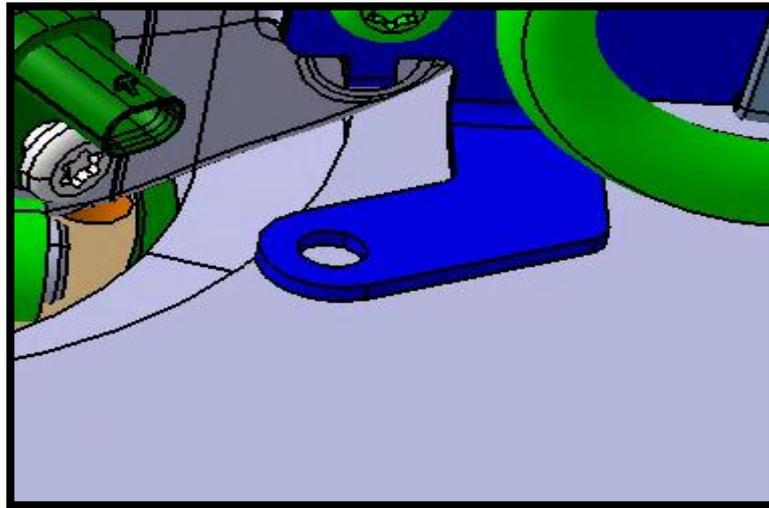


Figure 28 Perçage écrou à sertir

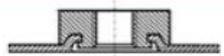
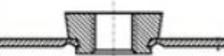
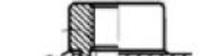
Les écrous à sertir

Les écrous à sertir sous presse doivent être envisagés de façon prioritaire pour la conception de tous les assemblages nécessitant un écrou rapporté mais solidaire d'une des pièces assemblées.

Ils sont plus particulièrement recommandés dans le cas où le sertissage de l'écrou peut être intégré dans une opération de la gamme de fabrication des éléments de tôlerie.

Le choix entre plusieurs types d'écrous à sertir doit être effectué en fonction de l'encombrement, de l'implantation et de la tenue de l'écrou nécessaire pour satisfaire la fonction de l'assemblage.

Dans la suite, on distingue 5 types d'écrous :

	Description	Schéma
TYPE 1	Ecrou à sertir auto-poinçonneur* carré	
TYPE 2	Ecrou à sertir auto-poinçonneur* rectangulaire	
TYPE 3	Ecrou à sertir rond avec collerette	
TYPE 4	Ecrou à sertir rond sans collerette	
TYPE 5	Ecrou à sertir auto-poinçonneur* rond conique	

(*) La capacité d'auto-poinçonnage des écrous 1, 2 et 5 n'est valable que dans certaines limites d'épaisseur et de nuance de tôle. Les valeurs limites sont données dans le tableau 1.

Tableau 6 les types des écrous sertis

Seuls les écrous de type 1, 2 et 3 sont conseillés sur acier aluminium avec le diamètre M6 5.5.

INTERVALLES D'ÉPAISSEUR NOMINALE ACCESSIBLES ET CAPACITÉ D'AUTO-POINÇONNAGE SUR ACIER OU ALUMINIUM EN FONCTION DU TYPE, DU DIAMÈTRE ET DE LA CLASSE									
Diamètre	Classe	Type d'écrou							
		Rectangulaire		Carré		Rond			
			AP		AP	Avec collerette	Sans collerette	Conique	
									AP
M6 Ø 5,5 (*)	AC 8	0,67 ⁽²⁾ - 3,00	Oui	0,77 - 1,47	oui	0,82 - 2,93	0,82 - 2,93	0,77 - 1,76	oui
		3,50 - 5,00	non	1,57 - 2,44	oui ⁽¹⁾				
	AC 10	-	-	0,77 - 0,92	oui	0,82 - 2,93	-	-	-
		-	-	1,47 - 1,97	oui				
M8 Ø 7,5 *	AC 8	0,77 - 3,50	oui	0,77 - 1,47	oui	0,82 - 2,93	0,82 - 3,50	0,97 - 1,95	oui
		4,00 - 6,00	non	1,57 - 2,93	oui ⁽¹⁾				
	AC 10	-	-	0,97 - 3,50	oui	0,82 - 2,93	-	-	-
M10	AC 8	1,27 - 2,64	oui	0,97 - 1,47	oui	0,97 - 3,50	0,97 - 4,00	0,97 - 1,95	oui
		2,93 - 7,00	non	-	-				
	AC 10	-	-	0,97 - 3,50	oui	0,97 - 3,50	-	-	-
M12	AC 8	-	-	-	-	0,97 - 3,50	-	0,97 - 1,95	oui
	AC 10	-	-	-	-	0,97 - 3,50	-	-	-
Épaisseurs nominales	Les formats de tôle livrés à PSA sont normalisés et définies dans la norme B53 3072 pour l'acier et B54 1072 pour l'aluminium								
AP	Auto-poinçonnage possible								
(2)	Pour l'aluminium, l'épaisseur minimale est 0,70mm								
(1)	Si le Rm de la tôle est supérieure à 430 Mpa et si l'épaisseur est ≥ 1,76mm, il est nécessaire d'utiliser une classe 10 pour assurer la fonction auto-poinçonnage								

Tableau 7: les informations sur les écrous sertis

→ Tenue de l'écrou

L'écrou serti doit tenir les valeurs d'effort en traction de dessertissage, en traction d'arrachement et les valeurs de couples indiquées dans les tableaux (voir annexe 5). Pour un sertissage sur acier ou sur aluminium.

Selon ces tableaux le meilleur choix c'est d'avoir **un assemblage par le premier type écrou à sertir auto poinçonneur carré.**

2. Assemblage protecteur et pattes de fixation du protecteur :

Dans cette deuxième partie de l'assemblage (Assemblage protecteur et palettes du protecteur), je vais me baser sur les critères des matériaux que j'ai déjà choisis pour le protecteurs et les palettes (aluminium et acier) pour converger le choix. Une pluralité des procédé d'assemblage s'appariassent intéressants or il faut minimiser le choix entres les types suivants à l'aide d'une étude comparative :

- ✚ Assemblage par clinchage
- ✚ Assemblages par rivetage

→ Assemblage par clinchage :

Le clinchage est une méthode d'assemblage des tôles par recouvrement. Réalisé à l'aide d'un poinçon et d'une matrice, c'est une déformation à froid sous pression sans apport de matière extérieure.

Le point de clinchage se présente sous forme d'un affaissement côté poinçon et sous forme de protubérance côté matrice (voir figures ci-après).

Les tôles sont assemblées par enclenchement de l'une dans l'autre. Les assemblages ainsi réalisés peuvent comporter deux ou trois tôles, les épaisseurs, nuances et revêtements de tôles peuvent être différents.

Les avantages de cette technologie sont :

- Assemblages de matériaux identiques ou différents (par ex : acier-acier, acier-alu), de matériaux pré peints ou avec un revêtement plastique avec présence de colle ou mastics.
- Ne détruit pas le revêtement superficiel et n'élimine pas la protection contre la corrosion

- Bonne tenue des assemblages en fatigue
- Assemblage étanche
- Coût d'exploitation le plus faible de toutes les techniques d'assemblage
- Contrôle qualité simple et non destructif
- Procédé « écologique » absence de fumée, de projection, de bruit, de réseau d'eau, de champ magnétique

Une machine de clinchage peut être de plusieurs types :

- presse de clinchage spécifique (1 ou plusieurs points simultanés)
- pince embarquée sur robot (plusieurs points)
- pince machine (1point/pince)
- pince manuelle portative

L'effort de clinchage est fonction du diamètre de point et de la dureté des tôles, il peut varier de 1000 à 6000 DAN

Cette technique d'assemblage nécessite un accès des 2 côtés de l'assemblage.

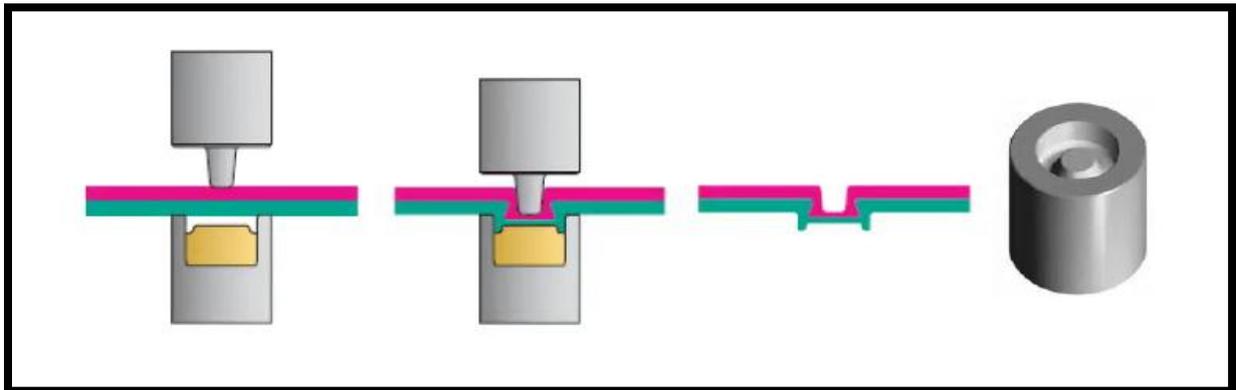


Figure 29:assemblage par clinchage

→ Assemblages par rivetage

Le rivetage auto-poinçonneur est une méthode d'assemblage des tôles par recouvrement. Il est réalisé à l'aide d'un rivet creux qui poinçonne la ou les premières tôles et qui s'évase dans la dernière tôle sans la perforer.

Les assemblages ainsi réalisés comportent plusieurs tôles, les épaisseurs, nuances et revêtements de tôles peuvent être différents.

Les avantages de cette technologie sont :

- Assemblages de matériaux identiques ou différents (par ex : acier-acier, acier-alu), de matériaux pré peints ou avec un revêtement plastique avec présence de colle ou mastics.
- Ne détruit pas le revêtement superficiel et n'élimine pas la protection contre la corrosion
- Bonne tenue des assemblages en fatigue
- Tenue mécanique équivalente au point de soudure par résistance
- Assemblage étanche au ruissellement (tôle inférieure non perforée)
- Contrôle qualité simple et non destructif
- Procédé « écologique » absence de fumée, de projection, de bruit, de réseau d'eau, de champ magnétique...

Une machine de rivetage peut être de plusieurs types :

- pince embarquée sur robot
- pince manuelle portable

L'effort de rivetage est fonction du diamètre de rivet et de la dureté des tôles, il peut varier de 1000 à 6000 daN

Cette technologie d'assemblage nécessite un accès des 2 côtés de l'assemblage.

Principe Du Rivetage

Lors du rivetage, les pièces superposées sont préalablement maintenues accostées sur la bouterolle par une serre-flan. Le poinçon appuie sur le rivet qui perce la tôle supérieure et vient s'évaser dans la tôle inférieure sans la percer (voir figures ci-dessous).

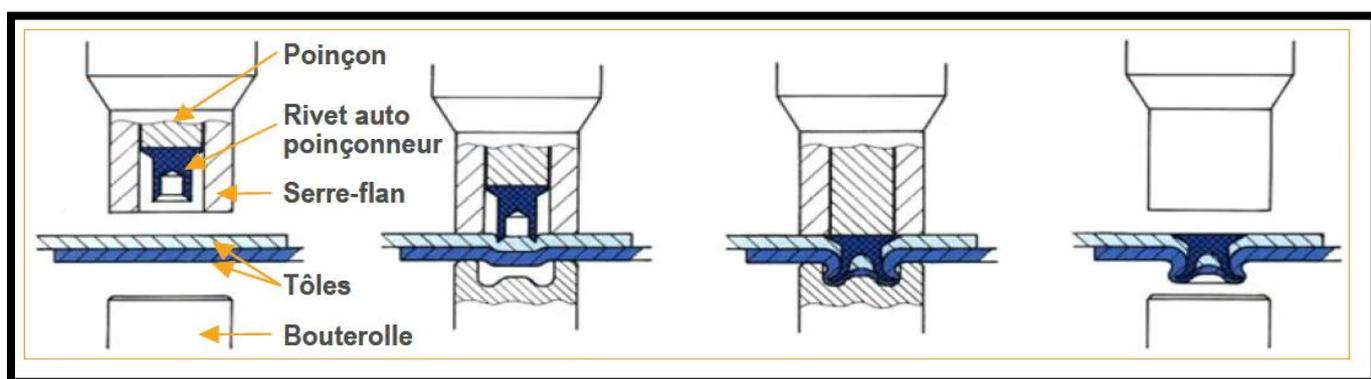


Figure 30:assemblage par rivetage

Étude comparative des deux modes d'assemblage (rivetage et clinchage)

Critères	Pondération max	Solution 1 Clinchage	Solution 2 Rivetage
Assemblages des matériaux différents acier-alu	5	5	5
étanchéité	4	4	3
Coût d'exploitation	5	5	3
Contrôle qualité	3	3	3
Procédé	5	3	3
Tenue mécanique	5	4	3
somme	27	24	20

Tableau 8: étude comparative clinchage rivetage

La solution qui a une bonne qualité d'assemblage est le clinchage ; l'assemblage protecteur et pattes de fixation dans ma propre conception sera par **clinchage**.

V.3 Choix du procédé de fabrication

Le protecteur et une pièce de tôlerie de diamètre 1mm et ces pattes de fixation de 1,2 mm, alors c'est impérativement chez les normes de notre client d'utiliser le procédé de fabrication par emboutissage :

Le procédé de fabrication l'emboutissage

L'emboutissage mécanique est un procédé de formage de pièces non développables qui nécessite généralement des machines (presses) et un outillage très coûteux. Il est réservé aux fabrications en série et au travail des tôles épaisses qui demandent une très grande force.

On distingue: l'emboutissage à froid (pratiqué à la température ambiante) et (emboutissage à chaud pour lequel la tôle est portée à la température de forgeage, (800 à 850°C pour L'acier doux). (Voir annexe 6).

V.4 Le choix du concept :

→ La grille de la décision

Dans une étude de projet, après la phase de créativité où un certain nombre de propositions sont faites, il faut passer à la phase de pré développement dans laquelle une synthèse doit être faite. Cette synthèse doit permettre de sélectionner une proposition parmi l'ensemble.

Cette sélection ne peut se faire que sur des critères valables, tirés du cahier des charges, pondérés selon leur degré d'importance.

Ainsi, après addition des points par proposition, l'une d'entre elles sort du lot, elle sera certainement la meilleur proposée. Cette démarche est concrétisée par une analyse multicritères.

- Objectif de l'outil : La grille de décision a pour but de rendre factuelle la prise de décision parmi plusieurs solutions.
- Cas d'utilisation: Cette grille peut être mise en œuvre dès lors que le décideur devra choisir parmi plusieurs solutions.
- Pourquoi l'utiliser ? : Pour formaliser la prise de décision.

	Critères	coefficient	 Solution 1	 Solution 2	 Solution 3	 Solution 4
Need	Isolant de l'environnement externe	-----	OK	OK	OK	OK
	Matériau qui supporte la température élevée	-----	OK	OK	OK	OK
	Evacuation de l'eau	-----	OK	OK	KO	OK
	Empêchement de la neige	-----	OK	OK	OK	OK

	Géométrie		OK	KO	KO	KO
Nice	Simplicité en montage	4	10*4=40	7*4=28	7*4=28	7*4=28
	Qualité de fixation	3	9*3=27	9*3=27	9*3=27	9*3=27
	Durabilité	5	9*5=45	9*5=45	9*5=45	8*5=40(manque de revêtement)
	Masse légère	5	7*5=35	9*5=45	8*5=40	10*5=50
Somme	-----	17	147	145	140	145

Tableau 9 grille de la décision

Le protecteur "Tout Est Bon" est effectivement celui qui a une pondération plus grande que les autres sauf il nécessite une optimisation de la masse en visant la plus légère dans la conception

VI Conclusion

Mon protecteur que vais concevoir, vas être un peu près semblable à la solution 1 (Ford Fiesta 1.5 Flex) en sens de géométrie, car il comporte un volume de passage pour le bon fonctionnement de l'étrier, ainsi sa géométrie lui permet d'être plus flexible au montage et démontage ; en outre je vais me baser sur ce que j'ai récolté de l'étude comparative de la phase du choix de la solution, et que je l'ai englobé dans le tableau si dessous.

