



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMERI de Tizi Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



Mémoire

En vue de l'obtention du
Diplôme de Master Académique en Génie Mécanique
Spécialité : Construction Mécanique

Thème

*Conception et étude d'un pont moteur sur un autobus
hors codes*

Réalisé par:

M. BOUKEZZOULA Mohamed
M^{lle}. HADDADI Cylia

Soutenue le 04/10/2017 devant le jury composé de :

M. SLIMANI Mohand
M. ZIANI Hocine
M. OULD OUALI Mohand

Maître de Conférences
Maître Assistant classe A
Professeur

Président
Examineur
Encadreur

Promotion 2016-2017

À la mémoire de ma chère grand-mère CHELALI Fatima.

À ma très chère YAYA

J'aurais été fière de leurs présenter ce mémoire

Cylia

Dédicaces

Ce travail est spécialement dédié à :

A la mémoire de mon père que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A ma chère mère qui a consenti beaucoup de sacrifices après la mort de notre père pour assurer notre éducation.

A mes frères et à ma sœur. Je ne cesserai de témoigner mon amour envers vous.

A tous mes amis de près ou de loin.

Je souhaite que ce travail serve d'exemple pour mes futurs enfants.

MOHAMED

Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance.

En second lieu, nos remerciements les plus sincères vont droit à nos parents qui n'ont pas cessé de nous encourager et nous soutenir tout au long du long parcours que furent nos études.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur monsieur *OULD OUALI Mohand*, de nous avoir aidé, conseillé et d'avoir été toujours à l'écoute de nos doléances.

L'encadrement de ce travail au sein de la SNVI a été assuré par Monsieur *NAIT-DJOUDI Mourad*, chef de département des véhicules spéciaux. On tient à le remercier vivement pour son soutien et ses conseils émanant d'une solide et riche expérience. Ainsi que monsieur *FERRADJ Samir* et *BERKENOU Kamel*.

On remercie également les enseignants de qualité qui nous ont montré la voie du savoir et du sérieux ;

Aux enseignants que sont aussi monsieur le président du jury et les membres examinateurs de ce modeste travail ;

A monsieur *FRIDI Mohammed* qui nous a soutenu et aidé à la réalisation de ce travail ;

Au staff du bureau d'étude de la SNVI, ingénieurs et techniciens, pour leur accueil et l'ambiance qui nous ont offert durant le stage.

On remercie chaleureusement Mme *HEBIB Nadia* (Chef de service de formation à la SNVI) de nous avoir accueillis et permis d'établir le lien entre nos connaissances théoriques et le domaine pratique.

On ne saurait énumérer tous ceux qui de près ou de loin nous ont aidés à la réalisation de ce travail.

Sachez tous retrouver dans ces lignes l'expression de nos remerciements les plus sincères.

Tables des matières

Dédicace	
Remerciements	
Tables des matières	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature et Abréviations	
Résumé	
Introduction générale.....	01
Chapitre I - Présentation de l'organisme d'accueil SNVI et description de véhicule 100L6	
I.1 Introduction.....	04
I.2 Historique de l'organisme d'accueil.....	04
I.3 Le groupe de SNV.....	05
I.4 Organigramme de la SNVI.....	09
I.5 Les services de la SNVI I.6 Gammes de produits de la SNVI.....	09
I.6.1 Gamme cars et bus.....	11
I.6.2 Gamme camion	12
I.6.2.1 Gamme civile.....	12
I.6.2.2 Gamme militaire.....	13
I.6.2.3 Gamme équipement tractés.....	14
I.7 Description du véhicule à modifier de type autobus 100L6 aéroport.....	14
I.7.1 Dimension de l'autobus aéroport 100L6.....	15
I.7.2 poids de l'autobus 100L6 aéroport.....	16
I.7.3 carrosserie du 100L6.....	16
I.7.4 fiche technique du 100L6.....	16
Cahier des charges du nouveau produit.....	20
Chapitre II – Recherche bibliographique	
II.1 Introduction	22
II.2 Généralités sur les ponts moteurs.....	22
II.3 Types de ponts moteurs	23
II.3.1 Pont rigide.....	23
II.3.2 Ponts à suspension indépendante.....	27
II.3.3 Pont combine.....	27
II.4 Boite- pont.....	29
II.5 Avantages du pont rigide et du pont à suspension indépendante	30
II.6 Couple de réaction.....	30
II.7 Choix du type de l'engrenage de transmission.....	31
II.7.1 Définition d'un engrenage.....	31
II.7.2 Fonction et principe.....	31
II.7.3 Le module.....	32
II.7.4 Différents types d'engrenages.....	33
II.7.5 Les types d'engrenages utilisés pour les ponts de la SNVI.....	34
II.7.5.1 Engrenage spiro-conique.....	34
II.7.5.2 Engrenage hypoïde.....	38
II.7.5.3 Caractéristiques des engrenages coniques spiraux et hypoïdes.....	40

II.8 Les organes essentiels du pont.....	43
II.8.1 Le renvoi d'angle et le différentiel.....	43
II.8.2 Demi- arbre de roue.....	47
II.8.3 Le moyeu.....	48
II.8.4 Roue motrice	48
II.9 conclusion.....	48

Chapitre III –Adaptation des rallonges pour le pont SNVI

III.1 Introduction.....	50
III.2 Détermination du poids total à charge (PTAC).....	50
III.3 Solutions proposées pour l'élargissement de l'ancien pontP1021X.....	51
III.3.1 CAO (Conception Assistée par Ordinateur).....	51
III.3.2 Définition du logiciel utilisé	51
III.3.3 Conception du nouveau pont	52
a) Modification du carter.....	55
b) Réalisation des rallonges mécano-soudés.....	55
c) Conception des arbres différentiels.....	59
d) Conception des nouvelles trompettes	60
e) Assemblage du nouveau pont.....	61
III.3.4 Matériaux utilisés pour les différents organes du pont P1021X.....	63
III.4 Conclusion.....	64

Chapitre IV- Simulation numérique du nouveau pont

IV.1 Introduction.....	66
IV.2 Application de l'analyse sur les différentes pièces du nouveau pont.....	66
IV.2.1 Simulation des arbres différentiels.....	66
a) Maillage de l'arbre droit.....	68
b) Critère de Von Mises.....	68
IV.2.2 Simulation des rallonges mécano-soudées.....	69
IV.2.3 Simulation du nouveau pont.....	71
a) Maillage du carter de pont.....	72
b) Résultats de la simulation.....	72
c) Détermination de la valeur de la flèche.....	73
IV.3 Conclusion.....	73
Conclusion générale.....	73
Références bibliographique.....	77
Annexes	
Annexe1.....	80
Annexe2.....	83
Annexe3.....	90
Annexe4.....	97

Liste des figures

N° de la figure	Nomination de la figure	N° de page
Figure I.1	Organigramme de la société Nationale des Véhicules Industriels en 2015.....	09
Figure I.2	Véhicule avant et après rénovation.....	10
Figure I.3	Aménagements personnalisés pour les produits de gamme SNVI.....	11
Figure I.4	Autobus 100L6 aéroport à modifier.....	14
Figure II.1	Pont moteur arrière.....	22
Figure II.2	Pont moteur avant (direction).....	22
Figure II.3	Pont rigide.....	23
Figure II.4	Pont à suspension indépendante.	23
Figure II.5	Pont complètement flottant.....	24
Figure II.6	Pont aux trois quarts flottant.....	24
Figure II.7	Pont semi-flottant.	24
Figure II.8	Pont du type à boîtier monobloc (Salisbury, Spicer).....	25
Figure II.9.a	Pont du type à boîtier séparable (Banjo).....	26
Figure II.9.b	Carter de pont pour pont du type à boîtier séparable.	26
Figure II.10	Pont du type à trompettes.....	26
Figure II.11	Pont à suspension indépendante du type pivotant.....	27
Figure II.12	Pont à suspension indépendante du type parallèle.	27
Figure II.13	Suspension de Dion.....	28
Figure II.14	Essieu de Dion Alpha Romeo GTV6.....	28
Figure II.15	Boîte pont.....	29
Figure II.16	Suspension Hotchkiss.....	31
Figure II.17	Suspension arrière à tube de torsion.....	31
Figure II.18	composants d'un engrenage.....	32

Figure II.19 : Transmission de puissance par obstacle.....	32
Figure II.20 : Les pas du pignon et de la roue.....	33
Figure II.21 : Géométrie d'un engrenage conique.....	35
Figure II.22: Roue plate génératrice de taillage des roues coniques.....	36
Figure II.23 : Différents types d'engrenages spiro-coniques.....	36
Figure II.24: Courbes directrices.....	37
Figure II.25 : Système Cyclo-Palloïde Klingelnberg.....	37
Figure II.26 : Engrenage hypoïde.....	38
Figure II.27 : Disposition possibles pour engrenage hypoïde.....	39
Figure II.28 : Pont complet d'un véhicule.....	43
Figure II.29: Diagramme pieuvre du produit différentiel.....	44
Figure II.30 : Schéma cinématique minimal d'un différentiel à pignons coniques.....	45
Figure II.31 : Répartition des charges dans une ligne droite.....	46
Figure II.32 : Répartition des charges dans un virage.....	47
Figure II.33: Les trois formes des demi-arbres d'un pont non suspendu.....	47
Figure II.34: moyeu.....	48
Figure III.1: Ancien Pont P1021X Assemblé.....	52
Figure III.2: Ancien Carter De Pont.....	53
Figure III.1 : Montrant l'emplacement de l'ancien support de suspension.....	54
Figure III.2 : L'emplacement prévu pour les nouvelles fixations.....	54
Figure III.3: Corps de pont avant et après modification.....	55
Figure III.4: Extrémité 1.....	56
Figure III.5: Extrémité 2.....	56
Figure III.6: Partie intermédiaire.....	56
Figure III.7: Grand support de suspension.....	57
Figure III.8: Petit support de suspension.....	57
Figure III.9: Plaque guise goupilles.....	57
Figure III.10: Rallonge entièrement assemblé.....	58

Figure III.11: Rallonge avec cordons de soudures.....	59
Figure III.12: Arbre droit après modification.....	59
Figure III.13: Arbre gauche après modification.....	60
Figure III.14: Nouvelle Trompette.....	60
Figure III.15: Assemblage rallonge et carter.....	61
Figure III.16: Assemblage carter, rallonges et trompettes.....	61
Figure III.17: Montage du différentiel et ses arbres.....	62
Figure III.18: Pont complet.....	62
Figure IV.1: Blocage des faces latérales des cannelures.....	67
Figure IV. 2: Maillage de l'arbre droit.....	68
Figure IV.3: Contrainte de Von Mises.....	68
Figure IV.4: Application du matériau pour l'arbre droit.....	69
Figure IV.5: Logement du tube intermédiaire sur les 2 extrémités.....	69
Figure IV. 6: Contraint de Von Mises avec des cordons de 3mm.....	70
Figure IV. 7: Contraint max de 51.5MPa avec des cordons de 6mm.....	70
Figure IV.8: Surface des deux supports de suspension.....	71
Figure IV.9: Répartition des charges sur le nouveau pont.....	71
Figure IV.10: Maillage du carter de pont.....	72
Figure IV.11: La contrainte de Von Mises.....	72
Figure IV.12: La valeur de la flèche.....	73

Liste des tableaux

Tableau I.1: Dimension du bus 100L6.....	15
Tableau I.2 : Poids du bus 100L6.....	16
Tableau I.3 : Les vitesses en km/h au régime maxi.....	19
Tableau II.1 : Avantages et inconvénients du pont de Dion.....	28
Tableau II.2 : avantages du pont rigide et du pont à suspension indépendante.....	30
Tableau II.3 : Types d'engrenages.....	34
Tableau II.4 : Carte d'identité géométrique.....	35
Tableau II.5 : Caractéristiques des engrenages coniques spiraux et hypoïdes.....	40

Nomenclature et abréviations

BER : Benne Entrepreneur Renforcée.