Matériau protecteur	Aluminium
Matériau pattes de fixation	Acier E275D
Assemblage pivot /protecteur	Vissage par écrous serties
Assemblage pattes de fixation /protecteur	Clinchage
Procédé de fabrication	Emboutissage
Atelier de conception	Surfacing Sheet metal

Tableau 10:informations sur le protecteur à concevoir

Chapitre 3:

Conception et simulation du protecteur disque frein avant

- ✓ Conception du protecteur.
- ✓ Calcul éléments finis et analyse vibratoire.
- ✓ Simulation d'emboutissabilité.

I Introduction

Après avoir choisi la solution envisagée pour l'environnement de mon disque ainsi le matériau de fabrication, je vais me focaliser dans ce chapitre sur la partie de la conception à l'aide de logiciel CATIA, la simulation de la solution finale en conception et la vérification de l'emboutissabilité, tout en expliquant la démarche suivie pour ces trois axes.

II Conception

La conception d'un produit est un processus itératif. La première étape est de savoir évaluer ses performances, la deuxième de faire évoluer sa définition pour que ses performances correspondent aux objectifs de conception.

Un véhicule est un produit extrêmement complexe à concevoir et à réaliser. Il se décompose de plusieurs milliers de pièces qui participent aux différentes prestations du véhicule : confort, sécurité, ergonomie, performances routières (structure et mécanique). Pour réaliser la conception d'un produit on se basera sur le retour d'expérience, la capitalisation et la documentation d'Altran Maroc.

• Démarche de conception :

La méthodologie de conception définit l'organisation des étapes de conception. Elle dicte l'enchaînement des tâches suivant une organisation logique devant permettre d'aboutir à une solution qui satisfasse le cahier des charges du produit dans un délai et des coûts acceptables. Son influence est primordiale sur l'optimalité et la robustesse de la solution.

→ Objectif :

- ✓ Concevoir et développer dans les règles de l'art les solutions techniques.
- ✓ Garantir le respect des règles métier, la qualité de construction CAO.

II.1 Outils de la conception

❖ Catia V5 :

L'outil utilisé pour la conception de projet est Catia V5, Catia ou [Computer Aided Three-dimensional Interactive Application] est un logiciel 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.

Catia V5 regroupe plus de 80 ateliers « métier » autour du noyau de modélisation solide & surfacique.

L’atelier dont je vais concevoir mon produit est « generative shape design »



Figure 31:CATIA

Pour concevoir une pièce sous Catia V5 le client exige l’organisation de l’arbre de spécification cela permet d’analyse plus facilement la conception et les modifications réalisés à l’aide de la maquette numérique 3DCOM :

Le déploiement généralisé de la maquette numérique sur les plates-formes véhicule et organes a pour objectif de mettre les modèles CAO à la disposition de tous les utilisateurs. Cette maquette numérique est basée sur la mise en place d’une base de données technique intégrée avec l’outil de conception CATIA.

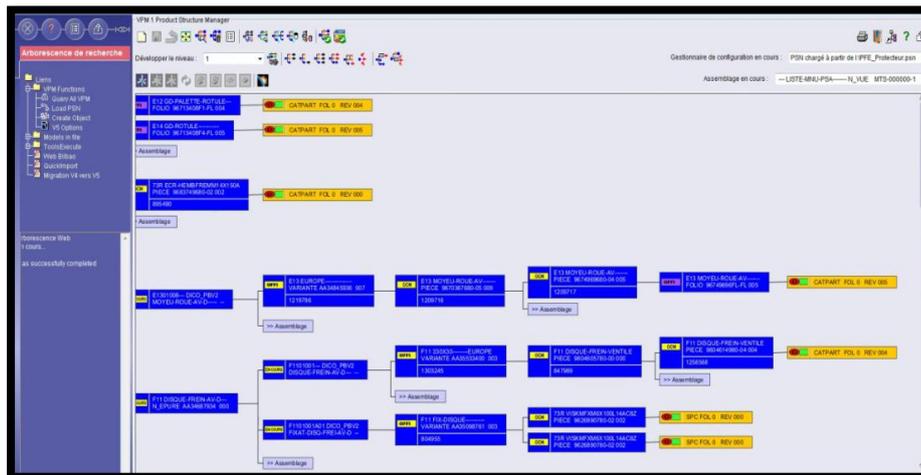


Figure 32: 3DCOM

VPM (Virtual Product Manager) est la base de données technique choisie par le client.

Elle permet :

- ❖ De stocker des modèles 3D et 2D
- ❖ De créer des arborescences de maquette numérique
- ❖ De partager les modèles plans et pièces 3D
- ❖ De disposer de maquettes numériques dynamiques enrichies en permanence
- ❖ De visualiser les niveaux de maturité

3DCOM est un outil qui vous permet, à partir d'un PC, bureautique ou technique, de consulter, visualiser, sauvegarder et analyser des modèles géométriques CAO 2D ou 3D. Ces modèles peuvent être utilisés par la maquette numérique VPM ou bien par d'autres maquettes non gérées sous VPM.

II.2 Règle de la conception

PLAN & OBJECTIFS :

- Vérification des exigences de cahier de charge qui relie le protecteur avec son environnement.
- Se baser sur les politiques techniques et Orientations de notre client.
- Concevoir mieux, plus vite et en appliquant les bonnes idées de la concurrence.
- Garantir le respect des règles métier, la qualité de construction CAO.
- Diamètre protecteur supérieur de 2 mm au diamètre de disque Espacement face disque / protecteur de 8 mm mini pour évacuation gravillons
- Ouverture au niveau du capteur CVR pour une bonne ventilation (protection thermique)
- Conception d'un protecteur de 1mm d'épaisseur et de 330mm de diamètre :
- Renfort de choc 1 mm
- Les pattes de fixation 1.2 mm d'épaisseur
- **Les cotes fonctionnelles :**

On a Cinq cotes fonctionnelles qui sont les quatre fixations et le disque dont je dois créer des plans avant l'étape de la conception du protecteur, La création des plans fonctionnels se base sur l'extraction des surfaces de contact ou les surface fonctionnelles. Voilà un tableau qui englobe les jeux et el distances fonctionnelles que je dois respecter.

	Fixation 1	Fixation 2	Fixation 3	Fixation 4	Disque
Protecteur	Jeu minimal 0mm	Jeu minimal 0mm	Jeu minimal 0mm	Jeu minimal 0mm	Distance minimal 8mm

Tableau 11:les cotes fonctionnelles

II.3 Conception 3D

J'ai commencé par l'insertion de l'environnement du protecteur dans l'atelier DMU Navigator afin de se baser sur l'axe principal pour la création et le positionnement de ma pièce 'protecteur' dans son emplacement exacte.

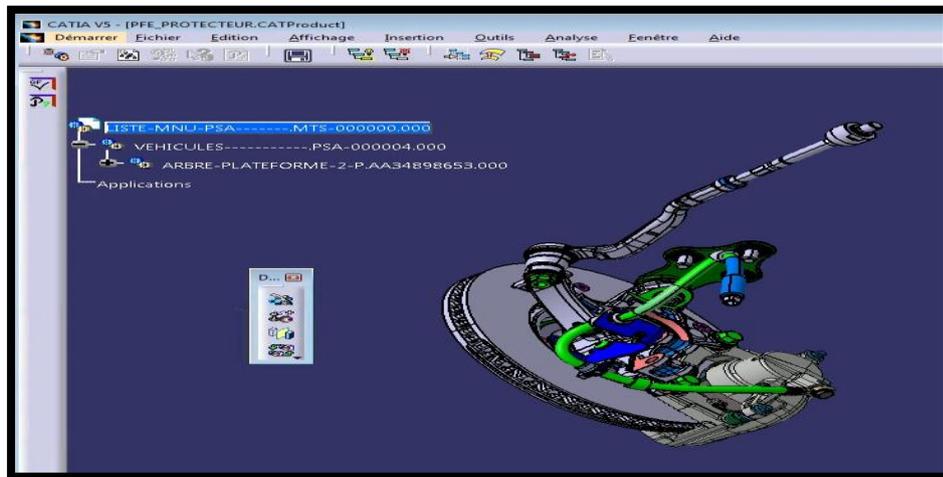


Figure 33:étape 1 de la conception 3D

insertion de la pièce dans l'arbre pour commencer la conception dans l'atelier generative shape design tout en respectant le dimensionnement de l'environnement

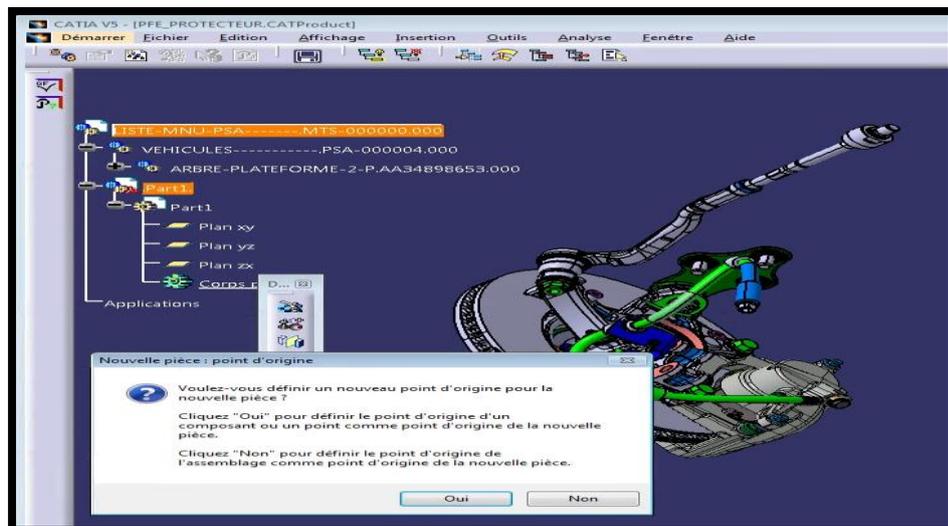


Figure 34 : étape 2 de la conception 3D

En cliquant sur non on peut définir le point d'origine de notre protecteur où son axe principal est fixé sur la partie inférieure du pivot

Pour le positionnement on va aligner avec l'outil indiqué si dessous

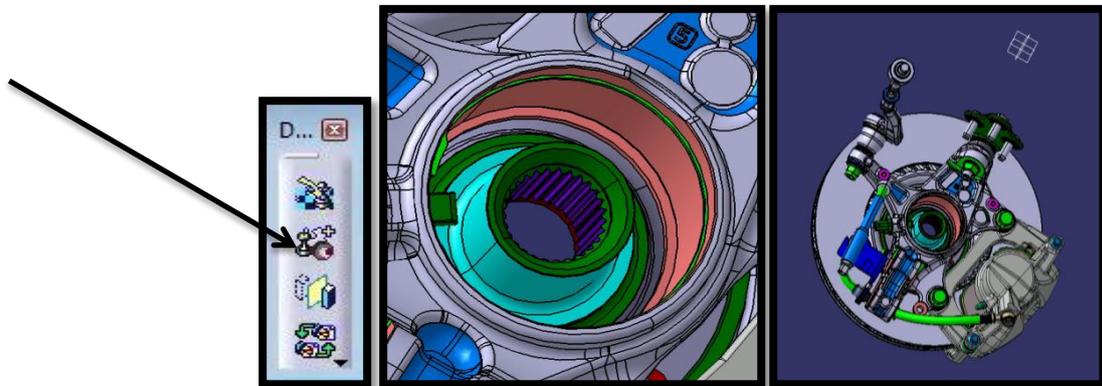


Figure 35:étape 3 de la conception 3D

Pour vérifier le positionnement on utilise la boîte de dialogue (mesure entre) et on s'assure que notre plan est bien positionner.

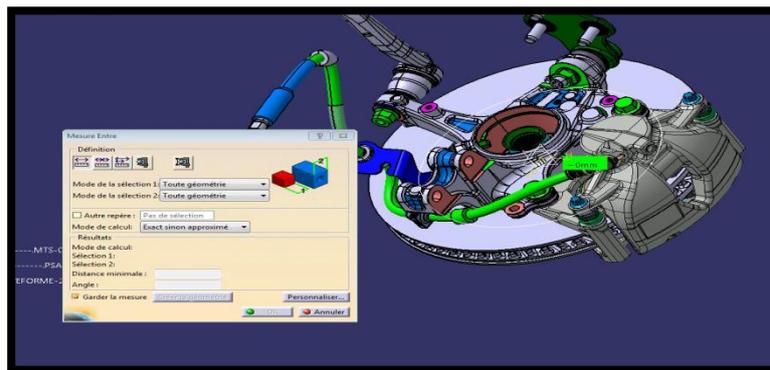


Figure 36:étape 4 de la conception 3D

→ Création du disque

Après en cache l'environnement pour commencer le dessin du premier esquisse dans l'atelier generative shape design.

En appliquant la révolution et on aura comme résultat un disque de diamètre 340mm

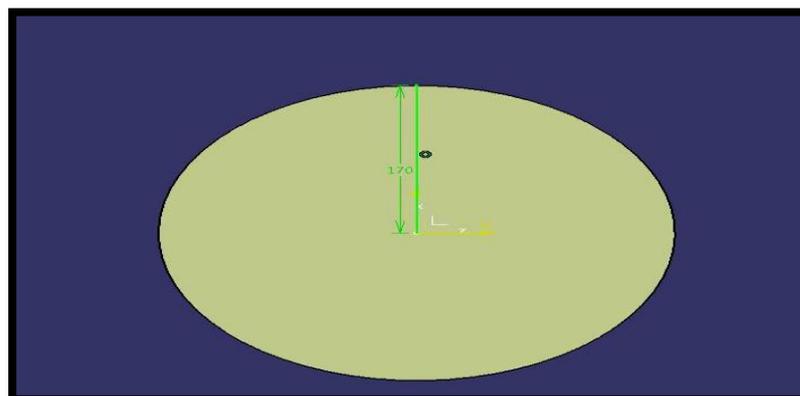


Figure 37:étape 5 de la conception 3D

- Création du premier emboutie d'assemblage pivot porte flexible :
1. Création d'un plan décalé

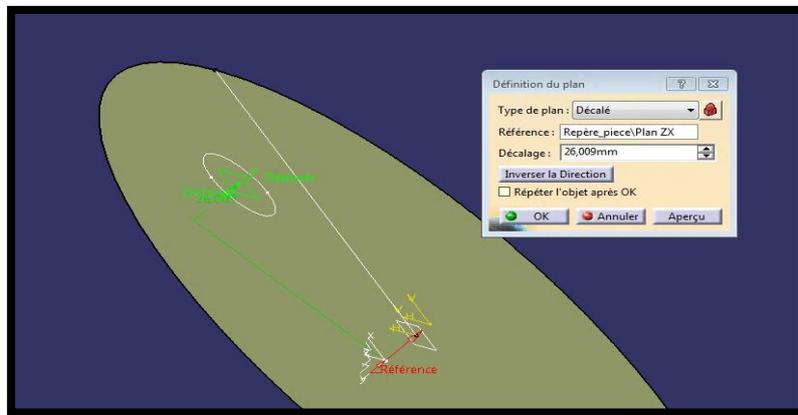


Figure 38:étape 6 de la conception 3D

2. Création d'une esquisse de rayon 19.5mm

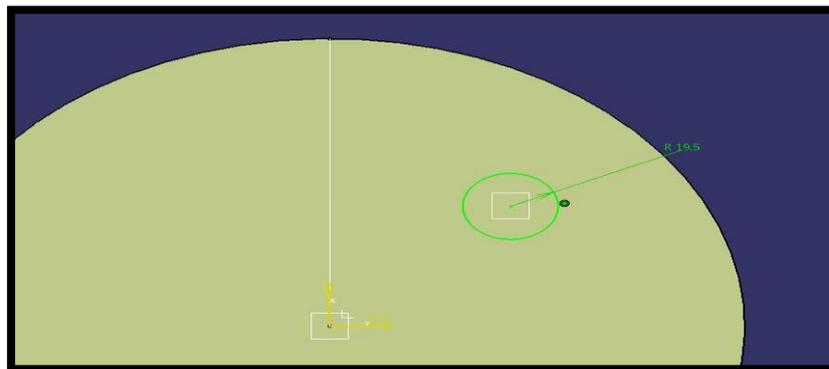


Figure 39:étape 7 de la conception 3D

3. Génération d'un balayage d'angle 35°

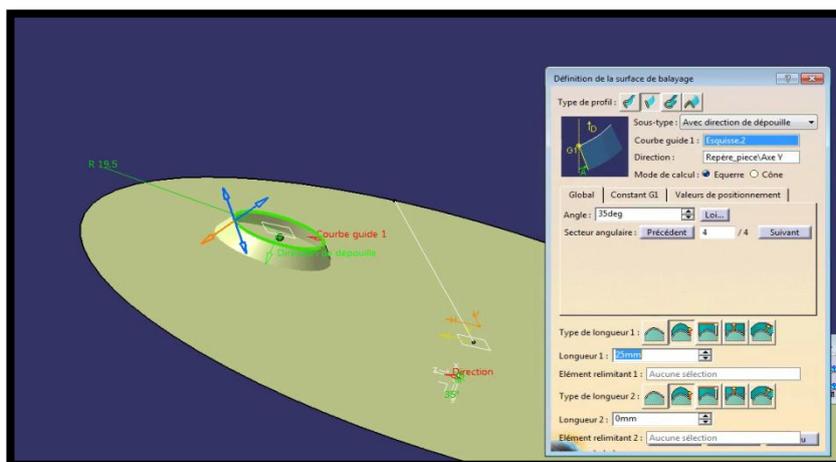


Figure 40:étape 7 de la conception 3D

4. Création d'une esquisse dans la surface où il y aura le trou d'assemblage.

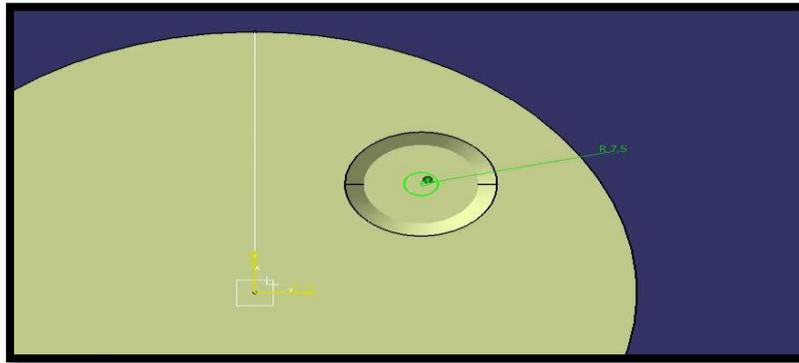


Figure 41:étape 8 de la conception 3D

5. Génération d'un balayage d'angle 71°

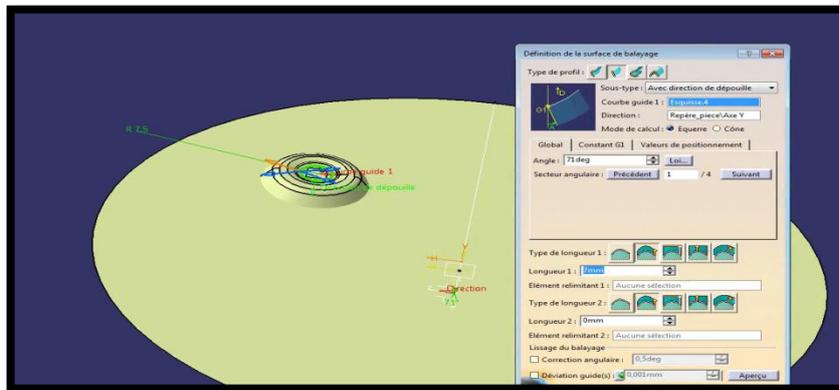


Figure 42:étape 9 de la conception 3D

6. Création d'un trou carré pour l'assemblage d'un vis à écrou à sertir

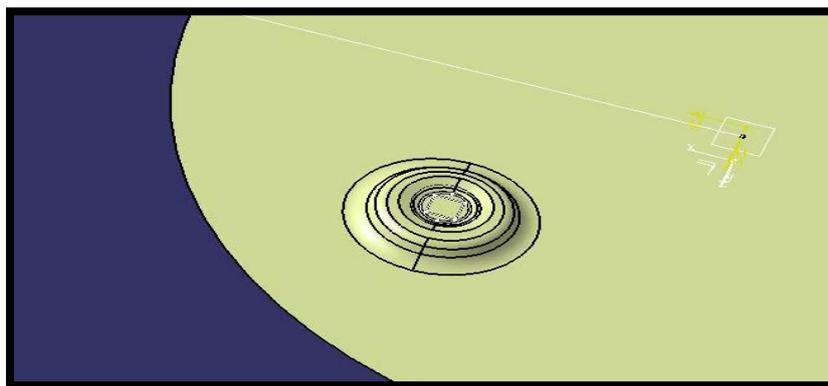


Figure 43:étape 10 de la conception 3D

→ Création du premier emboutie du renfort latéral protecteur :

1. Création de la première esquisse

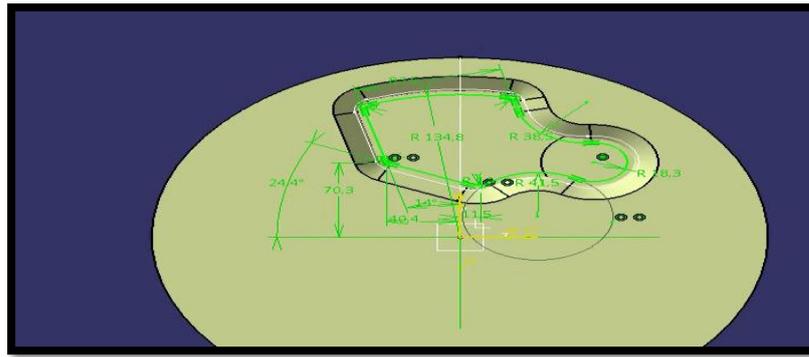


Figure 44:étape 11 de la conception 3D

2. création du balayage de 35°

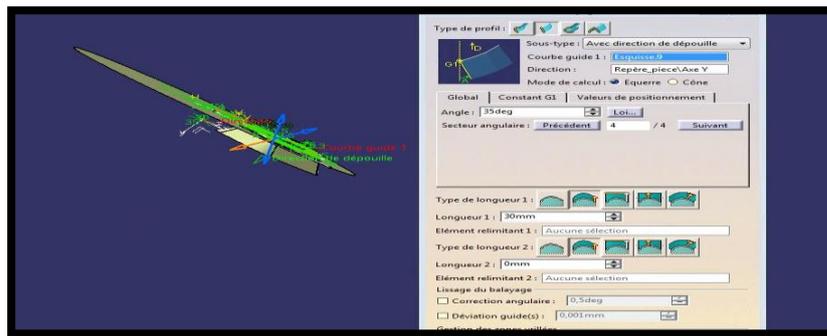


Figure 45:étape 12 de la conception 3D

3. Création de la deuxième esquisse du renfort de l'emboutie

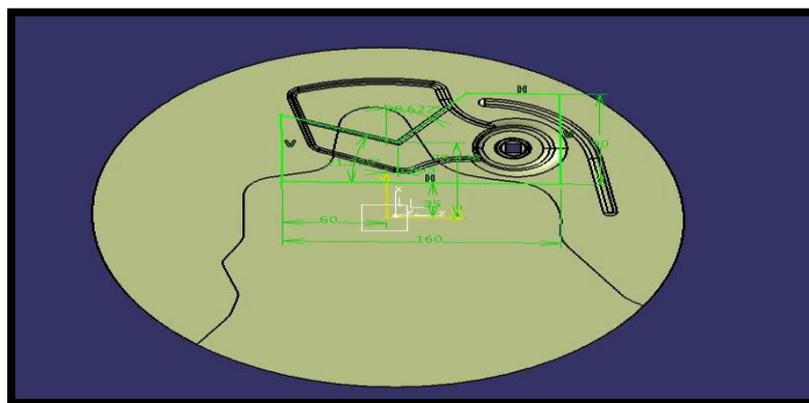


Figure 46:étape 13 de la conception 3D

4. Résultat final

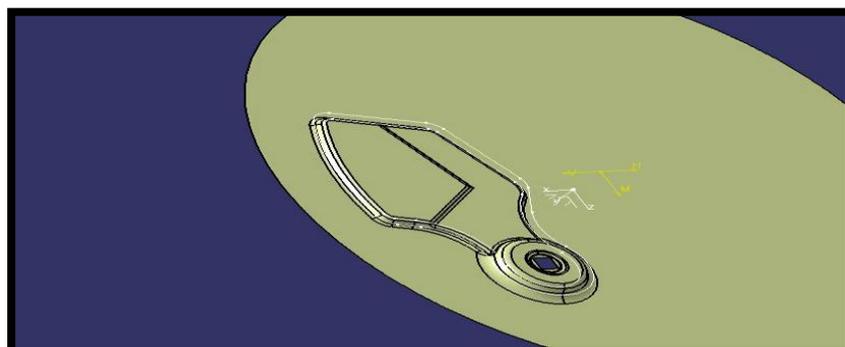


Figure 47:étape 14 de la conception 3D

→ Création du deuxième emboutie du renfort latéral protecteur :

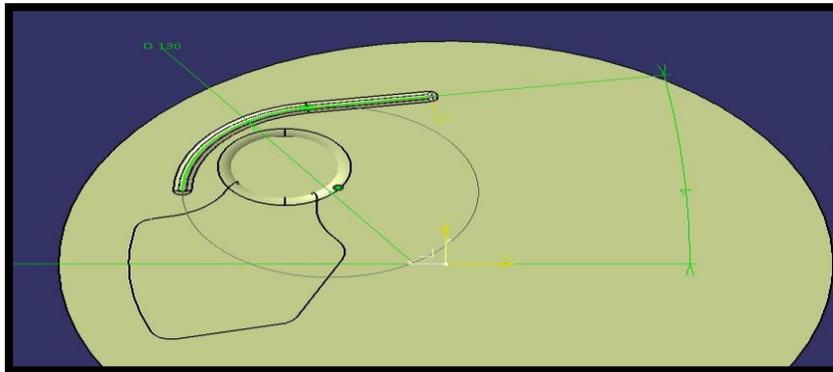


Figure 48:étape 15 de la conception 3D

→ création d'une découpe du périmètre du protecteur en se débarrassant de 5mm du contour

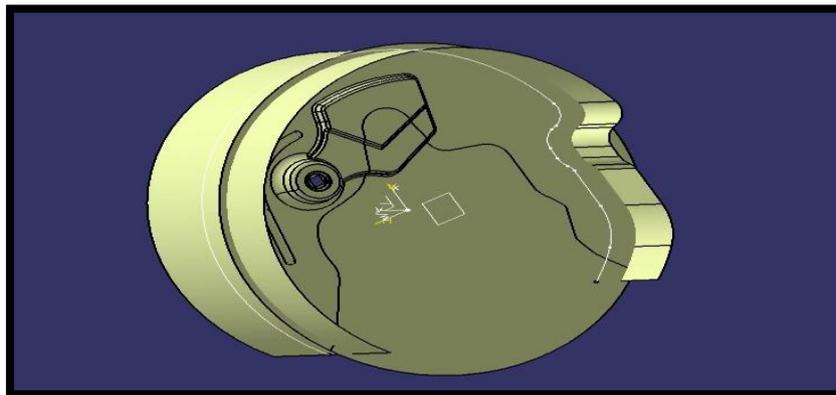


Figure 49:étape 16 de la conception 3D

→ création d'une découpe de la surface interne du protecteur en se basant sur les proximités de l'environnement étrier, rotule, pivot, disque.

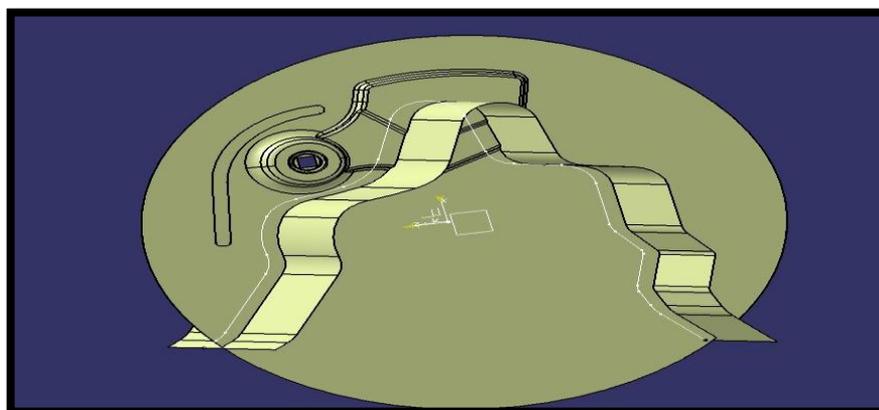


Figure 50:étape 17de la conception 3D

→ Version finale :

Après l'épaississement et la création des zones de fixation des pattes du protecteur ainsi le marquage, ma version finale du protecteur est comme suite :

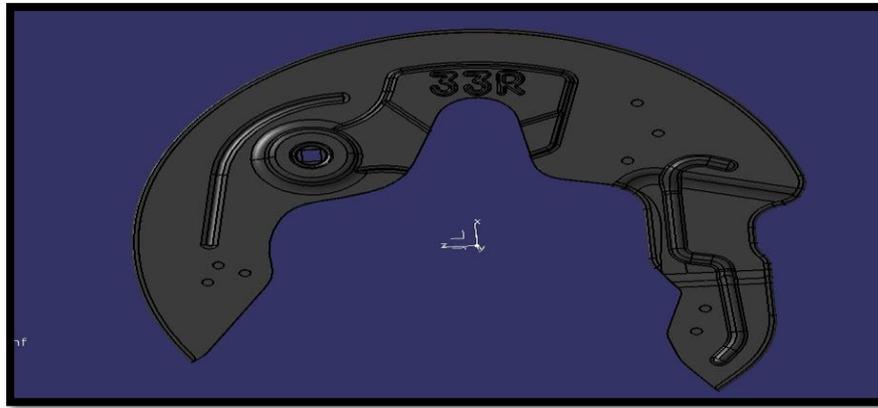


Figure 54:étape 21 de la conception 3D

→ Création des 3 pattes de fixation

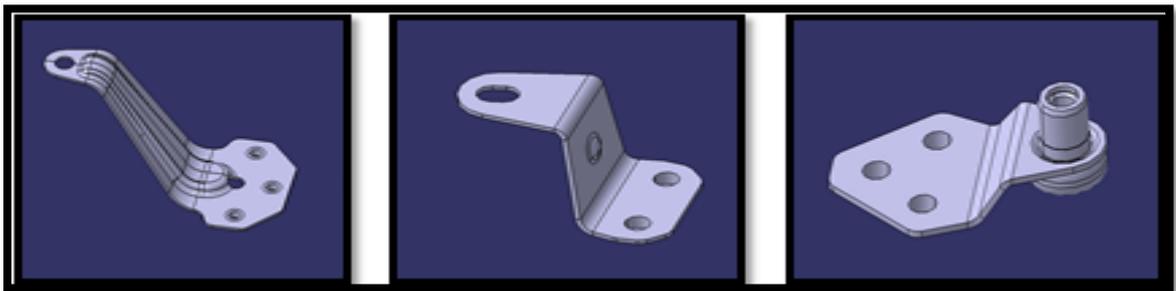


Figure 55:les pattes de fixation

→ Protecteur et pattes de fixation version finale

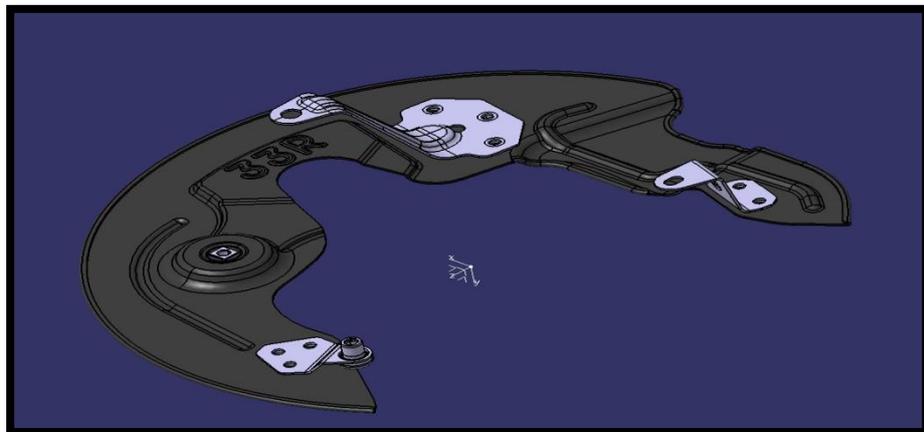


Figure 56:version finale d'assemblage protecteur et pattes de fixation

II.4 Validation DMU/ analyse proximité :