BOM : Benne à Ordures Ménagères.

CCI : Citerne Intérieurement Cloisonnée de brise lames.

CEP : Citerne à Eau Potable.

CIR : Carrosseries Industrielles de Rouïba.

CIT : Carrosseries Industrielles de Tiaret.

CTH : Citerne Transport d'Hydrocarbures.

DRVI : Division Rénovation Véhicule.

EPE : Entreprise Publique Economique.

FOR : Fonderie de Rouïba.

GL : Fonte lamellaire.

GS : Fonte grise sphéroïdale.

PTAC : Poids totale A charge.

RTMD : Remorque de transport de Matière Dangereuse.

SAV : Service Après-vente.

SNVI : Société Nationale de Véhicule Industriels.

SONACOME : SOciété National de CONstruction MEcanique.

SPA : Société Par Action.

UER : Unité Etude et Recherche.

VAM : Anti émeutes.

VIR : Véhicules Industriels de Rouïba.

Σ : Angle des axes.

ν_f : Angle de creux

ν : Angle de hauteur

δ : Angle primitif.

δf : Angle de pied

δa : Angle de tête.

ν_a : Angle de saillie.

hf : Creux

D : Diamètre primitif.

da : Diamètre de tête.

df : Diamètre de pied.

R_m : Génératrice moyenne.

R : Génératrice primitive.

H : Hauteur.

B : Largeur de denture.

ha: Saillie.

Z_1 : Nombres de dents.

Z_2 : Nombres de dents.

U : Rapport d'engrenage.

E : Désaxage.

D_2 : Diamètre primitif de la couronne.

b: Largeur de denture.

φ_1 : angle de spirale du pignon.

φ_2 : angle de spirale de la roue.

R : génératrice primitive moyenne de la roue.

X_1 : «distances de montage» du pignon

X_2 : «distances de montage» de la roue.

ω_b : est la vitesse angulaire du boîtier différentiel ou de la couronne

ω_p : est la vitesse angulaire du planétaire

C_r : Le couple résistant des arbres des roues

ω_{ps} : Les vitesses des porte-satellites

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

R_m : Résistance à la rupture

A : Allongement à la rupture

E : Module de Young

ν : Coefficient de Poisson

R_{p 0.2} : Limite d'élasticité à 0,2 % d'allongement

Résumé

Ce travail est consacré à la modification d'un organe de véhicule de transport ; le 10016 Aéroport. Notre objectif est donc de trouver une solution adéquate pour l'élargissement du pont de l'autobus. Cette modification répond à un cahier des charges adressé à la SNVI, au sein de laquelle nous avons effectués notre stage. La conception de ce pont est accompagnée d'une analyse numérique pour une optimisation du coût et moyens de réalisation. Nous nous sommes attachés sur les différents modules de simulations pour procéder à des vérifications afin d'anticiper sur la résistance et la fiabilité de la pièce en ayant recours au logiciel CATIA. Il en ressort de notre analyse que la solution (adaptation des rallonges sur l'ancien pont) et les procédures adoptées sont réalisables.

Mots-clefs : solution technologique, Modification d'un pont, 10016Aéroport, simulation.

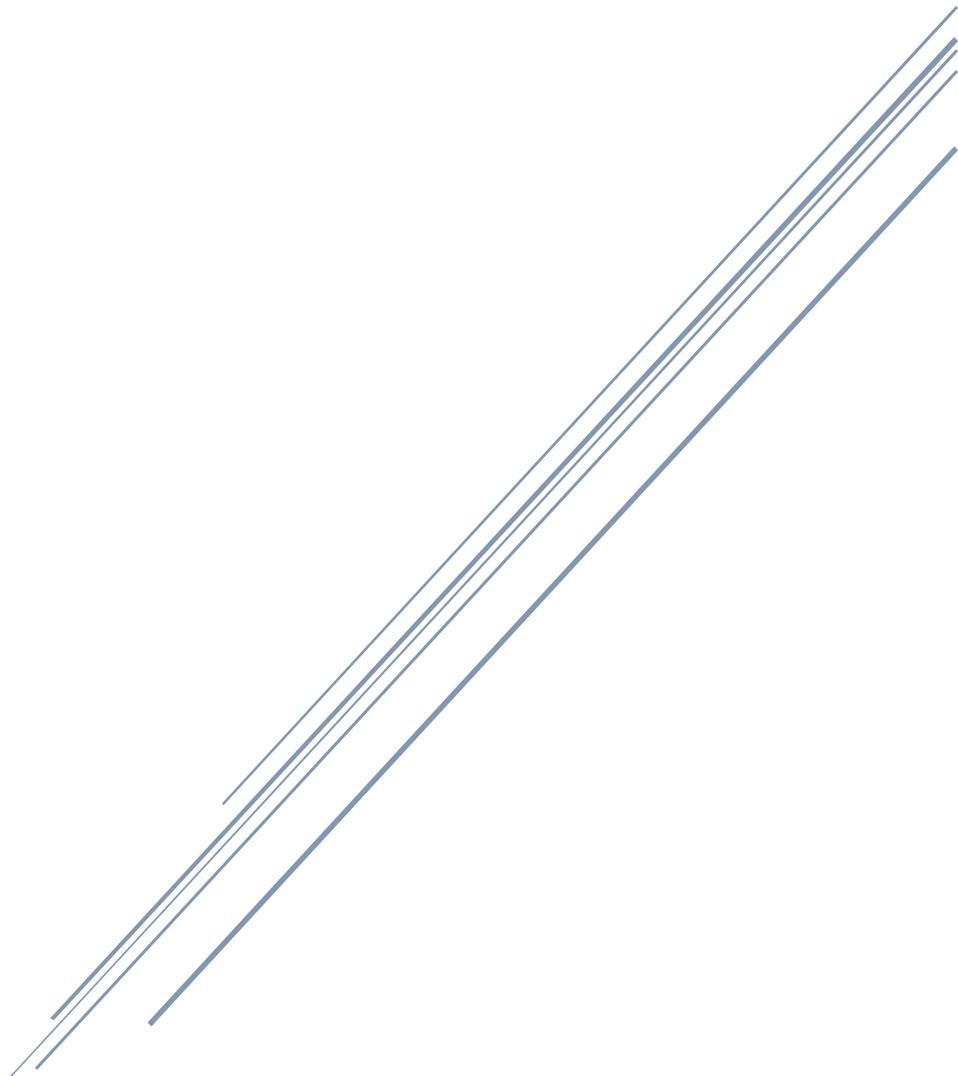
Abstract

In this work we are looking at a case of modification of a transport vehicle part: the "10016 Airport". Our objective is to find an ideal solution for the widening of the rear axle of this bus. This modification corresponds to a specification addressed to the SNVI, in which we did our internship. The conception of this rear axle is accompanied by a numerical analysis for an optimization of the cost and means of realization. In order to anticipate the strength and reliability of the mechanical part, different simulation modules were used using CATIA software.

According to our analysis the solution (adaptation of the extensions on the old rear axle) and the adopted procedures are feasible.

Keywords: technological solution, Modification of a rear axle, 10016Airport, simulation.

Introduction générale



Introduction générale

Contexte et problématique

De nos jours, l'innovation, la rénovation et l'adaptation sont des activités courantes dans le domaine de l'industrie. En effet la modification d'un organe essentiel d'une structure mécanique est plus judicieuse et surtout plus économique que l'élaboration (étude, conception et réalisation) d'un nouveau produit.

La SNVI, société au sein de laquelle nous avons l'opportunité d'effectuer notre stage est une société nationale spécialisée dans la fabrication des véhicules industriels. Dans le domaine aéroportuaire, elle fournit, par ailleurs, les autobus de type 100L6 utilisés pour le transport des passagers entre l'aérogare et les avions.

Pour faire face à la hausse du nombre de passagers et vu la capacité limitée des bus qui assurent cette mission, les entreprises aéroportuaires ont été obligées d'augmenter le nombre de bus, et la fréquence de la desserte avec tous les rigueurs que cela engendré. Pour remédier cette situation, l'idée d'un bus plus large, donc capable de prendre un grand nombre de passager fut retenue par la SNVI comme une solution adéquate avec un meilleur coût afin de couvrir ce besoin quotidien tout en évitant les retards et les perturbations

En effet, quoi de plus judicieux et pratique que de modifier des bus qui ont déjà fait leurs preuves de fiabilité et de robustesse. Pour répondre au besoin du client, la SNVI a lancée l'étude d'un prototype d'autobus, hors code plus large, roulant sur un tarmac en portant des modifications sur l'ancien autobus 100L6 Aéroport. Cette nouvelle solution est appelée à assurer le transport de 175 personnes par navette, au lieu de 100, afin de minimiser les retards.

L'un des points essentiels pour mener à terme ce projet est de réaliser une étude sur la possibilité d'élargir le pont, organe essentiel pour un véhicule. Cette étude nous a été confiée dans le but de trouver la meilleure solution technologique à adopter pour obtenir un pont hors code tout en respectant les contraintes économiques de la société et en effectuant une conception et des études de simulations par élément finis en utilisant le logiciel Catia V5R16.