Après la conception je dois vérifier les proximités décrites dans le cahier de charge, que le protecteur doit respecter avec les éléments de son environnement, et qui sont les suivants :

PIVOT-SUSPENSION-D
ETRIE-FREIN-AV-D
FLEXIBLE-FREIN-AV-D
DISQUE-FREIN-VENTILE
CAPTEUR-VITESSE-ROUE

Tableau 12: les éléments de l'environnement

1. Proximité avec l'étrier :

Le jeu entre le protecteur et l'étrier ne doit être borné entre :

✓ $5\text{mm} < \text{jeu} < 10\text{mm}$

Le jeu est respecté après le calcul de proximité car il est borné entre 5mm et 10mm comme la figure mentionne si dessous (pas de zones rouges)

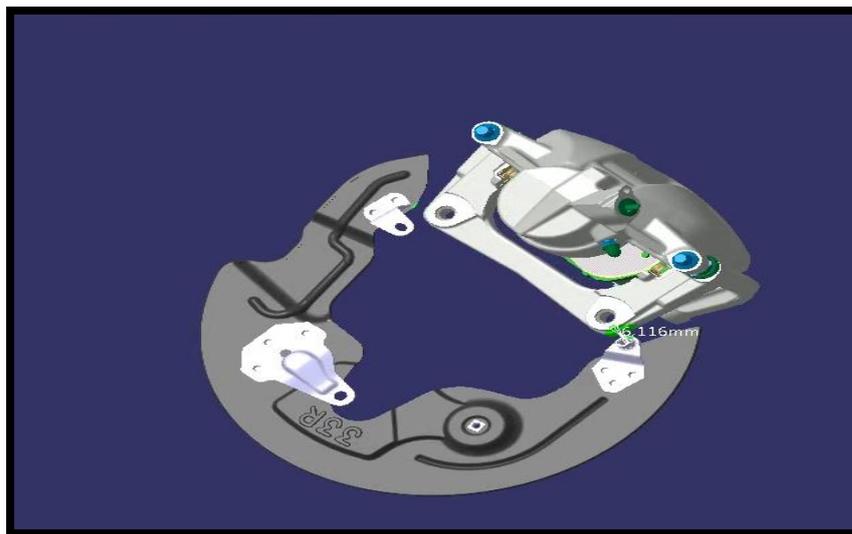


Figure 57:proximité étrier/protecteur

2. Proximité avec le pivot-suspension :

Le jeu entre le protecteur et l'étrier ne doit être borné entre :

- ✓ $5\text{mm} < \text{jeu} < 10\text{mm}$

Le jeu est respecté après le calcul de proximité car il est borné entre 5mm et 10mm comme la figure mentionne si dessous

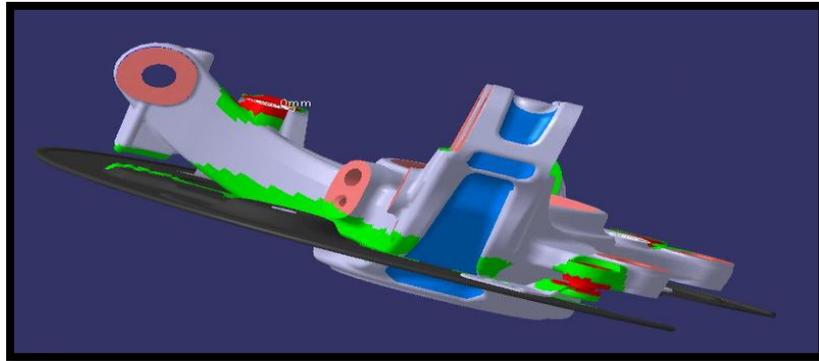


Figure 58:proximité protecteur/pivot

3. Proximité avec le flexible-frein-av-D

Jeu > 0

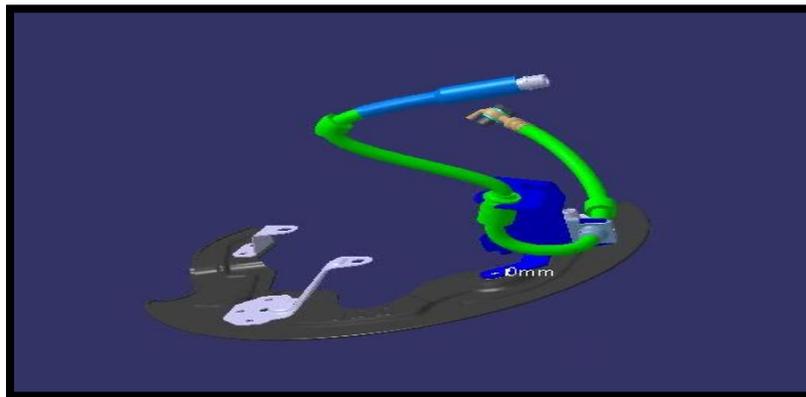


Figure 59:proximité pivot/flexible

4. Proximité avec le disque-frein :

Jeu > 3

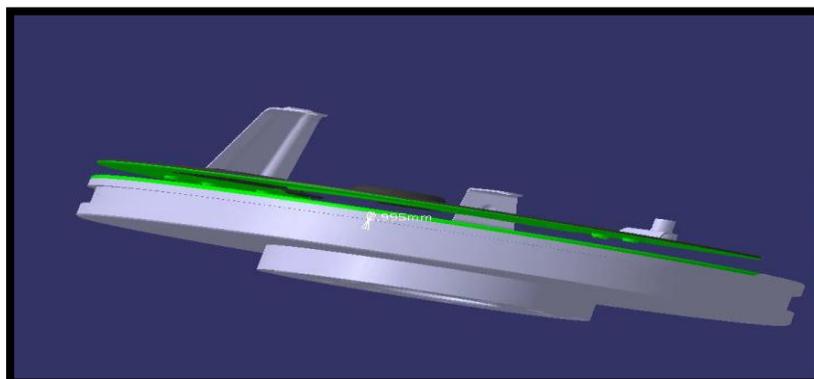


Figure 60:proximité protecteur/disque

5. Proximité avec capteur-vitesse-roue
 Jeu < 3

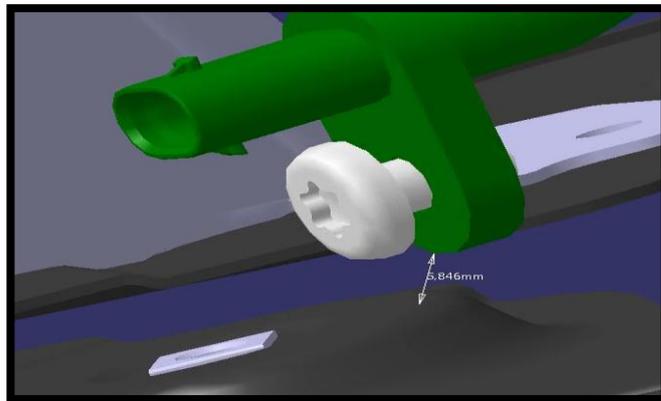


Figure 61: proximité protecteur/capteur de vitesse

III Simulation

La simulation est un outil utilisé par le l'ingénieur. Pour étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel. C'est pareil à mon cas, le moyen le plus simple serait de tenter l'expérience, c'est-à-dire d'exercer l'action souhaitée sur le protecteur en cause pour pouvoir observer ou mesurer le résultat.

III.1 Calcul éléments finis

Ref: V432

Corps : Tôle Aluminium d'épaisseur 1 mm ou 1.2mm

Pattes : Tôle Acier d'épaisseur 1.2mm et 2.5mm

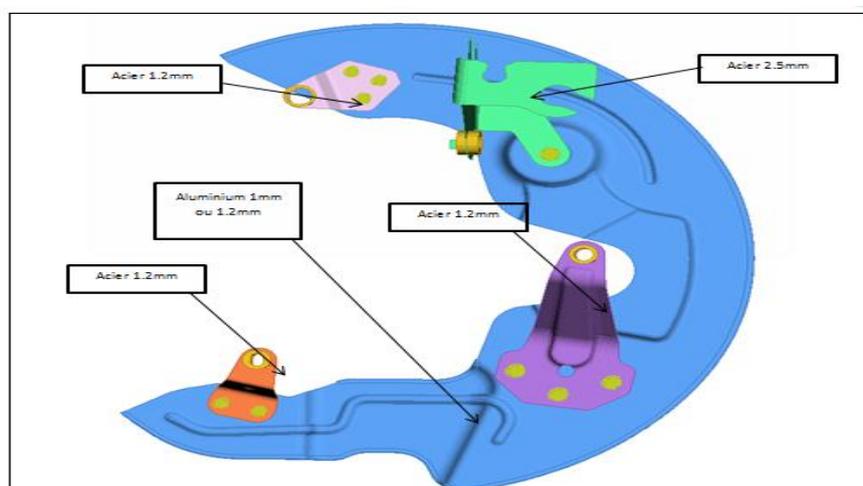


Figure 62 les épaisseurs des éléments du protecteur

➤ **Maillage :**

Conditions de maillage, de mise en donnée et communication suivant les préconisations du document référence :

01447_14_00506 v3 : « Méthodologie de mise en données. Calcul de tenue en fatigue vibratoire des protecteurs de disques de frein. »

➤ **Matériau :**

Les données matériaux :

	Tôle ALU
E (module de young)	70000 MPa
Densité	2700 kg/m ³
Rm	190 MPA
Amortissement structural	0.5%

Tableau 13:Les données matériau ALU

	Tôle ACIER
E (module de young)	210000 MPa
Densité	7820 kg/m ³
Rm	405MPA
Amortissement structural	1%

Tableau 14:Les données matériaux ACIER

➤ **Conditions aux limites :**

. Surfaces de contact :

Modèle V432 fixé par des vis M6, diamètre de la zone d'appuis de la tête de la vis 13mm

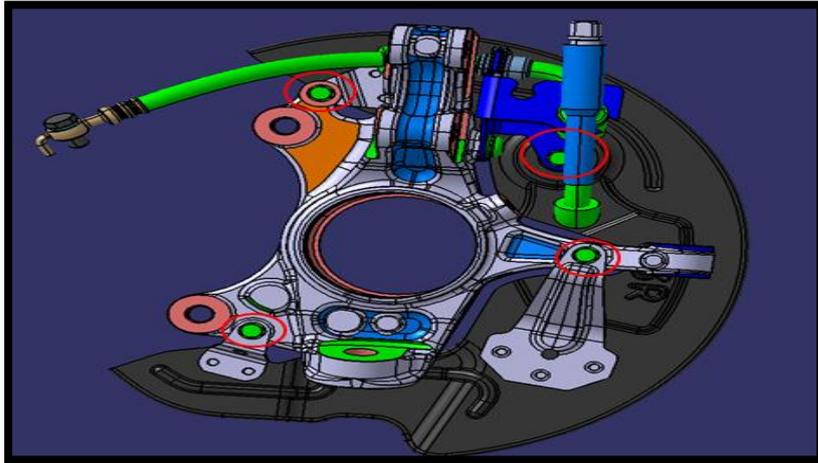


Figure 63: les surfaces de contact

Diamètre de la zone d'appuis de la tête de la vis sur la patte de fixation 17mm

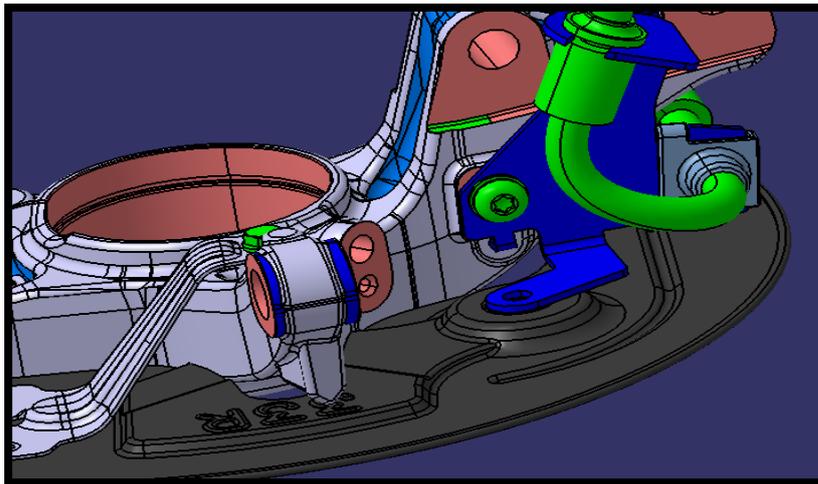


Figure 64: les surfaces de contact

-Protecteur vissé au niveau des pattes de fixation

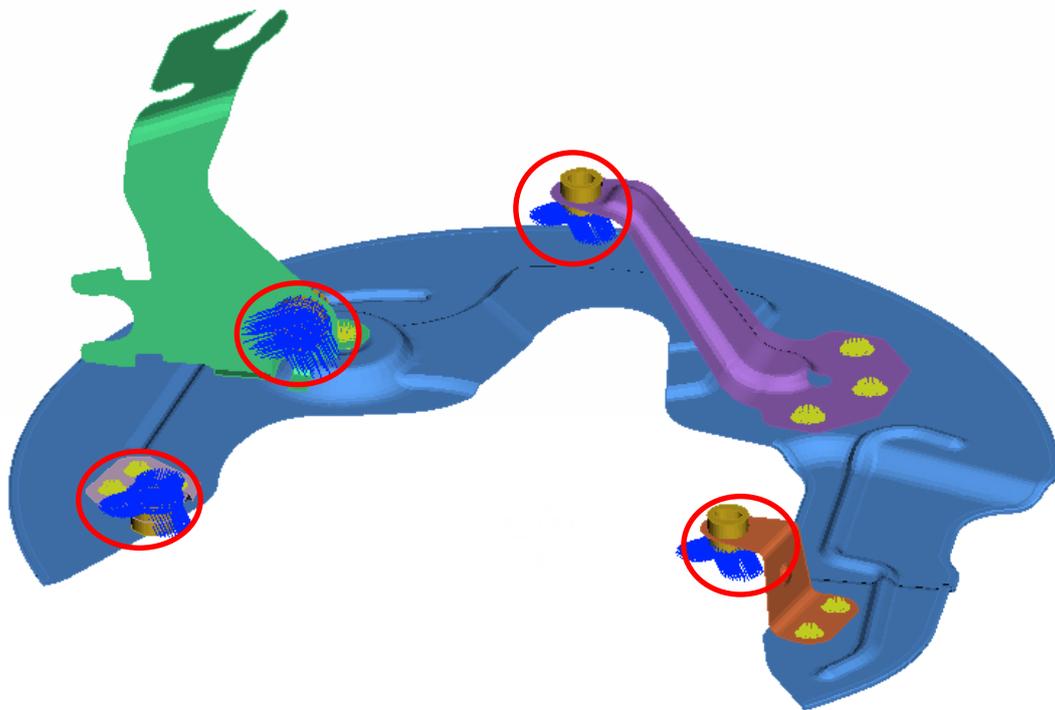


Figure 65:vissage par pattes de fixation

➤ **Signal d'entrée pour la sollicitation vibratoire:**

Signal enveloppe de type DSP représentatif d'un contrat CRD pour la validation en fatigue vibratoire des protecteurs de disque (document ref 01449_09_00176) L'excitation est mono-axiale mais le protecteur sera incliné d'un angle de 23° pour considérer les sollicitations en Y et Z véhicule. Le spectre sera joué sur la plage 16-200Hz.

➤ **Contrôles de la qualité du maillage:**

1. Rappel des attendus

Ne pas dépasser le nombre maximal de nœuds et d'éléments contenus dans le modèle :

- Nombre de nœuds maxi \approx 66000
- Nombre d'éléments maxi \approx 65000

Sur l'ensemble du maillage, le nombre d'éléments triangulaire doit être inférieur à 3% du total
 Contrôle des bords libres, des nœuds et des éléments coïncidents avec les fonctions proposées par le

logiciel de maillage. Aucun élément acceptable ne doit apparaître dans un rayon de 5 mm à proximité des zones à contraintes maxi.

Aucun élément triangulaire n'est accepté dans un rayon de 10 mm à proximité des zones à contraintes maxi.

Qualité des éléments : voir standards client

2. Le résultat obtenu

Voilà les résultats qu'on obtient lorsqu'on applique un signal d'entrée pour la sollicitation vibratoire après le maillage

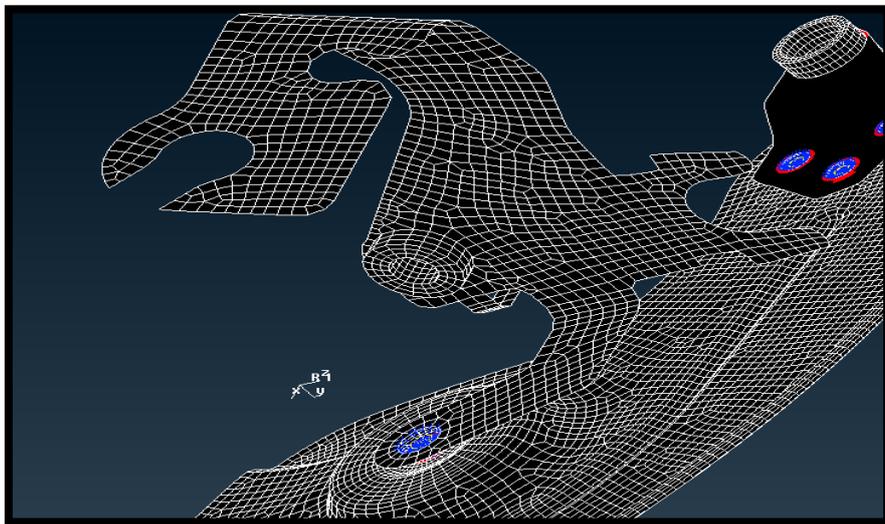


Figure 66: résultat du maillage 1

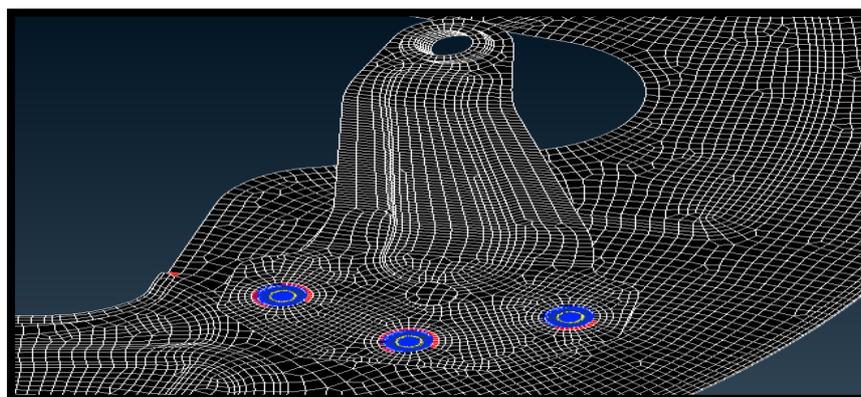


Figure 67: résultat du maillage 2

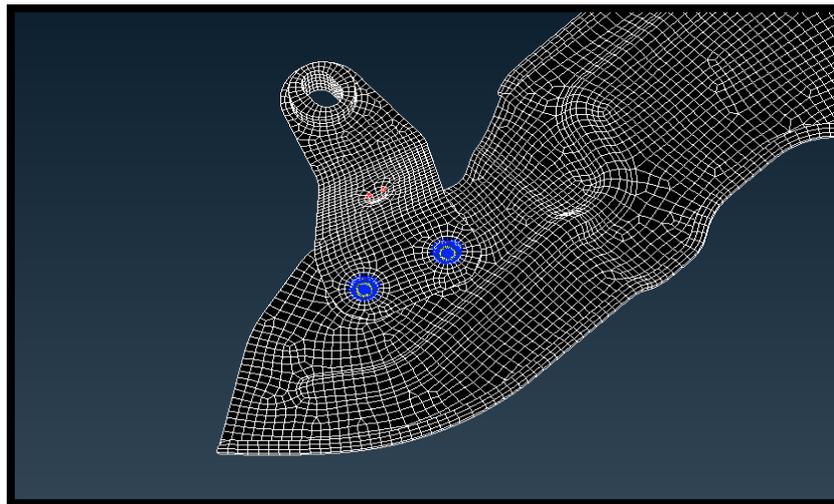


Figure 68: résultat du maillage 3

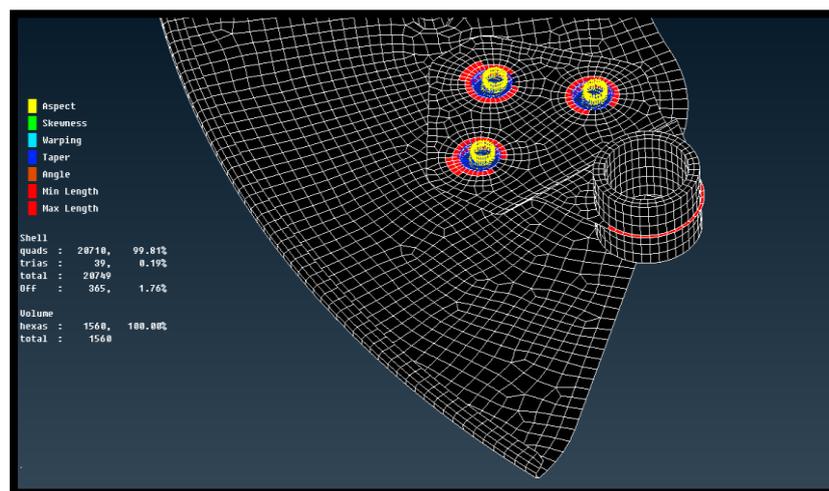
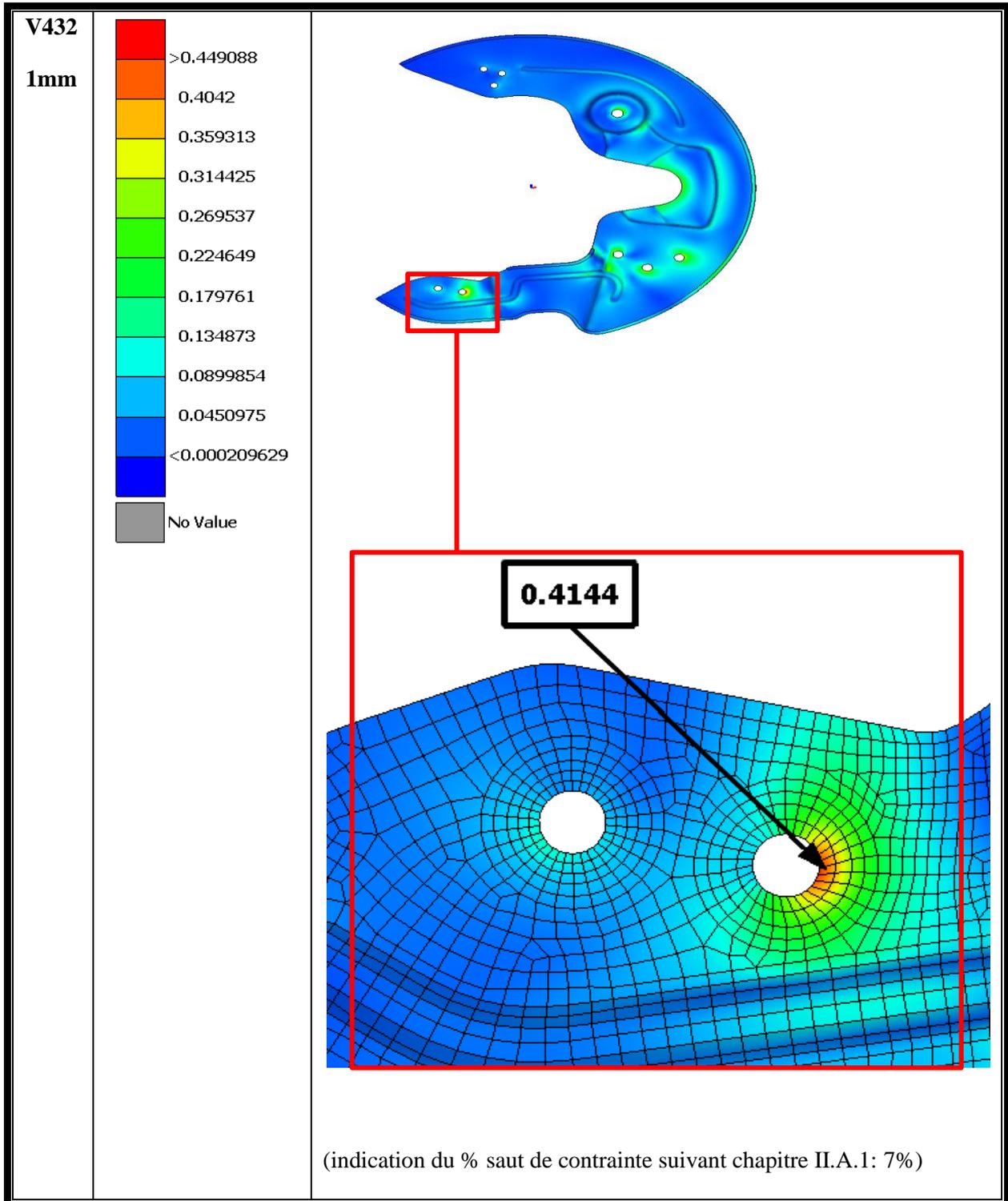


Figure 69: résultat du maillage 4

III.2 Tenue en fatigue vibratoire et analyse des contraintes :

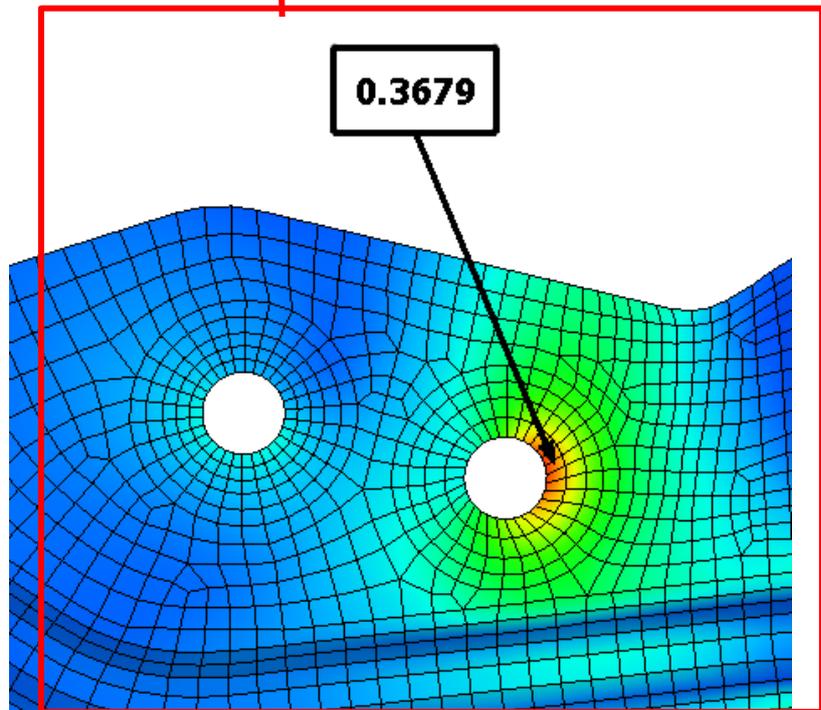
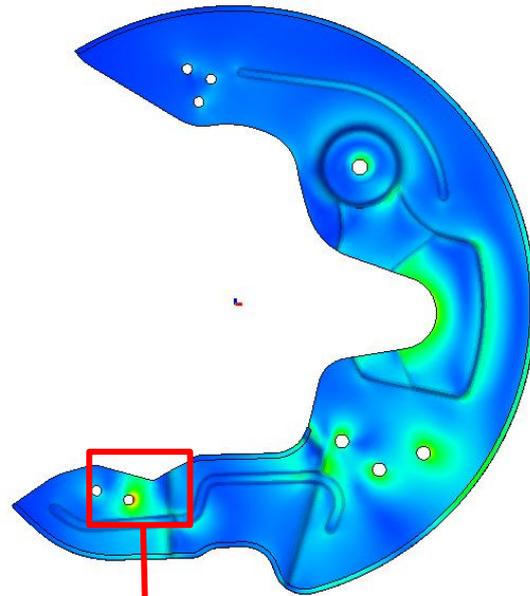
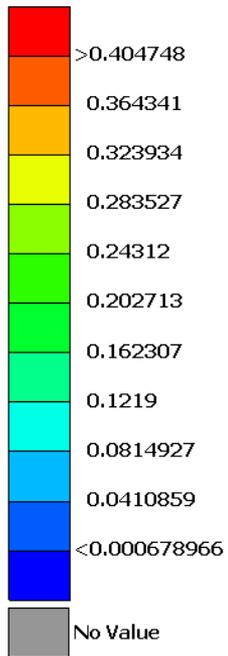
Puisque la masse est l'un des critères qu'on doit se baser afin de concevoir un modèle moins lourd. Dans cette étape j'ai fait la comparaison des deux solutions du protecteur avec deux épaisseurs différentes qui sont 1 mm et 1.2mm. et les résultats sont interprétés dans les figures suivantes.

➤ Localisation des zones à forte contraintes : Analyse en peau inférieure Aluminium