Organisation du rapport

Pour mener à bien cette étude, nous avons structuré ce mémoire en quatre chapitres essentiels répartis comme suit :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise d'accueil. On y aborde brièvement l'histoire de la création et de l'évolution de la forme juridique du groupe SNVI, ses services et ses différents types de produits. Nous terminons par une description technique de l'autobus à modifier : le 100L6 Aéroport.

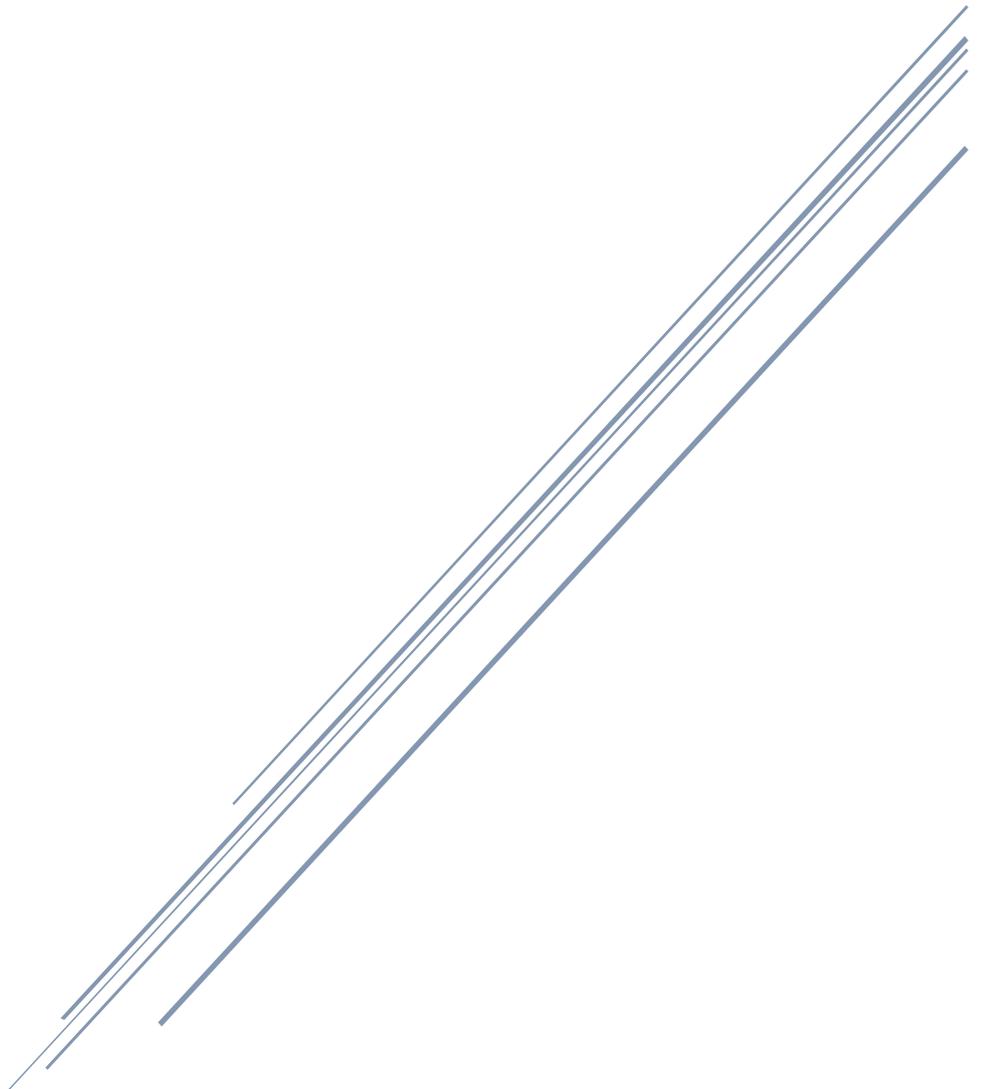
Dans le deuxième chapitre nous dressons d'abord un état de l'art sur les différents types de ponts, faisant ressortir les effets de leurs différences de conception sur les montages des engrenages de pont. Puis nous abordons l'utilisation des engrenages hypoides et coniques spiraux dans les ponts. Nous terminerons par donner quelques généralités sur les organes du pont.

Dans le troisième chapitre, nous détaillons la solution technologique proposée pour l'intégration du système de rallonges dans l'ancien pont. Nous y décrivons la démarche adoptée pour la conception et le dimensionnement des rallonges. Nous présentons les modifications des pièces du pont. Ce chapitre est accompagné par des dessins d'ensemble et de définition pour accroître la compréhension de la nouvelle solution technologique.

Le dernier chapitre est consacré pour la vérification par des calculs éléments fini de la résistance et la pertinence de la solution proposée. Cela consiste notamment à vérifier la résistance de l'ensemble carter pont et rallonges. Pour cela, une simulation numérique est réalisée sous Catia. La démarche comprend la création du modèle géométrique, le choix des conditions aux limites, le choix du maillage et le type de l'analyse et interprétation des résultats.

Chapitre I

*Présentation de l'organisme d'accueil
SNVI et description
de véhicule 100L6*



I.1 Introduction

Il est toujours utile de présenter la société et de connaître son historique pour mieux comprendre sa politique de gestion et ses choix stratégiques et économiques afin de mieux situer le contexte et l'environnement de notre recherche et ainsi comprendre la pertinence de notre projet.

Pour ce faire, nous allons présenter la société nationale des véhicules industriels la SNVI ; ses services et ses différents types de produits, puis nous allons faire une description technique de l'autobus à modifier le 100L6 Aéroport dans lequel se situe le problème posé par la SNVI.

I.2 Historique de l'organisme d'accueil

Bérliet-Algerie

En juin 1957 Berliet entreprend la construction d'une usine de poids lourd de type CKD. En octobre 1958, sortie du premier véhicule Berliet (entièrement monté en Algérie). Dès lors, la production de Bérliet-Algerie a connu une progression régulière. En juin 1964 le gouvernement algérien par l'intermédiaire de la Caisse algérienne du Développement prend une participation de 40% dans la société (Berliet – Algérie).

SONACOME

La SONACOME est créée en 1967 par ordonnance N° 67-150. Elle a été chargée par le gouvernement algérien de promouvoir et de développer le secteur des industries mécaniques et d'exercer le monopole d'importation des produits mécaniques en Algérie.

Au titre de cette mission elle a lancé au cours du premier quadriennal 1970 – 1973 un programme d'investissement pour l'édification de 07 complexes industriels.

La politique adoptée par la SONACOME pour la mise en place de cet appareil de production est fondée sur les options suivantes :

- Création de complexes industriels liés aux produits à fabriquer ;
- Promotion de l'industrie par l'utilisation et le développement de toutes les techniques de transformation des métaux (fonderie / forge / emboutissage/ usinage /etc.) formation intensive des hommes (outilleurs / régleurs / techniciens /agents de maîtrise.).

La SNVI

Le décret présidentiel 81/348 portant restructuration des entreprises donne naissance à la SNVI en décembre 1981.

De 1981 à 1994 : La SNVI (Société Nationale de Véhicules Industriels) devient une Entreprise Publique Sociale (EPS). La SNVI est née à l'issue de la restructuration de la SONACOME, et le décret de sa création (N°81-342 du 12/12/1981) lui consacra un statut d'entreprise socialiste à caractère économique régi par les principes directifs de la gestion socialiste des entreprises (G.S.E).

De 1995 à 2011 : En mai 1995, la société a changé son statut juridique pour devenir une entreprise publique économique régie par le droit commun. La SNVI est érigée en Société Par Action (SPA) et devient un groupe industriel.

De 2011 à janvier 2015 : le mois d'Octobre 2011, la SNVI a changé de statut juridique pour devenir un groupe industriel composé d'une Société Mère et de quatre filiales.

Depuis Février 2015 à ce jour : suite à la réorganisation du Secteur Public Marchand de l'état en date du 23 Février 2015, l'EPE FERROVIAL et toutes ses participations ont été rattachées au Groupe SNVI comme 5^e filiale.

I.3 Le groupe de SNVI

Il est constitué d'une société mère et de cinq filiales.

❖ La société mère est composée de :

- Direction centrale ;
- Direction centrale commerciale et son réseau ;
- Division Rénovation Véhicules Industriels (DRVI).

Les missions principales de la société Mère SNVI sont orientées essentiellement vers :

- L'exercice de contrôle des filiales et la gestion de portefeuille de participation.
- L'élaboration et la mise en œuvre de la politique financière.
- La définition de la politique de rémunération et du développement de la Ressource Humaine du Groupe.
- Continuer également à assurer le business actuel en rapport avec :
 - La commercialisation des véhicules industriels neufs ;
 - La rénovation des véhicules industriels à Sidi-Moussa ;
 - Les activités du Transport, Dédouanement et Transit,
 - La formation spécialisée avec son centre implanté sur site de Rouïba.

❖ La filiale Fonderie de Rouïba (FOR)

Située à 10 min de l'aéroport Houari Boumediene d'Alger et à 30 min du port, la filiale Fonderies de Rouïba a été mise en exploitation le 1er janvier 1983 ; sa principale mission est la fabrication de bruts de fonderie en fonte ainsi que des pièces en aluminium selon les nuances suivantes :

- ✓ Fonte grise sphéroïdale GS ;
- ✓ Fonte lamellaire GL ;
- ✓ Aluminium.

Capacité de production installée est de 9000 tonnes par an de fonte grise et de 300 tonnes par an d'aluminium. La fonderie de Rouïba produit des bruts principalement pour le secteur mécanique et pour d'autres secteurs tels l'hydraulique, les matériels agricoles et les travaux publics.

❖ Une filiale des Véhicules industriels de Rouïba (VIR)

Créé en juillet 1970, le Complexe des Véhicules industriels de Rouïba, érigé en Filiale le 1er janvier 2011, faisant partie du groupe industriel SNVI est l'unique fabricant de véhicules industriel en Algérie, le complexe produit des camions de 6,6 à 26 tonnes de poids total en charge, des tracteurs routiers, des autocars et des autobus mettant en œuvre des technologies et des techniques d'élaboration telles que, l'estampage à chaud (forge), l'emboutissage, l'usinage, le taillage d'engrenage, la rectification et les traitements thermiques. Capacité de production installée : 4 500 véhicules/an.

La filiale des Véhicules industriels de Rouïba est composée de :

- Cinq centres de production :
 - Le centre forge : produisant des bruts de forge ;
 - Le centre d'usinage mécanique : produisant des ponts, des essieux, des systèmes de direction et d'autres pièces de liaison ;
 - Le centre de tôlerie et d'emboutissage produit des longerons, des cadres châssis de cabines et d'autres pièces de liaison;
 - Le centre de montage camions possédant deux lignes d'assemblage ;
 - Le centre de montage d'autocars et d'autobus : assemblage de cars et de bus et fabrication de pièces en polyester et sellerie.