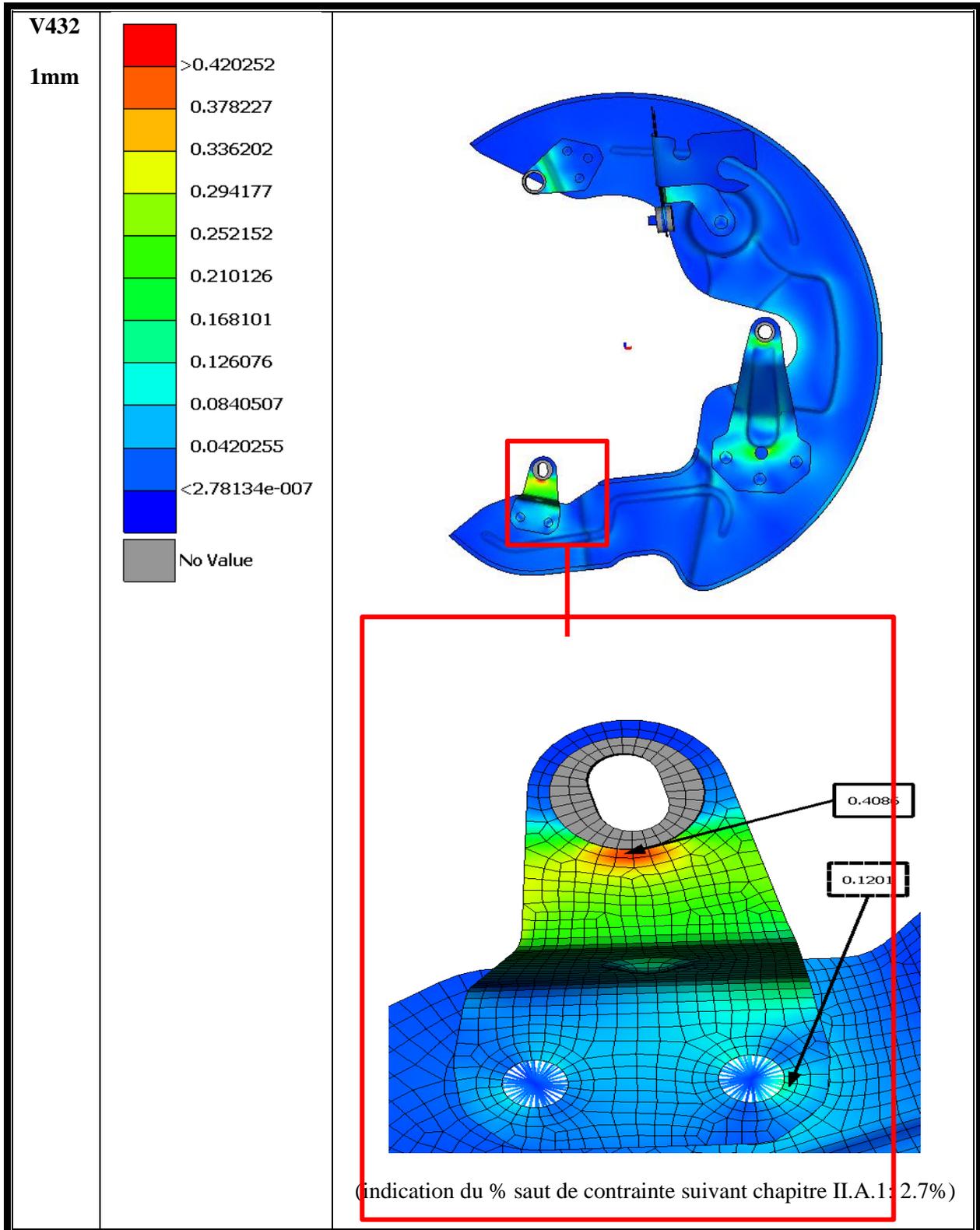
V432

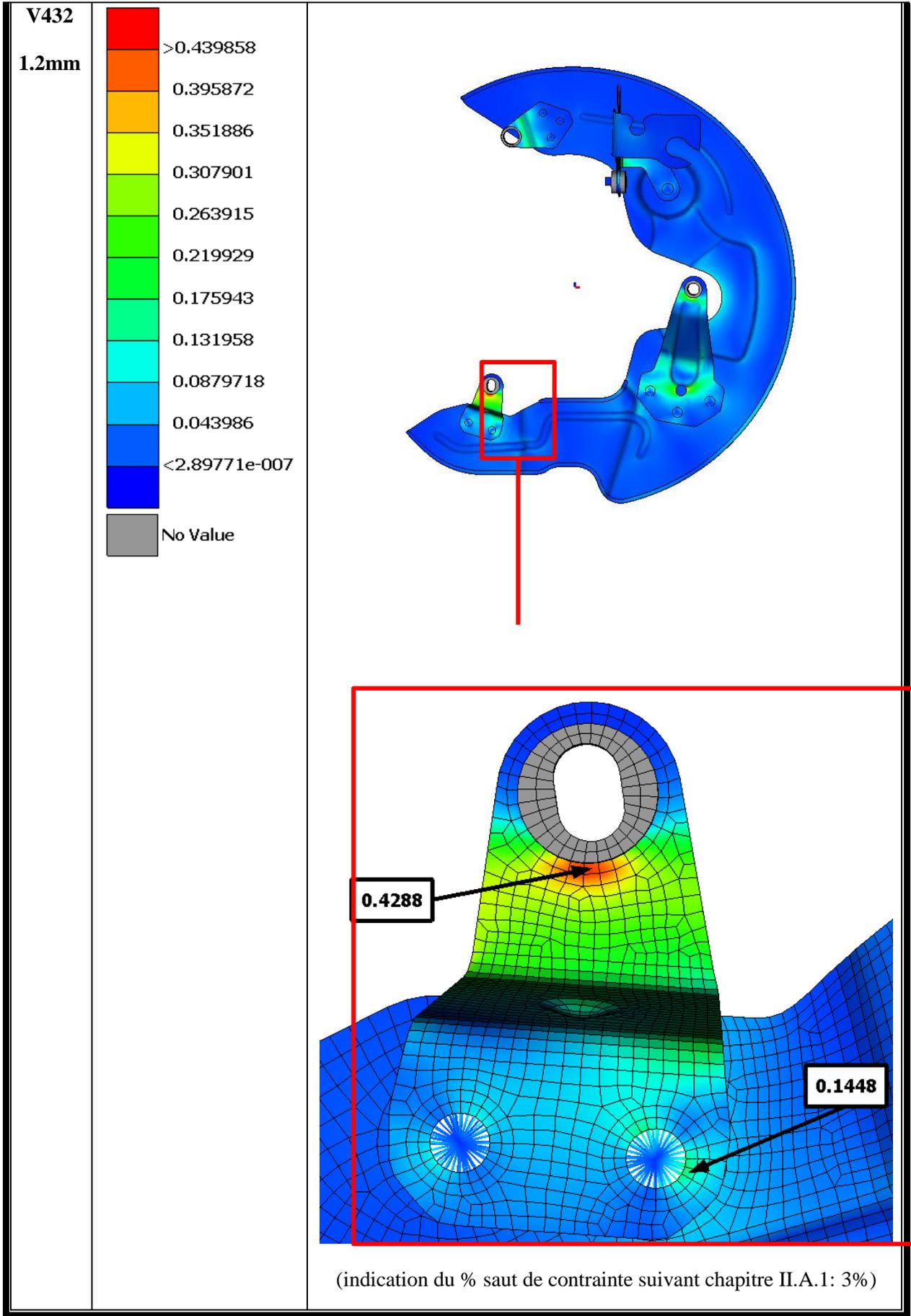
1.2mm



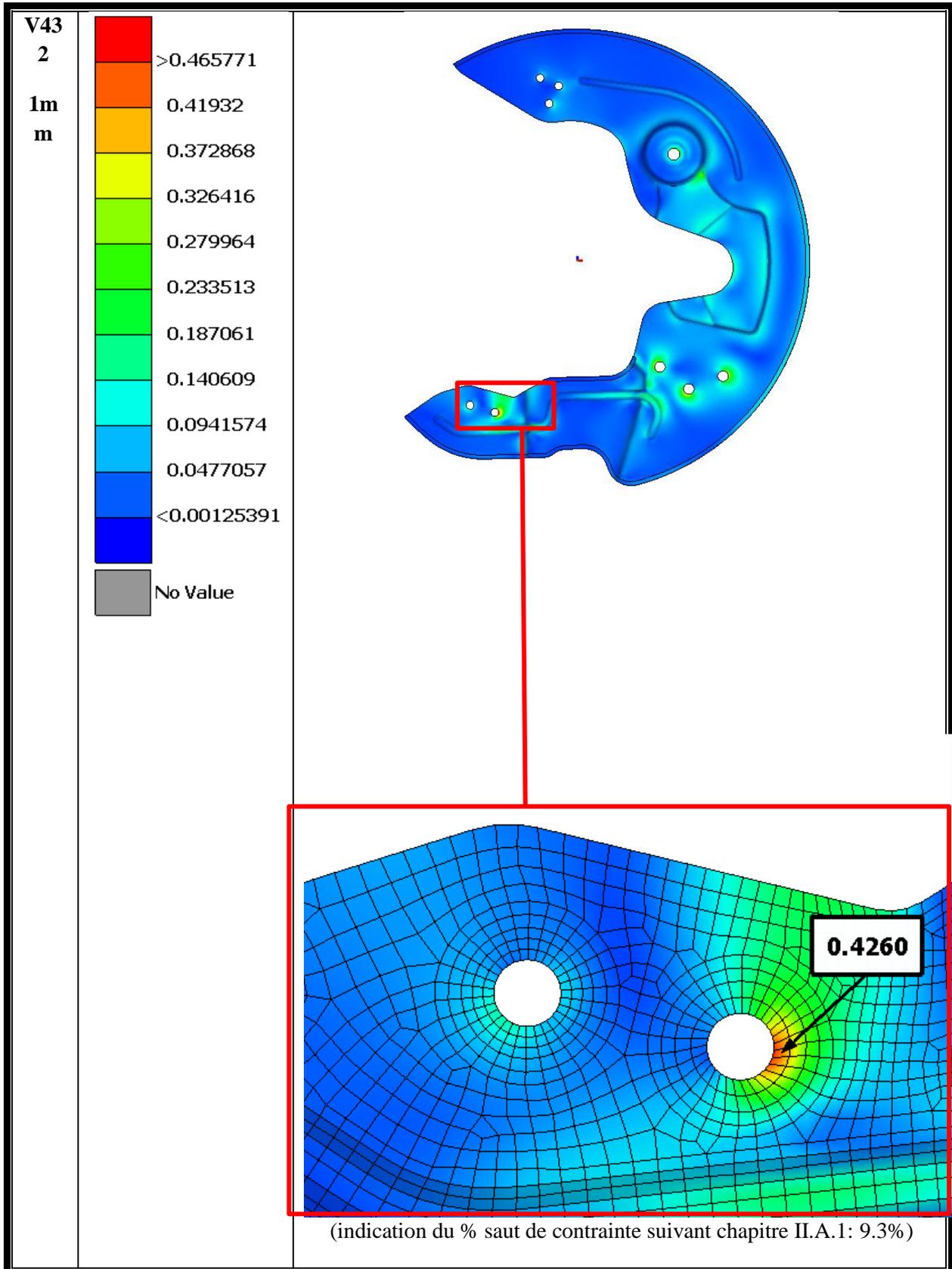
(indication du % saut de contrainte suivant chapitre II.A.1: 6.8%)

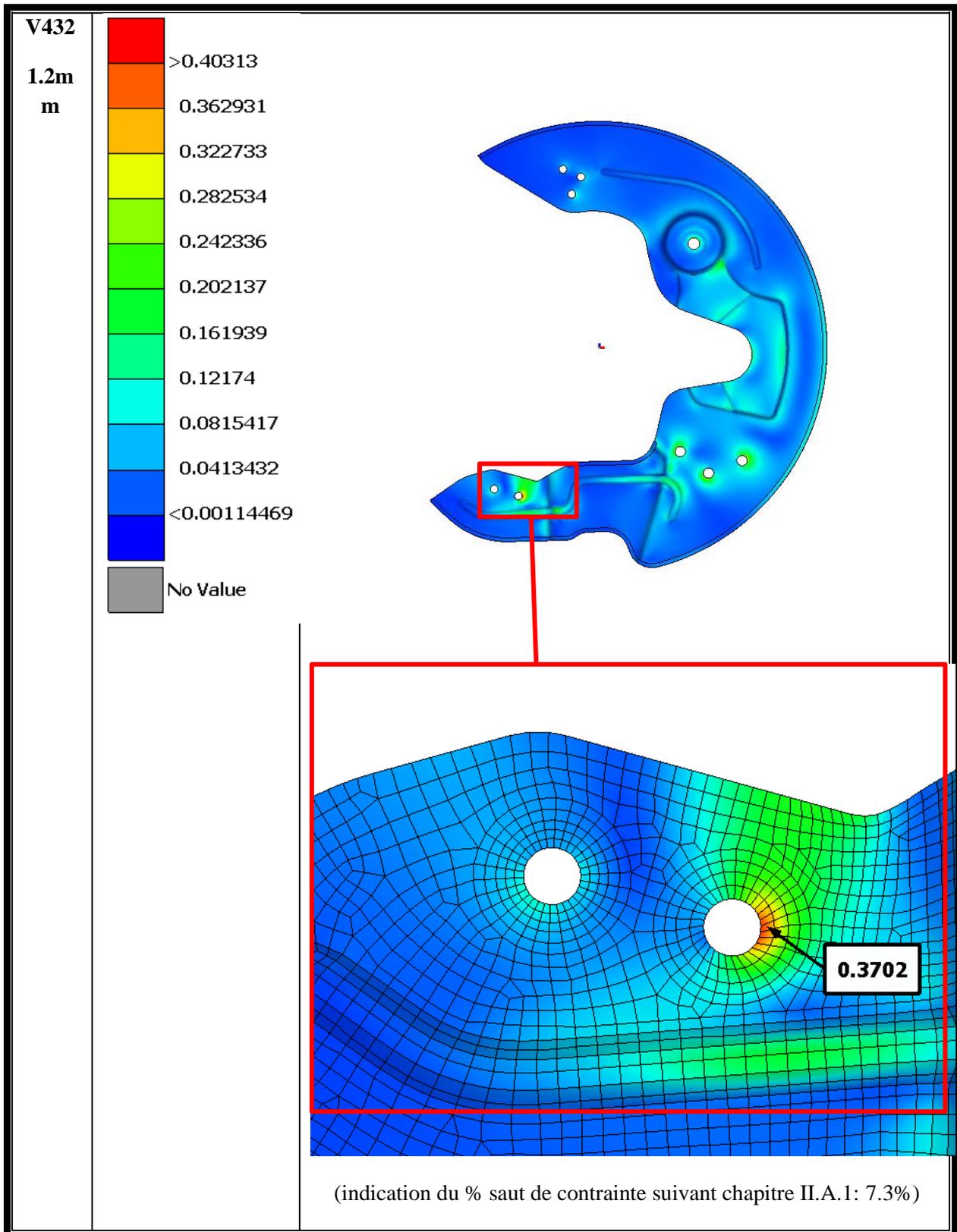
➤ Localisation des zones à forte contraintes : Analyse en peau inférieure Acier



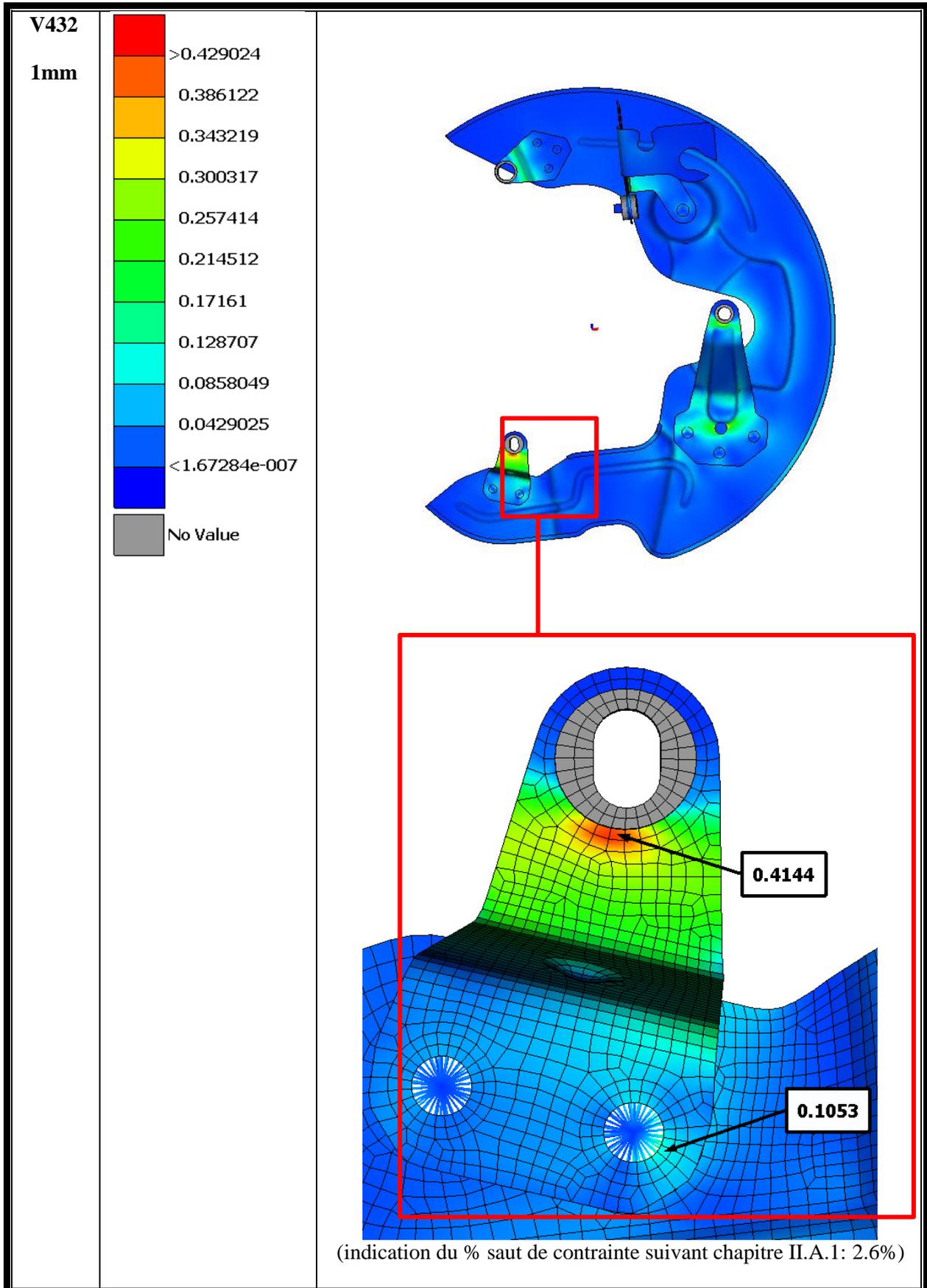


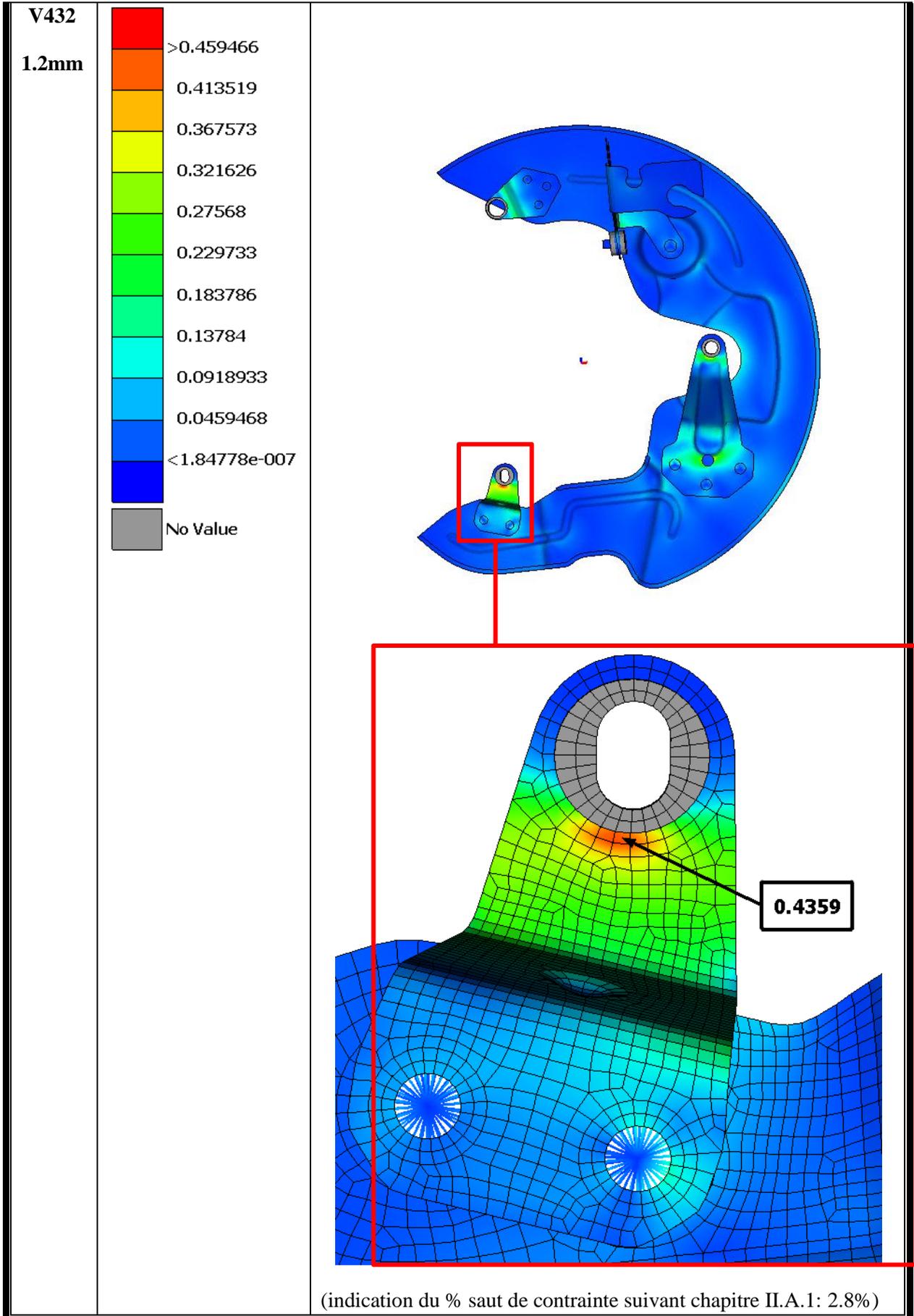
➤ Localisation des zones à forte contraintes : Analyse en peau supérieure Aluminium :





➤ Localisation des zones à forte contraintes : Analyse en peau supérieure Acier :





III.3 Synthèse des résultats

III.3.1 Présentation du critère et des limites matériau

L'endommagement correspond à un **contrat** 240 000 km client équivalent à 1000000 cycles

Les limites acceptables par rapport au critère sont les suivantes :

III.3.2 Solution ref V432 corps 1mm:

Les résultats de cette étude en termes de fatigue vibratoire pour des spécifications d'essai en contrat **Europe** sont les suivantes :

Corps en Aluminium

Tôle ALU épaisseur 1 mm	Analyse Peau inférieure	Analyse Peau supérieure
	<i>Clinchage</i>	<i>Clinchage</i>
Valeur du critère (V432)	0.4144	0.4260
Tenue en fatigue correspondante	NOK	NOK

Tableau 15: Solution ref V432 corps 1mm

III.3.3 Solution ref V432 corps 1.2mm :

Les résultats de cette étude en termes de fatigue vibratoire pour des spécifications d'essai en contrat **Europe** sont les suivantes :

Corps en Aluminium

Tôle ALU épaisseur 1.2 mm	Analyse Peau inférieure	Analyse Peau supérieure
	<i>Clinchage</i>	<i>Clinchage</i>
Valeur du critère (V432)	0.3679	0.3702
Tenue en fatigue correspondante	OK	OK

Tableau 16: Solution ref V432 corps 1.2mm

Les résultats de cette étude en termes de fatigue vibratoire pour des spécifications d'essai en contrat **Europe** sont les suivantes :

Pattes en Acier

Tôle HLE épaisseur 1.2 mm	Analyse Peau inférieure	Analyse Peau supérieure
	<i>Intérieur matière</i>	<i>Intérieur matière</i>
Valeur du critère (V432)	0.4288	0.4359
Tenue en fatigue correspondante	OK	OK

Tableau 17: Solution ref V432 corps 1mm

III.4 Emboutissabilité

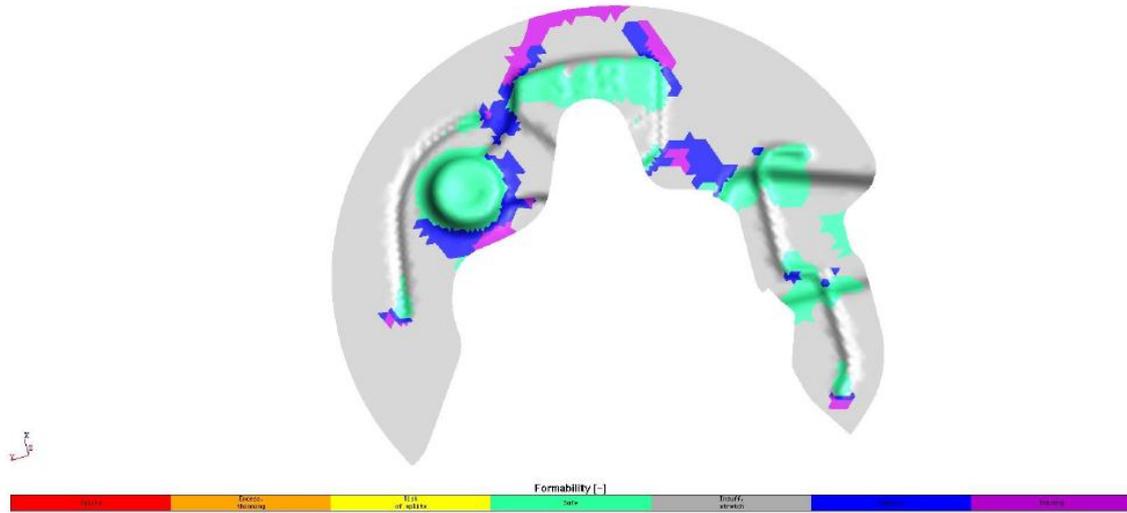
Emboutissage est un terme qui définit une technique de fabrication permettant d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince, un objet dont la forme n'est pas développable. L'ébauche en tôle est appelée « Becker », c'est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. La température de déformation se situe entre le tiers et la moitié de la température de fusion du matériau.

L'emboutissage est un procédé de fabrication très utilisé dans l'industrie automobile, dans l'électroménager, etc.

Afin de vérifier la possibilité de l'emboutissage du protecteur conçu, je me suis remédiée au logiciel one-step afin de réaliser la simulation.

III.4.1 One step

Réalisation One-Step.



Il n'y a pas de zones à améliorer. La pièce telle qu'elle est définie ne présente pas de zones à risque de rupture liée à l'emboutissage.

IV Conclusion :

Après avoir l'application du calcul en éléments finis et le calcul en analyse vibratoire, on a constaté que le protecteur va subir des fortes sollicitations de contraintes s'il est conçu avec une épaisseur de 1mm, c'est pour cela on doit changer ce dernier en 1.2 mm pour le renforcer afin de répondre au critère de la durée de vie en kilométrage. D'où la validation de l'emboutissabilité après le renforcement est bien acceptable.

Conclusion

Dans la lumière de mon projet de fin d'étude effectuée au sein d'Altran Maroc sous le titre «Conception et calcul d'un protecteur disque frein avant» et qui s'inscrit dans le cadre de la formation professionnelle pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieurs d'état de la faculté des sciences et techniques, j'ai pu profiter d'une expérience très riche dans le domaine automobile et de découvrir dans le détail la liaison au sol , ses éléments, contraintes... et il m'a donné l'opportunité de participer concrètement à ses enjeux au travers de ma mission qui consiste à concevoir les pièces du protecteur disque frein avant.

Dans une perspective d'innovation continue qui est l'objectif principale du groupe Altran, j'ai commencé le travail sur ce sujet par une formation dans l'outil CATIA ainsi qu'une formation métier pour avoir la compétence nécessaire pour mener à bien un projet dans le secteur automobile, après j'ai pu organiser mon travail sous formes 3 chapitres bien liées aux termes des résultats obtenus et qui sont les suivants :

Chapitre 1 : contextualisation du projet dans son périmètre liaison au sol.

Chapitre 2 : regroupement du maximum d'information utile et cela en deux phases « analyse de l'existant et Benchmarking » et « analyse fonctionnelle », ensuite assimilation des solutions faites par les concurrents et par le retour d'expérience du client, afin de choisir les solutions techniques pour concevoir les pièces du protecteur disque frein avant.

Chapitre 3:conception clôturée par l'étude en éléments finis et la simulation d'analyse vibratoire, et enfin l'étape de l'étude d'emboutissabilité qui résume que mon protecteur est prêt à usiné.

A cet effet, j'espère que ce travail a pu satisfaire dans une large mesure les exigences du cahier des charges imposées par le client.

Bibliographie :

- ❖ ma.altran.com
- ❖ bibli.ec-lyon.fr/exl-doc/TH_T2092_glavaud.pdf
- ❖ apres-vente-auto.com/
- ❖ Recherche technique acier/ l'emboutissage des aciers en tôles minces
- ❖ Fiches-auto.fr/articles-auto/crash-test
- ❖ tel.archives-ouvertes.fr/tel-00453616/
- ❖ wenku.baidu.com/view/ed1b3ee09b89680203
- ❖ www.acome.fr/fr/Auto-Embarque2/Auto-Embarque/Paroles-d-expert-Automobile-et-Solutions-embarquees/L-allegement-des-vehicules-automobiles
- ❖ automotive.arcelormittal.com/Europe/products/AHSS/DP/FR
- ❖ [neurones.espci.fr/ INTRODUCTION AU clinchage](http://neurones.espci.fr/)
- ❖ Analyse de concurrence est basée sur le Site de comparaison concurrence de client

Annexe

Annexe1 :

N°	CRITERE	EXIGENCES
A EXIGENCES & DONNEES PROJET ET VEHICULE		
	Masse	Masse optimisée la plus petite
	Coût	Coût optimisé le moins cher
	Planning	planification sur 2 mois max
	Volume	Volume moins encombrant
	Qualité	Fiabilité, faisabilité, durabilité
	Véhicule	Prendre le product PFE_PROTECTEUR comme environnement de travail dans la maquette numérique
B EXIGENCES & DONNEES SUR LA PERFORMANCE DU PRODUIT		
	Calcul	Analyse modale: afin de garantir une bonne tenue mecanique, viser pour le premier mode propre, une valeur de fréquence proche, voir même audelà,de 100Hz
	caractéristiques mécaniques	Materiau tôle E275D
	anti-corrosion	Prévoir une solution anti-corrosion (3 ans sans corrosion rouge)
D EXIGENCES & DONNEES INDUSTRIELLES		
	Faisabilité	Métrologie: définition d'une surface référence pour bridage de la pièce en contrôle métrologie
E EXIGENCES & DONNEES APRES-VENTE & PIECES DE RECHANGE		
	APV	le protecteur doit permettre le remplacement des plaquettes de freins sans le démontage de celui-ci
G EXIGENCES & DONNEES INTERFACES PHYSIQUES ET LOGIQUES		
	Proximités	Prise en compte des données de proximité dans la maquette numérique: identification des interférences possibles
	Proximités	protecteur / étrier : 5mm < Jeu < 10 mm
	Proximités	protecteur / rotule triangle avant inf: Jeu mini 3mm
	Proximités	protecteur / disque: -En standard: proximité de 5mm mini -Zone rotule inferieur: proximité de 3mm mini -Au niveau du diamètre extérieur: dépassement de 2mm
	Proximités	protecteur / pivot: 5mm < jeu < 10mm
	Proximités	Protecteur / capteur CVR: jeu < 3mm
	Proximités	protecteur / rotule biellette de direction: jeu < 4 mini
	Proximités	protecteur / support flexible frein: prévoir une zone de fixation du support flexible sur le protecteur

Annexe 2 :

(Brainstorming)

Après avoir effectué une pluralité des discussions en ce qui concerne mon sujet avec les consultants qui travaille sur le périmètre du freinage on a pu dégager les informations suivantes : un protecteur doit être capable de satisfaire les exigences suivante

- ✓ L'endurance :
 - L'endurance au vieillissement,
 - L'endurance thermomecanique,
- ✓ La resistance aux sollicitations exterieures,
 - La resistance aux sollicitations exceptionnelles,
 - La resistance aux agressions par gravillons,
 - La resistance aux agressions par fluides,
 - Lors de son cycle de vie, le protecteur est soumis au travers de contacts occasionnels a des risques d'agressions exterieures par des agents chimiques fluides, et particulierement par ,les fluides automobiles embarques dans le vehicule.
 - La resistance aux agressions physiques et mecaniques,
 - La resistance aux nettoyages a haute pression,
 - La resistance aux chocs,
 - La resistance aux vibrations,
 - La resistance thermique
- ✓ La montabilite,
 - Conformite geometrique des interfaces (pour montage)
 - Montage
- ✓ La conformite a la reglementation :
 - La conformite aux reglements de recyclabilite
 - Controle garniture
- ✓ La conformite geometrique des interfaces (hors montage, encombrement)
- ✓ Le respect des pieces et elements environnants,
- ✓ Le respect des occupants, des personnes exterieures et des autres usagers,

- Le silence (la conformite de bruyance) en fonctionnement

- Le silence (la conformite de bruyance) hors fonctionnement
- ✓ Protection thermique
- Le protecteur doit resister aux contraintes issues de son utilisation sur vehicule.
- L'endurance a l'utilisation du protecteur sera validee sur banc ou vehicule sur les aspects de :
 - ✓ Tenue des fixations
 - ✓ Efficacite standard
 - ✓ Tenue gravillonnage (bon fonctionnement)
 - ✓ Validation essai Karcher (resistance au lavage vehicule standard)
 - ✓ Recherche bruit de frein
- ✓ Efficacite sur sol mouille (bon fonctionnement)
- ✓ Mission froide, validation entrees neige (bon fonctionnement, pas de blocage etrier)
- Le protecteur doit resister au vieillissement dans son environnement vehicule. Enparticulier, le protecteur doit resister au vieillissement thermique et hygrometrique. Le demontage des elements permettant le changement des garnitures et des pieces d'usure doit etre encore possible sans deterioration.

Annexe3 :

	Ref. A2Mac1	10005-406
	ParthCode	F2105
	Quantity of parts	1
	Part weight	0.670 kg
	Fasteners weight	0.030 kg
	Total weight	0.700 kg
	Matériaux	Metal > Acier

Fixations										Expand All Collapse All								
#	Dimensions	Nom	Outil	Photo	Qty	Dureté	Poids	Poids total										
1	<ul style="list-style-type: none"> • A : 6 mm • B : 8 mm 	<table border="1"> <tr><td>Nom</td><td>Vis à tête hex</td></tr> <tr><td>Groupe</td><td>Vis</td></tr> <tr><td>Material</td><td>Metal</td></tr> <tr><td>Filetage</td><td>N.A.</td></tr> </table>	Nom	Vis à tête hex	Groupe	Vis	Material	Metal	Filetage	N.A.			6	N.A.	0.0050	0.0300		
Nom	Vis à tête hex																	
Groupe	Vis																	
Material	Metal																	
Filetage	N.A.																	