- Et une Unité Étude et Recherche(UER).

L'UER a pour mission de :

- Développer la gamme actuelle produite par le complexe véhicules industriels ;
- Améliorer la qualité et la fiabilité de ce produit ;
- Réduire les coûts de la participation ;
- Mener des actions pour diversifier leurs sources d'approvisionnement ;
- L'acquisition et la maîtrise de nouvelles technologies.

Son domaine d'activité concerne :

- Les châssis ;
- La chaîne cinématique ;
- La cabine ;
- Les équipements ;
- Les carrosseries autobus et autocars.

Afin de concrétiser ces objectifs, l'UER mène les opérations suivantes :

- Calculs des systèmes ;
- Étude de conception des nouveaux produits ;
- Homologation et dérogations ;
- Fabrication et essais de prototypes ;
- Mise en place des nouveaux produits par traitement de nomenclature ;
- Standardisation et normalisation ;
- Élaboration et exécution du plan produit.

❖ Une filiale de Carrosseries Industrielles de Rouïba (CIR)

La Filiale Carrosseries Industrielles de Rouïba, fabrique des équipements industriels portés et tractés tels que les plateaux, bennes, citernes à eau, citernes hydrocarbures, semi-remorques ainsi que les équipements spéciaux d'assainissement, voirie et de lutte contre les incendies. Ces principaux ateliers sont :

- Atelier de débitage ;
- Atelier de mécanique ;
- Atelier d'assemblage ;
- Atelier de montage ;
- Atelier de peinture.

❖ Une filiale de Carrosseries Industrielles de Tiaret (CIT)

La Filiale Carrosserie Industrielle de Tiaret, située dans la commune de Ain Bouchekif-Tiaret et à 3Km de l'aéroport de Tiaret, spécialisée dans la conception et la fabrication de carrosseries industrielles portés et tractés dans les gammes suivantes : Plateaux, Bennes, Citernes à eau, Citernes hydrocarbures, cocottes à ciment, Portes engins, Fourgons frigorifiques/standards et véhicules spéciaux.

❖ Une filiale de construction de matériels et Équipements Ferroviaires à Annaba(FERROVIAL)

L'Entreprise Publique Economique de Constructions de Matériels et Équipements Ferroviaires « FERROVIAL » a été créée en 1983 à la suite de la restructuration de la Société mère SN. METAL. Elle a été transformée en S.P.A. Société par actions en 1989 au capital social de 2.254.100.000 DA.

Le Siège de FERROVIAL est situé sur l'axe routier Annaba - El- Hadjar à 10 kms du Complexe Sidérurgique. Il est distant de 05 Kms du port d'Annaba et il est desservi par une voie ferrée passant à proximité.

L'entreprise est constituée de deux entités opérationnelles installées sur le même site que le siège de la Direction Générale. L'entreprise a pour objet : les études, la recherche et le développement, la production et la commercialisation de :

- ✓ Matériels et équipements ferroviaires : wagnage de tous types, locomotives de manœuvre, appareils de voie, voiture voyageur et métro;
- ✓ Matériels de travaux publics : bétonnière, centrale à béton, brouette ;
- ✓ Container maritime ;
- ✓ Produits de diversification et de sous-traitante (mécanique, métallique) ;
- ✓ Produits forgés.

I.4 Organigramme de la SNVI

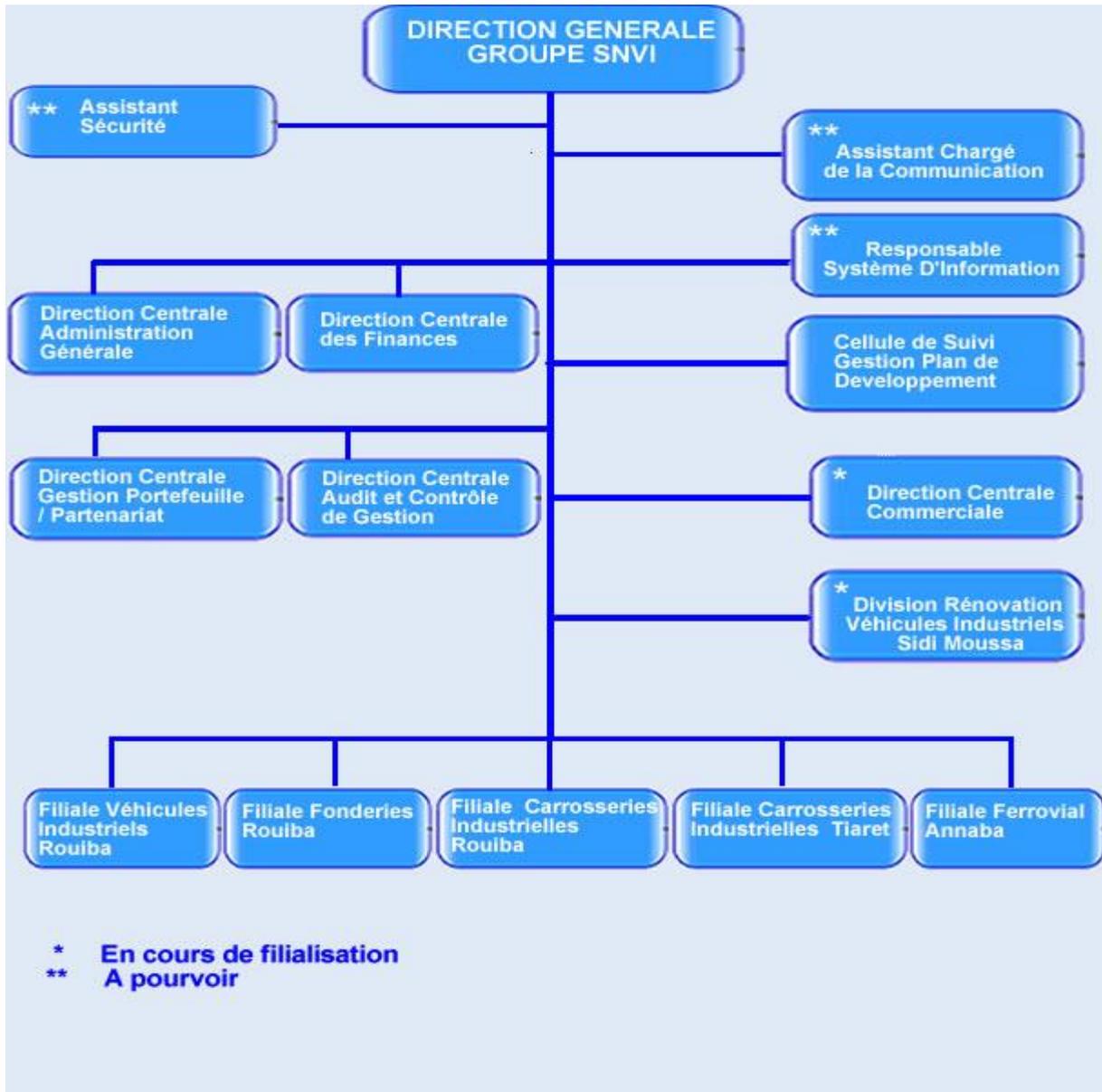


Figure .I.1 : Organigramme de la société nationale des véhicules industriels en 2015.
[SNVI17]

I.5 Les services de la SNVI

La SNVI est chargée dans le cadre du plan national de développement économique et social, de la recherche, développement, production, exportation, distribution et la maintenance des véhicules industriels (assurer et promouvoir les activités d'après-vente assister les gros utilisateurs de ses produits).

✚ Pièces de rechange et accessoires :

Les pièces d'origine et les accessoires sont disponibles pour chaque type de véhicule, sur le territoire national. Une disponibilité des pièces de rechange dans toutes les unités SNVI grâce à ses services de livraison.

✚ Service après-vente :

En complément à son propre réseau de service après-vente, S.N.V.I a agréé plus de 60 agents assurant:

- La garantie et SAV des véhicules vendus ;
- La garantie des véhicules vendus ;
- Maintenance de toute la gamme SNVI ;
- Vente des pièces de rechange d'origine ;
- Rénovation d'organes.

✚ Rénovation

SNVI offre à ses clients des prestations permettant la remise à niveau technique de ses produits, voire une régénération en leur redonnant une nouvelle vie. Cette prestation qu'est la **rénovation** permet de remettre les véhicules à des niveaux de fonctionnement et de performance qui n'ont rien à envier à ceux des produits neufs.



Figure I.2: Véhicule avant et après rénovation. [SNVI17]

Aménagements

Additivement aux services cités précédemment, SNVI dispose de bien d'autres capacités et maîtrises et propose à ses clients ainsi qu'à un vaste public, une panoplie de services, tels que les aménagements personnalisés, sur des produits de gamme SNVI et autres...



Figure I.3: Aménagements personnalisés pour les produits de gamme SNVI. [SNVI17]

I.6 Gammes de produits de la SNVI

I.6.1 Gamme cars et bus

- Autocar interurbain SAFIR ;
- Minicar 25 places ;
- 25L4 : doubles commandes de conduite (auto-école) ;
- Minicar transport scolaire ;
- Autobus 100L6 amélioré ;
- 100L6 collecte de sang ;
- 100V8 ;
- 100V8F télé centre mobile ;
- 100V8F aéroport.

I.6.2 Gamme camion

La gamme camion se devise en deux types tels que civile et militaire.

I.6.2.1 Gamme civile

a) Porteurs

K66

- Plateau
- Benne tranporteur
- Dépannage CTH 300L
- Nacelle
- Vide avion
- Fourgon frigorifique ampliroll
- Cabine profonde BOM
- Plateau bâché

K120

- Plateau standard
- Ampliroll
- Combiné hydro cureur
- Benne tasseuse
- BOM
- Aspiratrice de boue CCI
- Collecte de sang décontamination
- Porte palette

C260

- BER
- Benne tranporteur
- CEP
- Malaxeur
- Epandeur de bitume
- Frigo
- Benne tasseuse
- Arroseuse laveuse
- Plateau standard

B400

- Benne
- Transport d'explosifs
- Lutte contre incendie
- 6 ×4 RTMD

b) tracteur routier

TB400	{	4×2 Lot hydraulique Plateau 6×4 Tracteur routier RTMD	TC260	{	Tracteur routier Avec remorque
-------	---	---	-------	---	---------------------------------------

c) tous terrains

M120	{	4×4 CEP Plateau transport de personnes Chasse-neige	M230	{	6×6 plateau double cabine benne renforcée
------	---	---	------	---	---

I.6.2.2 Gamme militaire

M120	{	Transport de troupes Torpédo Lutte contre incendie Décontamination Chasse-neige Dégage obstacles	M230	{	Transport de troupes Douche Porte-missiles T.Z.M Aviateur CEP
------	---	---	------	---	--

- M260 plateau long ;
- M350 8×8 ;
- K66 Benne, fourgon frigorifique, CTH, Nacelle ;
- K120 CCI ;
- C260: 6×4 BER ;
- C260: 6×4 Malaxeur ;
- B400 : Benne entrepreneur ;
- B260 VAM ;
- B260 CTH ;
- B400 : Aviateur.

I.6.2.3 Gamme équipement tractés

- Remorque CEP 3000L ;
- Remorque CEP 11500L ;
- Plateau entretien et graissage ;
- Remorque hydrocarbure 30 000L ;
- Malaxeur ;
- Citerne hydrocarbure 30 000L ;
- Citerne à eau 24 000L ;
- Benne céréalière ;
- Plateau céréalier ;
- Cocotte à ciment ;
- Semi-remorque porte-engins : 75 tonnes ;
- Semi-remorque porte-engins : 54 tonnes ;
- Semi-remorque porte-engins.

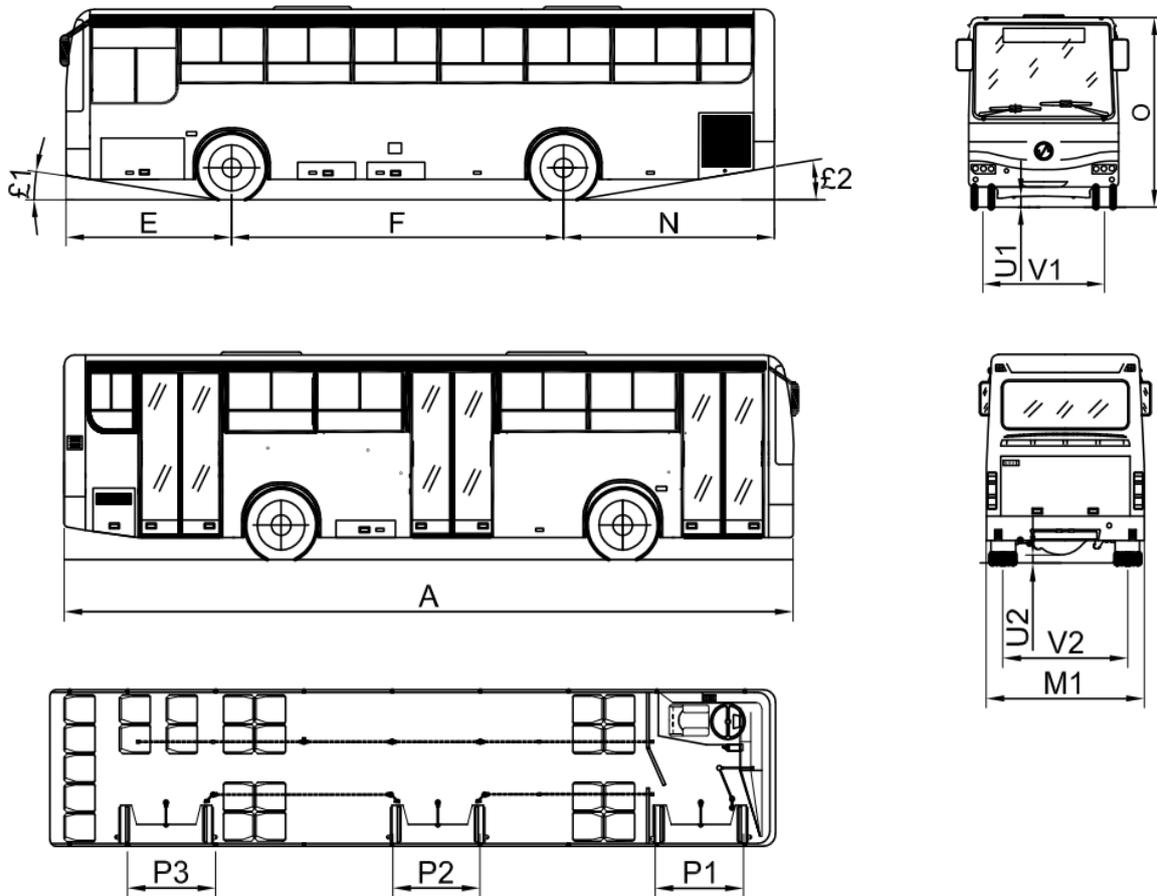
I.7 Description du véhicule à modifier de type autobus 100L6 aéroport

Le 100L6 aéroport est une gamme de véhicules de transport urbain d'une capacité de 100 personnes dont 25 assises et 74 debout, c'est un autobus destiné pour assurer le transport des passagers de l'aérogare vers un avion.



Figure I.4 : Autobus 100 L6 aéroport à modifier. [SNVI17]

I.7.1 Dimension de l'autobus aéroport 100L6



Dimensions (mm)			
Empattement		F	5600
Porte à faux avant		E	2450
Porte à faux arrière		N	3390
portes	Avant	P1	1330
	centrale	P2	1330
	arrière	P3	1250
Longueur hors tout		A	11440
Largeur hors tout		M1	2445
Hauteur à vide		O	2920
Garde au sol	avant	U1	189
	arrière	U2	247
Voie	avant	V1	2063
	arrière	V2	1888
Angle d'attaque		£1	8°
Angle de fuite		£2	8°

Tableau I.1: Dimension du bus 100L6. [SNVI17]

I.7.2 poids de l'autobus 100L6 aéroport

Poids (Kg)		
Poids Total À Charge (PTAC)		16000
Charge maxi Admissible sur :	Essieu AV	6000
	pont	10800
Poids de véhicule en ordre de marche		8760
Répartition de ce poids Sur :	Essieu AV	2460
	pont	6300

Tableau I.2 : Poids du bus 100L6. [SNVI17]

I.7.3 carrosserie du 100L6

Ossature en tubes métalliques soudés électriquement, habillée de l'extérieur par des tôles d'acier étirées et intérieurement par des panneaux en célamine.

I.7.4 fiche technique du 100L6

Motorisation cumins

Moteur :

Type : cumins C300-20

Nombre de cylindre : 6 en ligne

Injection : directe

Alésage / course (mm) : 114/135

Cylindrée : 8.3L

Taux de compression : 16.5/1

Carburant : Gasoil

Puissance maxi : 296 ch (221 KW) à 2200 tr/min

Couple maxi : 1125 Nm à 1400tr/mn

Aspiration : turbocompressée

Refroidissement : à eau

Capacité d'huile : 23.6L

+ Embayage :

Sans

+ Boite de vitesse

ZF 5 HP 592 à commande automatique

5 Rapport AV synchronisée + 1 marche arrière

Rapport extrêmes : 3.43-0.83

Convertisseur 2.1 :1

+ Pont arrière

SNVI P1021 X

Couple conique à denture hypoïde et réducteurs dans les moyeux

Couple : 12×41×1/2 (réduction totale : 6.83)

Ou

Couple 12×41×1/2 (réduction totale : 8.2)

+ Essieu

Type : RI6A à roues indépendantes (tambours).

Type : RI6DH à roues indépendantes (disques).

+ Direction

SNVI ZF 8098 à assistance hydraulique

+ Siège voyageur

En polyester avec revêtement mousse et tissu

Bâti en tube acier

Siège conducteur

Dossier inclinable et assise réglable en hauteur et en longueur

Revêtement en tissu plastique

Portes

Trois portes louvoyantes à 2 vantaux. Grande glace en deux parties sur chaque ventail.
Poignées et rambarde.

Commande électropneumatique des portières avant, centrale et arrière par le conducteur.

Baies

Glace de grande surface en verre sécurit.

Pare-brise panoramique

Suspension

Avant : 2 ressorts hélicoïdaux + 2 amortisseurs télescopiques et 2 coussins d'air.

Arrière : 2 ressorts à lames + 2 amortisseurs télescopiques et 4 coussins d'air.

Barre de torsion à l'AV et à l'AR.

Freinage ABS

- Frein principal (service) :

Frein à pied à air comprimé agissant sur l'ensemble des roues.

Frein à tambours ou à disque sur roues AV et avec ABS.

Circuit avant et arrière indépendants.

-Frein de stationnement

Indépendant, commandé par robinet et agissant sur les roues AR.

-Frein de parcage

Dispositif à verrou à blocage mécanique agissant sur les roues AR. Incorporé dans les cylindres télescopiques doubles de l'essieu AR. Le serrage des freins AR est obtenu soit par le frein principal soit par le frein de stationnement.

-Frein de secours

En cas de défaillance de freinage de service d'un essieu, l'autre essieu assure le freinage de secours.

-Ralentisseur intégré sur la boîte.

Équipement électrique

Tension : 24 V

2 accumulateurs de 12 volts chacun capacité 200 AH

Alternateur de 140 A

Pneumatiques

Dimension : 11 R 22.5 tubless

AV : simple

AR : jumelées

Réservoir de carburant

Capacité : 1 réservoir 250 L

Performances

vitesses	1 ^{re}	2 ^e	3 ^e	4 ^e	5 ^e
Rapport B.V	3.43	2.01	1.42	1.00	0.83
Avec 12×41	19	32	45	64	82
Avec 10×41	16	27	38	53	65

Tableau I.3 : Les vitesses en km/h au régime maxi. [SNVI17]

Divers

Lot de bord. [SNVI17]