Photos Generale



Situation



Situation



situation 2



situation 2

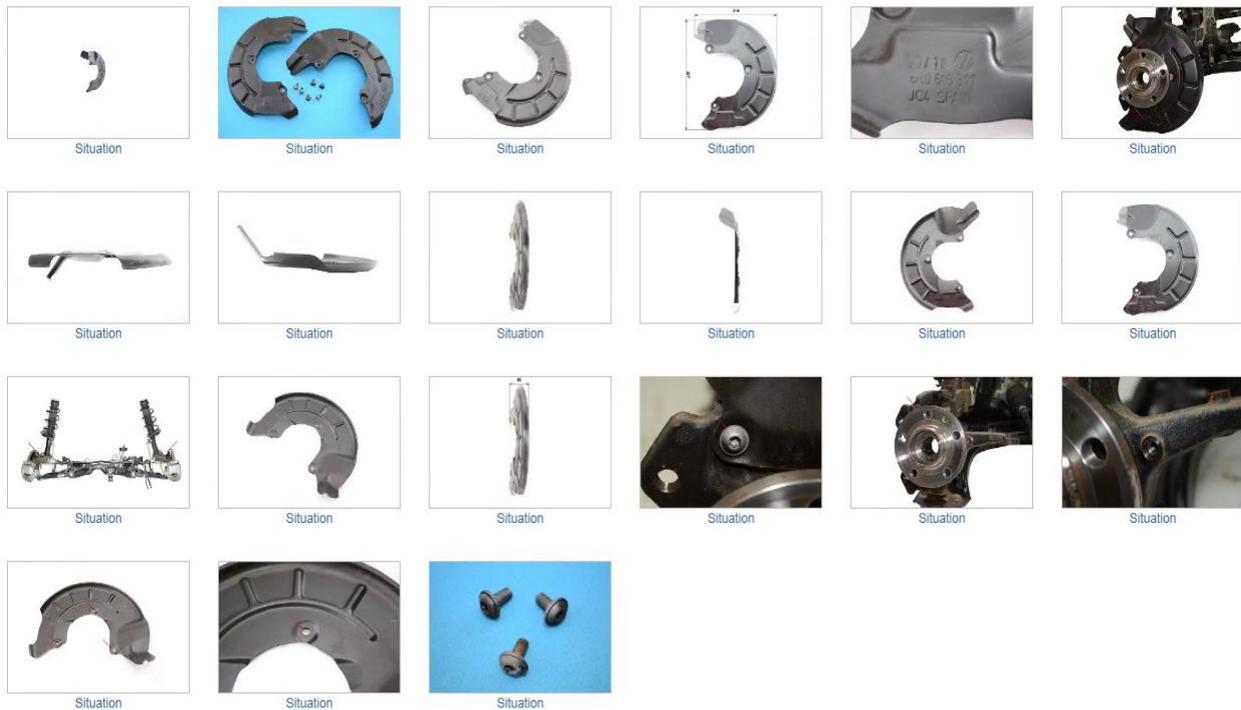


Fixation

Audi a1 1.4 tfsi S TRONIC Ambition

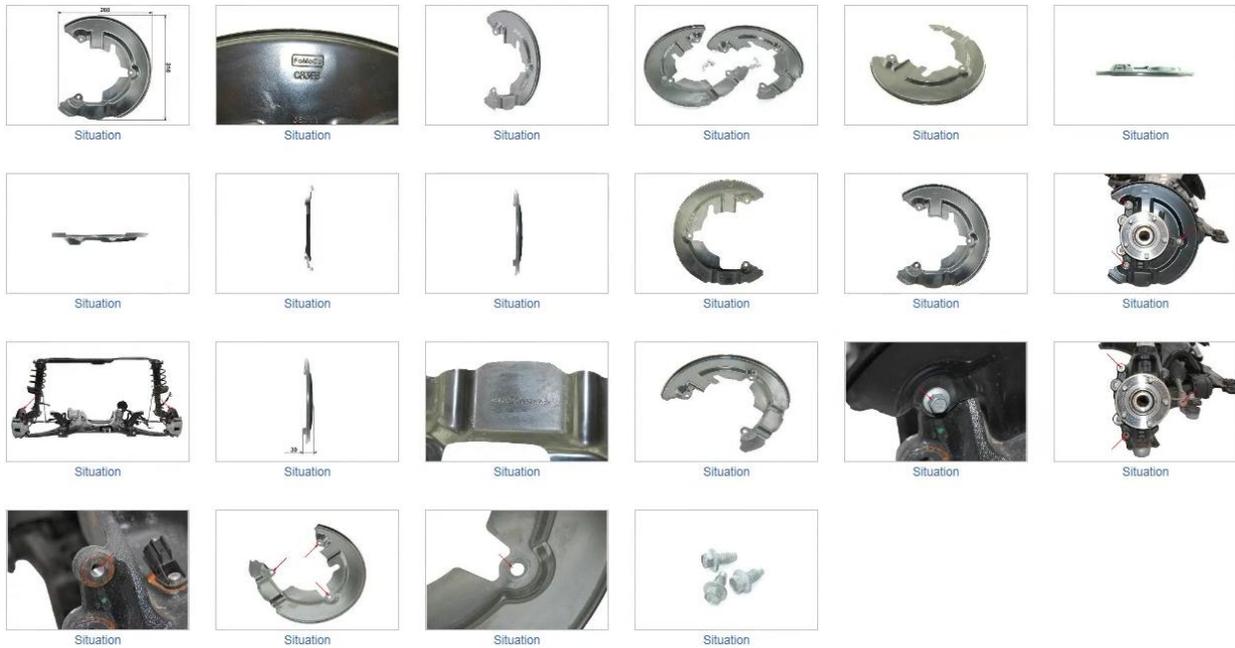
Ref. A2Mac1	215-880	
Storage Ref.	-9-880	
ParthCode	F2105	
Quantity of parts	2	
	Unit calculated*	Total
Quantity Of Parts	1	2
Part weight	0.227 kg	0.454 kg
Fasteners weight	0.016 kg	0.031 kg
Total weight	0.243 kg	0.485 kg
Largeur	214 mm	
Hauteur	277 mm	
Profondeur	62 mm	
Materiaux	Metal > Acier	
Fabricant	Manufacturer logo 76 other part from this manufacturer in this product 2 other manufacturers are making this part	
Ref. Fabricant	6R0615311	

Fixations Expand All Collapse All									
#	Dimensions	Nom	Outil	Photo	Qty	Dureté	Poids	Poids total	
1	 <ul style="list-style-type: none"> A : 6 mm B : 12 mm 	Nom Vis torx femelle Groupe Vis Material Metal Filetage métrique	Clé torx male, T30		6	N.A.	0.0052	0.0310	



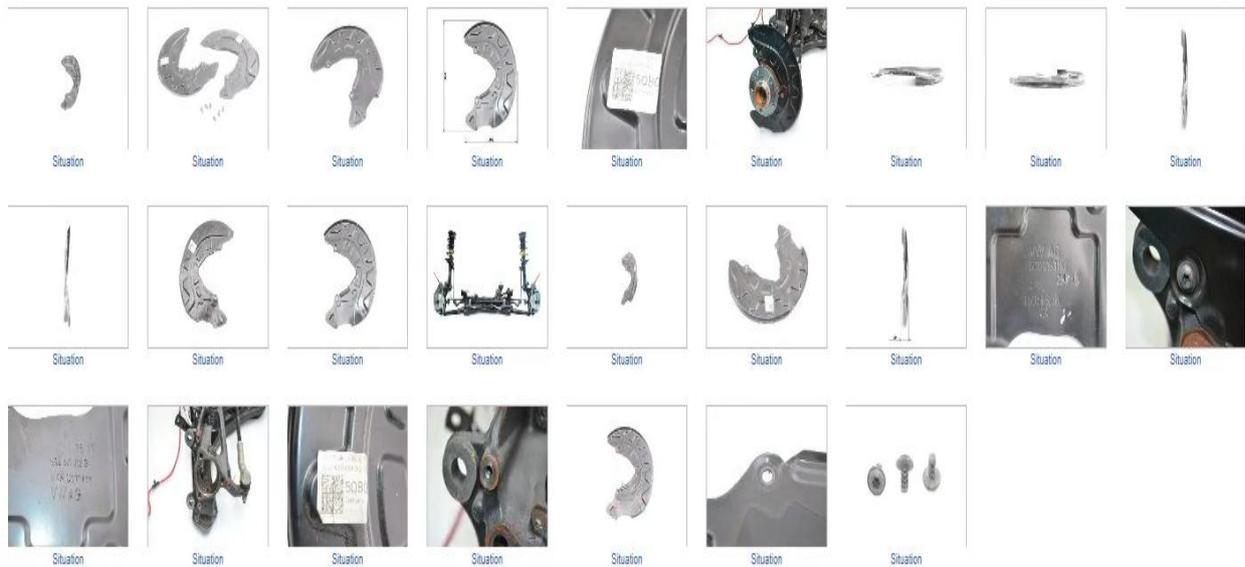
Ford Focus 1.6 EcoBoost Titanium 2011

Ref. A2Mac1	284-1342	
Storage Ref.	-17-1342	
ParthCode	F2105	
Quantity of parts	2	
	Unit calculated*	Total
Quantity Of Parts	1	2
Part weight	0.330 kg	0.660 kg
Fasteners weight	0.035 kg	0.069 kg
Total weight	0.364 kg	0.729 kg
Hauteur	310 mm	
Profondeur	30 mm	
Materiaux	Metal > Acier	
Fabricant	Manufacturer logo 128 other part from this manufacturer in this product 2 other manufacturers are making this part	
Ref. Fabricant	AV61-2C447-AB	



Seat Leon 1.2 TSi Reference 2014

Ref. A2Mac1	444-241	
Storage Ref.	-25-241	
ParthCode	F2105	
Quantity of parts	2	
	Unit calculated*	Total
Quantity Of Parts	1	2
Part weight	0.142 kg	0.285 kg
Fasteners weight	0.016 kg	0.031 kg
Total weight	0.158 kg	0.316 kg
Largeur	260 mm	
Hauteur	315 mm	
Profondeur	30 mm	
Materiaux	Metal > Alliage	
Fabricant	Manufacturer logo 100 other part from this manufacturer in this product 2 other manufacturers are making this part	
Ref. Fabricant	5Q0615311G	



Annexe 4

Propriétés générales

Masse Volumique

2.5e3 - 2.9e3 kg/m³

Prix

* 1.72 - 1.89 EUR/kg

Propriétés mécaniques

Module de Young

68 - 82 GPa

Limite élastique

30 - 500 MPa

Résistance en traction

58 - 550 MPa

Allongement

1 - 44 % strain

Mesure de dureté Vickers

12 - 151 HV

Limite de fatigue

21.6 - 157 MPa

Ténacité

22 - 35 MPa.m^{0.5}

Propriétés thermiques

Température de fusion

475 - 677 °C

Température maximale d'utilisation

120 - 210 °C

Conducteur ou isolant thermique?

Bon conducteur

Conductivité thermique

76 - 235 W/m.°C

Chaleur spécifique

857 - 990 J/kg.°C

Coefficient de dilatation

21 - 24 µstrain/°C

Propriétés électriques

Conducteur ou isolant électrique?

Bon conducteur

Propriétés optiques

Transparent ou opaque?

Opaque

Propriétés environnementales

Energie intrinsèque, production primaire

200 - 238 MJ/kg

Empreinte CO₂, production primaire

11.2 - 13.1 kg/kg

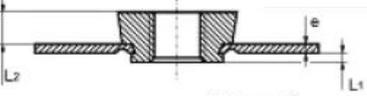
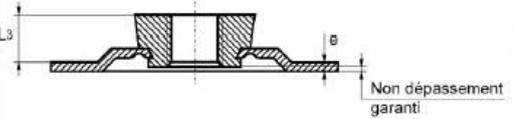
Recyclable

✓

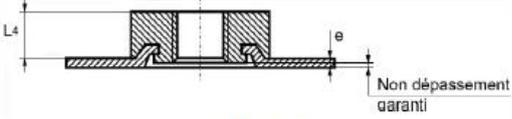
Annexe 5 :

SCHEMAS PAR TYPE D'ECROUS :

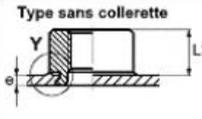
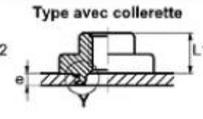
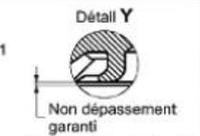
ECROU RECTANGULAIRE

<p>Pour les tôles d'épaisseur $\geq 3,5\text{mm}$, l'écrou ne dépasse pas du plan d'appui de l'assemblage ($L1 \leq 0$ sur figure 1).</p>	 <p>Figure 1</p>
<p>Pour les tôles d'épaisseur $\leq 3,00\text{ mm}$:</p> <ol style="list-style-type: none"> l'écrou est auto-poinçonneur sans bossage, il y a dépassement ($L1$) de l'écrou par rapport au plan d'appui pour les épaisseurs jusqu'à $2,64\text{mm}$ (Voir figure 1). avec un bossage, dont les spécifications sont dans la norme C21 4340, il est possible de garantir le non dépassement de l'écrou par rapport au plan d'appui (Voir figure 2). 	 <p>Figure 2</p>

ECROU CARRE

<p>Le non dépassement de l'écrou doit être garanti.</p>	 <p>Figure 3</p>
---	---

ECROU ROND

<p>Ces écrous nécessitent de pratiquer au préalable un pré-poinçonnage et un bossage définis au guide de conception.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Figure 4</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Figure 5</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Figure 6: Détail</p> </div> </div>
--	---

Exigences :

L'écrou serti doit tenir les valeurs d'effort en traction de dessertissage du tableau suivant :

Diamètre	Type d'écrou § 5.2.1.8.1	EFFORT DE DESSERTISSAGE en N			
		suivant épaisseur de la tôle choisie			
		0,7 à 0,90	1,00 à 1,30	1,40 à 1,75	≥ 2
M6 Ø 5,5 (*)	1	840	960	1080	1250
	2	540	630	720	850
	3	-	1410	2080	3100
M8 Ø 7,5 (*)	1	640	1350	2060	3120
	2	330	670	1160	1890
	3	-	1460	2340	3650
M10	1	-	1110	-	1890
	2	-	-	-	1480
M12	3	-	2590	-	5470

Exigences :

L'écrou serti doit tenir les valeurs d'effort d'arrachement du tableau suivant :

D	Type d'écrou § 5.2.1.8.1	EFFORT D'ARRACHEMENT en N						
		suivant épaisseur de la tôle choisie						
		0,67 à 0,92	0,97 à 1,07	1,17 à 1,37	1,47 à 1,57	1,62 à 1,76	1,95 à 2,44	> 2,44
M6 Ø 5,5 (*)	1	3430	4940	6190	8064	9875	9875	-
	2	1420	1813	2130	2610	3075	3075	3075
	3	-	4875	5470	6370	7240	7240	7240
	4	-	2885	3480	4380	5250	5250	5250
	5	3370	4045	4415	4970	5505	-	-
M8 Ø 7,5 (*)	1	5820	7345	8360	9875	11340	12300	12300
	2	2090	2695	3095	3695	4275	4660	4660
	3	-	5930	6980	8560	10085	11085	11085
	4	-	3205	3970	5115	6220	6945	6945
	5	-	4670	5235	6085	6905	7440	-
M10	1	-	-	-	-	-	14935	14935
	2	-	-	-	-	-	4290	4290
	3	-	-	-	-	-	14285	14285
M12	4	-	-	-	-	-	7600	7600
	5	-	-	-	-	-	9150	-

Exigences :

L'écrou serti sur acier doit tenir les valeurs de couples du tableau suivant :

D	Type d'écrou § 5.2.1.8.1	Classe de qualité	TENUE AU COUPLE "C" en N.m
M6 Φ 5,5 (*)	1, 2, 3, 4 et 5	8	10,0
	1	10	14,0 (**)
M8 Φ 7,5 (*)	1, 2, 3, 4 et 5	8	23,7
	1 et 3	10	33,4 (**)
M10	1, 2, 3, 4 et 5	8	47,7 (***)
	1 et 3	10	67,2 (***)
M12	1, 2, 3, 4 et 5	8	81,1

Annexe 6 :