Cahier des charges du nouveau produit

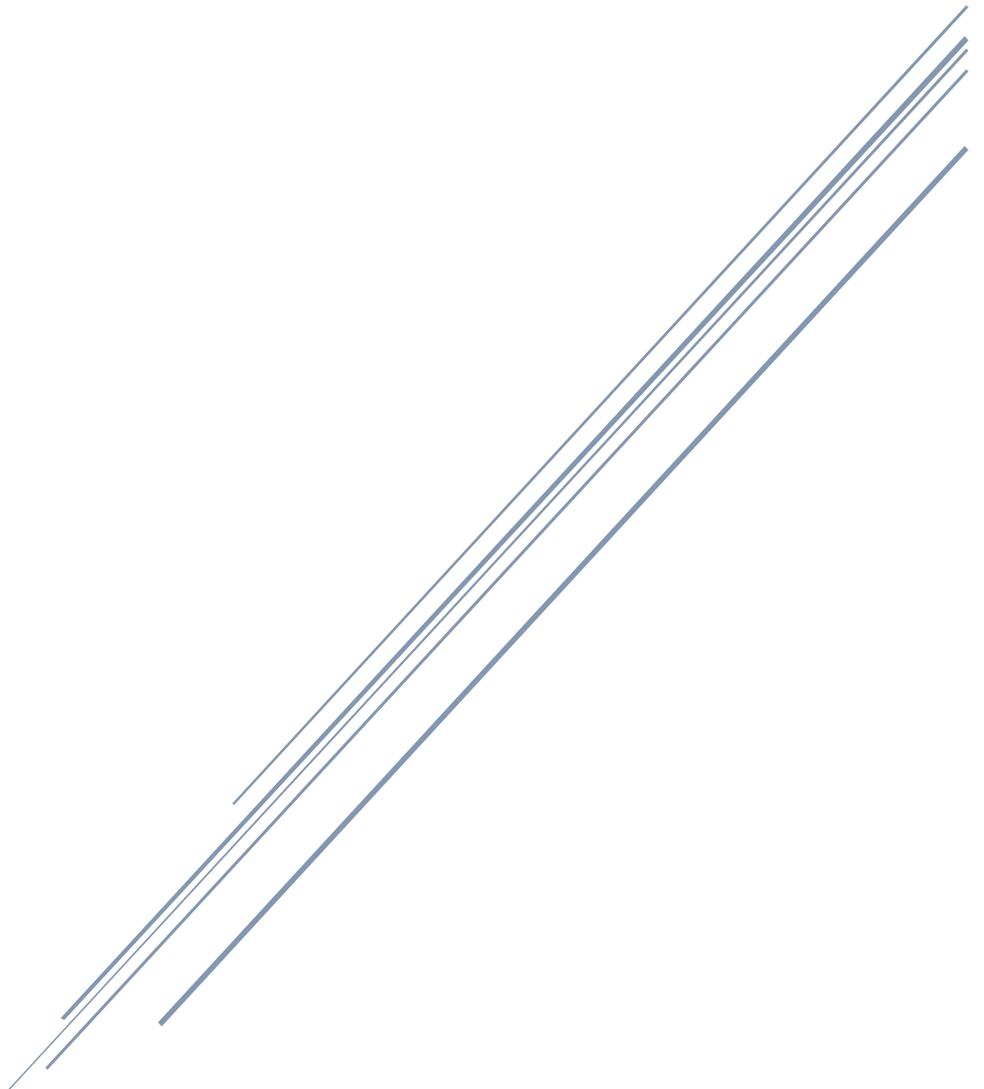
- **Type** : autobus plancher bas.
- **Milieu utilisation** : Aéroport (tarmac).
- **Trajet** : avion  Aérogare.
- **Nombres de places** : 175 dont 40 assises + emplacement pour bagages à main.

Poids Total A Charge (PTAC) : 26 tonnes.

- **Motorisation cumins** : puissances maxi 300ch à 2200 tr/min.
Couple maxi : 1125N.m à 1400tr/mn.
- **Boite de vitesse** : ZF 6 rapports avant synchronisée + 1 marche arrière à commande automatique.
- **Signalisation** : gyrophare + girouette (avant et latérale)
- **Couleur définitive** : suivant charte graphique de la société exploitante.
- **Climatisation et chauffage.**

Chapitre II

Etude bibliographique



II.1 Introduction

Les conceptions modernes des véhicules utilisent un pont moteur dont le but est de transmettre la puissance depuis le moteur jusqu'aux roues. La plupart des ponts moteurs utilisent une transmission par engrenages à angle droit entre l'arbre de transmission et les arbres des roues. De plus, le pont moteur comporte un jeu d'engrenages de différentiel pour permettre aux deux roues de tourner à des vitesses différentes lorsque le véhicule décrit une courbe. Il y a une grande variété de ponts moteurs, chacune ayant des caractéristiques particulières.

II.2 Généralités sur les ponts moteurs

Un pont moteur peut être un pont arrière (figure II.1) ou un pont avant (figure II.2). Lorsque le pont moteur est un pont avant, il comporte le mécanisme de direction en plus des pièces normalement nécessaires pour la transmission de la puissance. Les ponts moteurs automobiles peuvent être classés soit rigides (figure II.3) soit à suspension indépendante (figure II.4). [GLE71]



Figure II.1: Pont moteur arrière.



Figure II.2: Pont moteur avant (direction).

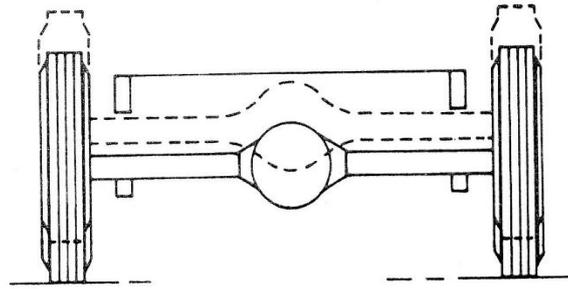


Figure II.3: Pont rigide. [GLE71]

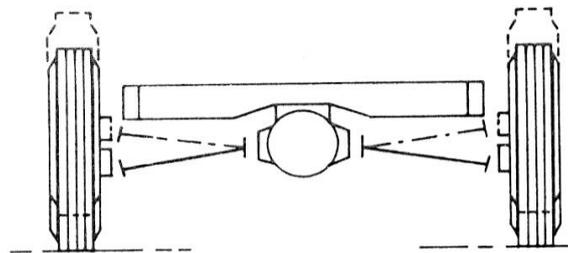


Figure II.4: Pont à suspension indépendante. [GLE71]

II.3 Types de pont moteurs

II.3.1 Pont rigide

Le pont rigide a un carter rigide qui entoure les deux arbres des roues. Le déplacement d'une roue entraîne ainsi directement le déplacement de la roue opposée.

Il existe trois types de ponts rigides, c'est-à-dire, complètement flottant (figure II.5), trois quarts flottant (figures II.6), et semi-flottant (figure II.7). La différence entre ces trois types réside dans la disposition des roulements des moyeux des roues. Dans chaque cas, l'arbre de roue est relié par des cannelures au planétaire de différentiel.

Dans un pont complètement flottant (figure II.5), la roue est supportée par deux roulements montés sur le diamètre extérieur du carter de pont. Dans ce cas aucune des forces de réaction de la roue n'est transmise à l'arbre de roue. Celui-ci, par conséquent ne transmet que la torsion à la roue motrice. Dans un pont aux trois quarts flottants (figure II.6), la roue est supportée par un seul roulement monté sur le diamètre extérieur du carter et elle est également fixée rigidement à l'extrémité de l'arbre de roue. La force de réaction de la roue, due à la poussée axiale, est transmise à l'arbre de roue et celui-ci est donc soumis simultanément, à la flexion et à la torsion. Ce type est rarement utilisé.

Dans un pont semi-flottant (figure II.7) qui est le type actuellement utilisé dans la plupart des véhicules, la roue est fixée directement à une des extrémités de l'arbre de roue. L'extrémité côté roue du pont est supportée par un roulement monté à l'intérieur du carter de pont. Dans ce

cas, toutes les forces de réaction de la roue sont supportées par l'arbre de roue qui est soumis à la fois à la flexion et à la torsion. [GLE71]

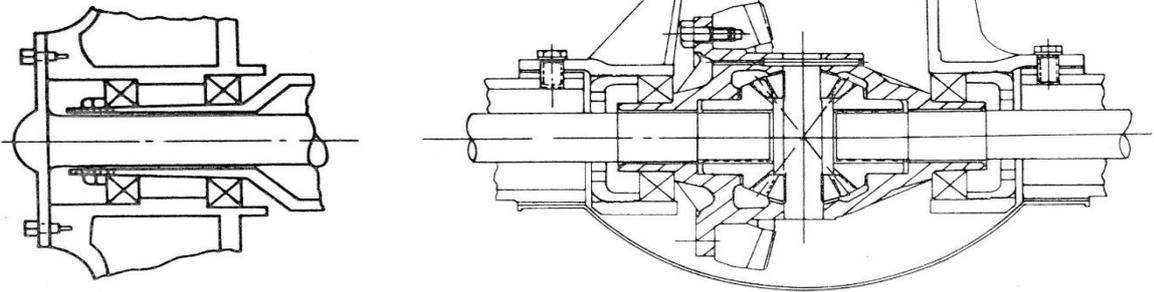


Figure II.5 : Pont complètement flottant. [GLE71]

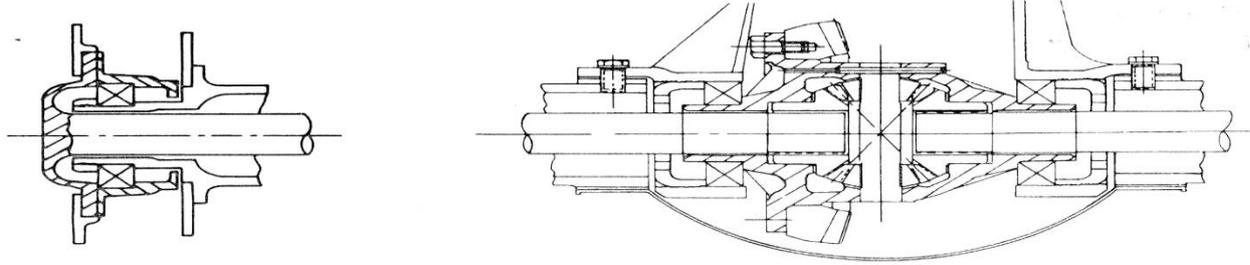


Figure II.6 : Pont aux trois quarts flottants. [GLE71]

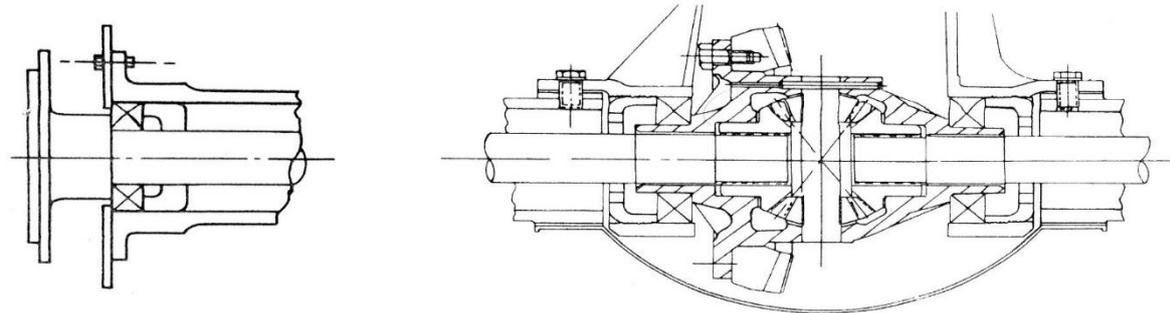


Figure II.7 : Pont semi-flottant. [GLE71]

✚ Carters de pont rigides

Il existe trois types de carters pour pont rigide : à boîtier monobloc (Salisbury, Spicer) voir (figure II.8), à boîtier séparable (Banjo) voir (figure II.9) et le type à trompettes.

Le type à boîtier monobloc (figure II.8) est composé d'un boîtier de différentiel dans lequel sont introduits deux tubes qui entourent les arbres de roues et qui agissent comme membres supports de charges. Une ouverture est prévue à l'arrière du carter pour permettre le montage des pièces. Un capot en tôle ferme cette ouverture après montage. Dans cette conception, les roulements du différentiel sont enveloppés par le carter et la forme générale, constituée par les douilles des tubes et le carter autour de pignon, se prête à un nervurage important. Le carter qui résulte donne un excellent support axial et radial de l'engrenage de transmission.

Dans la plupart des cas, les roulements du différentiel sont calés pour régler la pré-charge et le jeu de couple conique. Le carter doit donc être écarté avec un outil spécial pour permettre l'introduction des cales.

Le pont du type à boîtier monobloc est économique à fabriquer il est peut-être adapté à une certaine variété de véhicules en changeant seulement les tubes et les arbres de roue. Cependant pour démonter ce type de pont d'un véhicule, il est nécessaire de débrancher la suspension et le circuit de freinage.

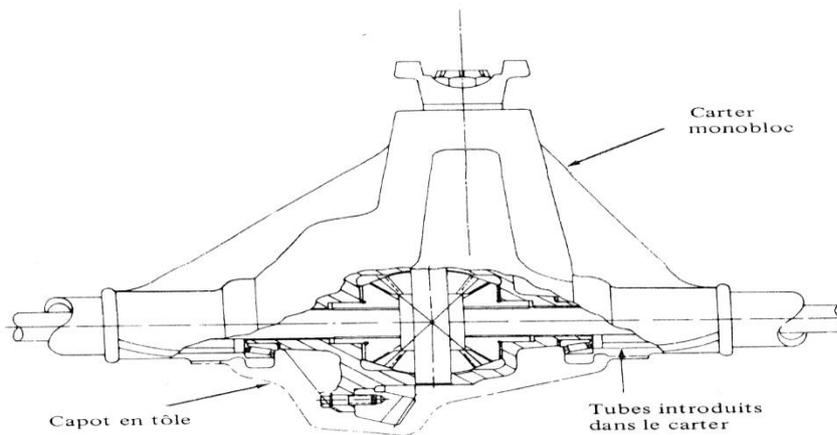


Figure II.8 : Pont du type à boîtier monobloc (Salisbury, Spicer). [GLE71]

Le pont de type à boîtier séparable comprend un boîtier de différentiel qui s'ajuste dans une large ouverture au centre du carter de pont (figure II.9). Du fait que l'écartement possible entre les supports des roulements de différentiel est limité par le diamètre de l'ouverture dans le carter de pont, le nervurage entre le carter du pignon et les supports des roulements est limité. Cette situation rend difficile l'obtention d'une rigidité adéquate pour la roue du couple conique. Dans cette conception, le boîtier est soumis uniquement aux forces du pignon et de la roue alors que le carter de pont supporte le poids du véhicule et contrôle les efforts de transmission. Le boîtier peut être enlevé du pont sans toucher à la suspension ni au circuit de freinage. L'adaptation à différents véhicules nécessiterait une variété de carters de pont.

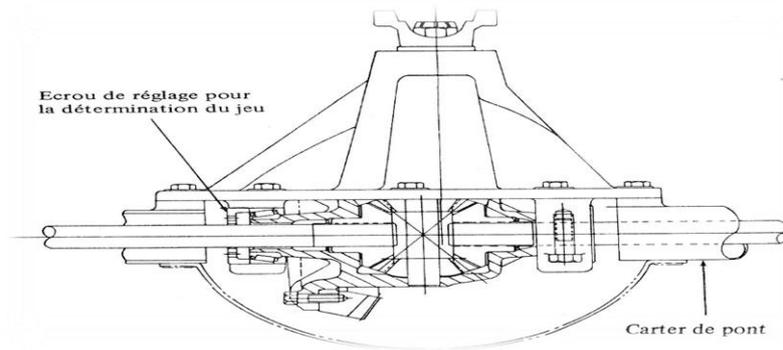


Figure II.9.a : Pont du type à boîtier séparable (Banjo). [GLE71]

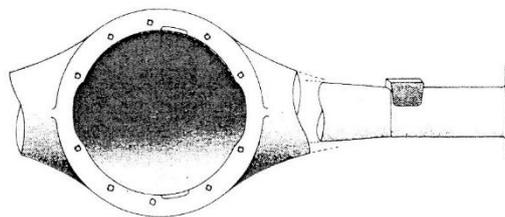


Figure II.9.b : Carter de pont pour pont du type à boîtier séparable. [GLE71]

Le type à trompette (figure II.10), comprend une section centrale supportant le pignon et entourant le boîtier de différentiel et la roue annulaire. Deux longs membres tubulaires aux extrémités évasées supportant les roulements de différentiel sont fixés sur cette partie centrale. Du fait que cette conception permet un entourage complet des roulements de différentiel par un carter convenablement nervuré, cependant ce type de pont est difficile à réaliser.

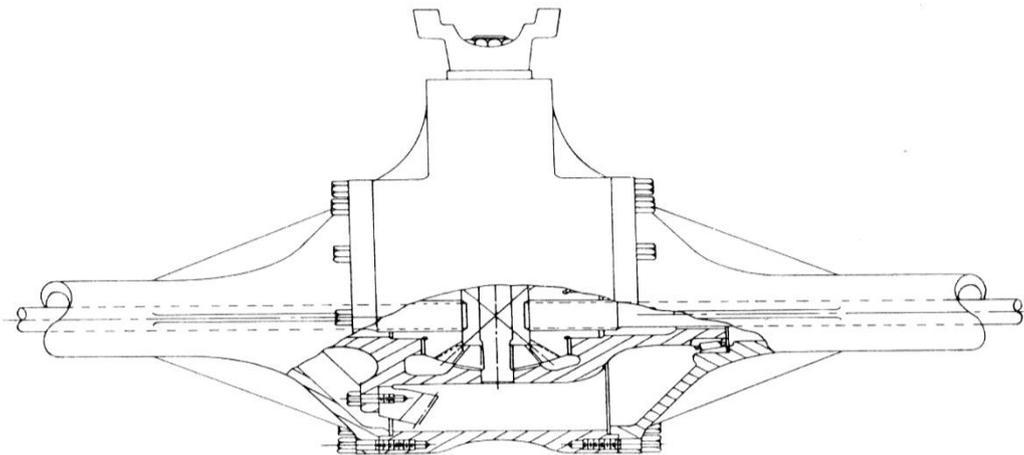


Figure II.10 : Pont du type à trompettes. [GLE71]

II.3.2 Ponts à suspension indépendante

Un pont à suspension indépendante est un pont pour lequel chaque roue est suspendue à partir du châssis indépendamment de l'autre.

Il y a deux principaux types de ponts à suspension indépendante : le type pivot et le type parallèle. Chacun de ces types a un boîtier de différentiel qui est fixé au châssis, et des arbres de roue qui sont reliés aux planétaires par des joints universels. Ainsi, l'angle entre l'axe horizontal du véhicule et les arbres de roue peut varier.

Le type pivotant (figure II.11) a des arbres de roue qui sont fixés directement sur les roues. Par conséquent, l'axe des roues n'est pas forcément parallèle à la route.

Le type parallèle (figure II.12) a un second jeu de joints universels à chaque roue et les deux roues sont montées de sorte à maintenir une position parallèle. Ainsi, lorsque l'arbre de roue fait un certain angle avec la route, les roues restent perpendiculaires à celle-ci. Enfin, il est à noter qu'il existe beaucoup de variantes à chacun de ses types. [GLE71]

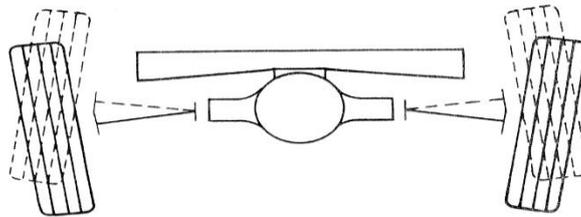


Figure II.11 : Pont à suspension indépendante du type pivotant. [GLE71]

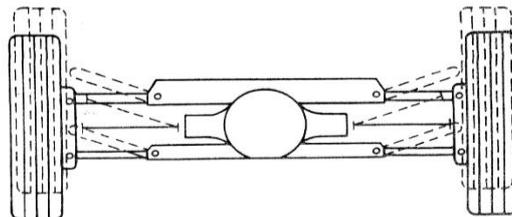


Figure II.12 : Pont à suspension indépendante du type parallèle. [GLE71]

II.3.3 Pont combine

Le pont type de Dion est une combinaison du type rigide et du type à suspension indépendante [GLE71]. Le système de Dion a été breveté par le comte de Dion et Georges Bouton en 1894 [DUY14]. Il comprend un boîtier de différentiel fixé au châssis des arbres de roue à suspension indépendante [GLE71]. Les deux porte-roues motrices sont éventuellement reliés par un tube courbé pour contourner le différentiel et ce tube peut être contrôlé par divers systèmes d'amortissement [DUY14].

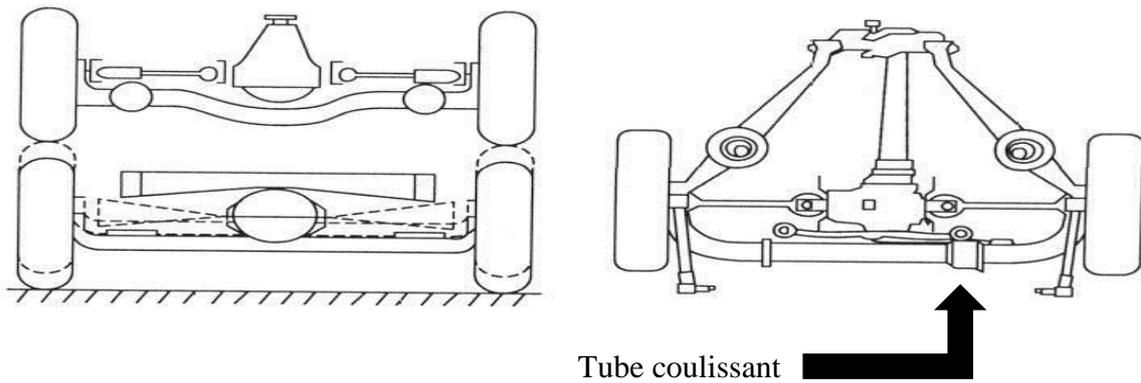


Figure II.13 : Suspension de Dion. [DUY14]

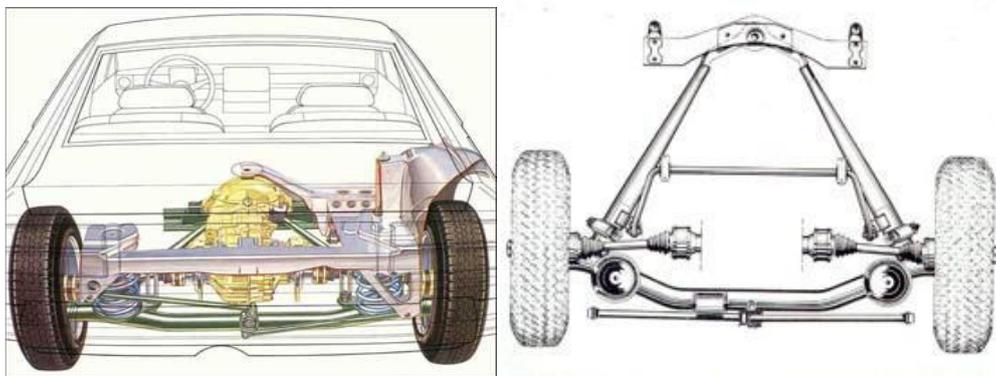


Figure II.14 : Essieu de Dion Alpha Romeo GTV6. [DUY14]

⚡ Avantages et inconvénient du pont de Dion

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> - Pour les essieux rigides, le système maintient les roues solidaires, mais les masses non suspendues sont réduites - Le contrôle de l'axe est assuré indifféremment par des ressorts à lames ou des ressorts hélicoïdaux 	<ul style="list-style-type: none"> -La possibilité d'avoir un tube coulissant ajoute de la friction au système

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients du pont de Dion. [DUY14]

II.4 Boite- pont

Le terme boite-pont (figure II.15) correspond à un pont à suspension généralement indépendante, dans lequel le boîtier de différentiel et la boîte de vitesse sont reliés dans un carter commun. [GLE71]

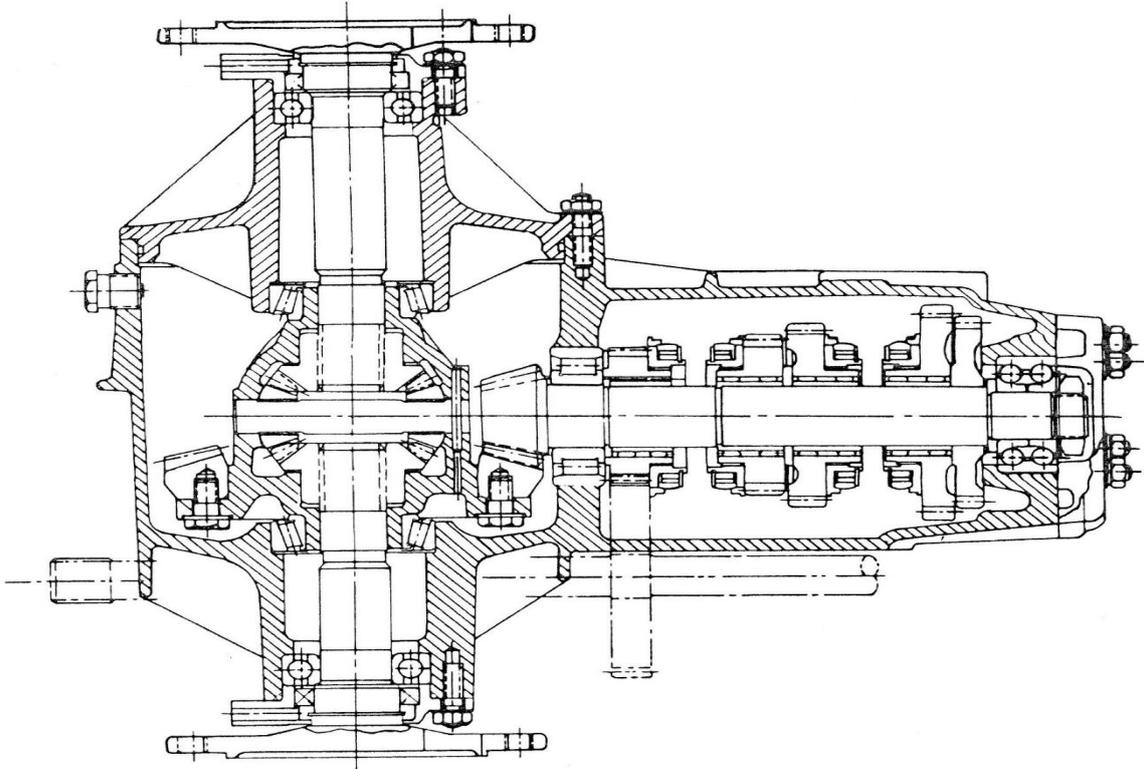


Figure II.15 : Boite pont. [GLE71]

II.5 Avantages du pont rigide et du pont à suspension indépendante

Avantages du pont rigide	Avantages du pont à suspension indépendante
<ul style="list-style-type: none"> -Des joints universels ne sont pas nécessaires du fait qu'il n'y a pas de mouvement angulaire des arbres de roue ; -Le carter de pont permet de supporter par une méthode simple les arbres de roue et les roues motrices ; -Le carrossage des roues n'est pas affecté par le roulis du châssis, les inégalités de la route, donc on a une faible prise de carrossage des roues en virage, excepté celui de la compression différente des pneus à cause du transfert de charge latéral ; -L'alignement, la voie et le pinçage des roues sont de facteurs préservés, économisant l'usure des pneus. 	<ul style="list-style-type: none"> -Le poids non suspendu est diminué du fait que le boîtier de différentiel est fixé directement sur le châssis du véhicule ; -Les efforts de transmission sont absorbés directement par le châssis sans que la suspension ait à transmettre ces efforts ; - Libère de l'espace pour le compartiment moteur. - Donne une meilleure résistance aux vibrations dans la direction en découplant les roues et en interposant la masse de la voiture entre les roues ; - Plus grand débattement de suspension.

Tableau II.2 : avantages du pont rigide et du pont à suspension indépendante. [GLE71]

II.6 Couple de réaction

Lorsque le couple d'entraînement est transmis par l'intermédiaire du pignon et de la roue, il se produit deux couples de réactions qui résultent en un transfert de poids. Une réaction a pour effet un transfert de poids du pont avant vers le pont arrière en marche avant. Ceci est le résultat de la réaction au couple d'entraînement de la roue. La seconde réaction provient du couple d'entraînement du pignon. Ce deuxième couple de réactions a tendance à transférer le poids depuis la roue droite vers la roue gauche dans un pont arrière rigide conventionnel.

Lorsque le couple d'entraînement est appliqué aux roues, il en résulte à la fois un couple et un effort de réaction. Différents systèmes sont utilisés pour transmettre ces efforts au châssis. Lorsque, à la fois le couple et l'effort sont transmis au châssis à partir d'un pont rigide, par l'intermédiaire de ressort, la suspension est du type **Hotchkiss**, (figureII.16). Un autre dispositif est celui à tube de torsion (figureII.17), qui transmet le couple de réactions à la partie centrale du châssis par un tube entourant l'arbre de transmission. Avec ce dispositif, il n'est pas nécessaire d'utiliser un joint universel pour relier l'arbre de transmission et le pignon. Les efforts de réaction peuvent ou non passer par le tube de torsion.

Lorsque des ressorts hélicoïdaux sont utilisés sans tube de torsion, des bras doivent être prévus pour absorber le couple et un effort combinés, soit un couple pur. [GLE71]

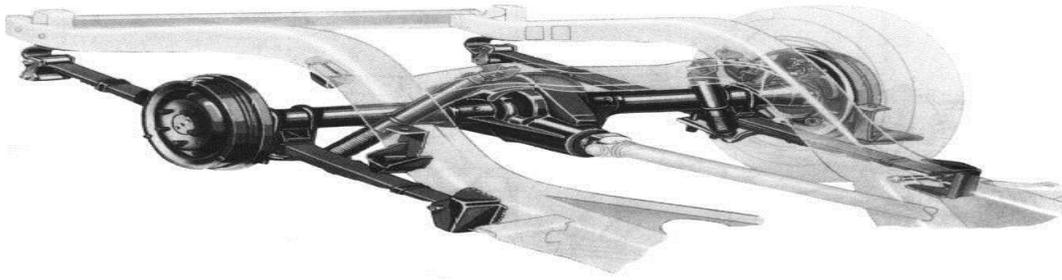


Figure II.16 : Suspension Hotchkiss. [DUY14]

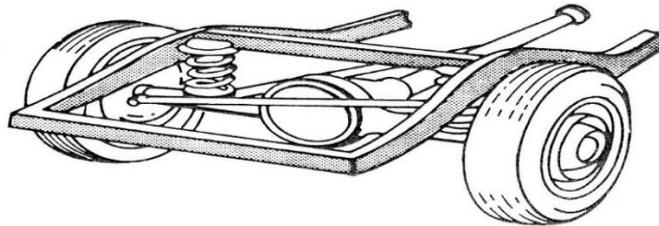


Figure II.17 : Suspension arrière à tube de torsion. [DUY14]

🚦 La suspension du type Hotchkiss

La suspension du type Hotchkiss est la plus familière et la plus ancienne forme d'essieu rigide. Elle présente des caractéristiques suivantes :

- L'essieu est centré et amorti sur des ressorts à lames ;
- La transmission de la motorisation est effectuée au moyen d'un arbre muni de 2 joints universels (cardan) montés de manière homocinétique ;
- Les ressorts à lames sont montés longitudinalement et connectés au châssis à leurs extrémités en assurant une main fixe et une jumelle libre pour permettre l'extension du ressort ;
- Les ressorts à lames assurent aussi les fonctions de guidage latéral et de transmission des efforts longitudinaux. [DUY14]

II.7 Choix du type de l'engrenage de transmission

II.7.1 Définition d'un engrenage

Un engrenage est un mécanisme constitué de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position relative invariable (figure II.18). Une des roues entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact. [COC03]

La plus petite des roues est appelée pignon et la plus grande roue.

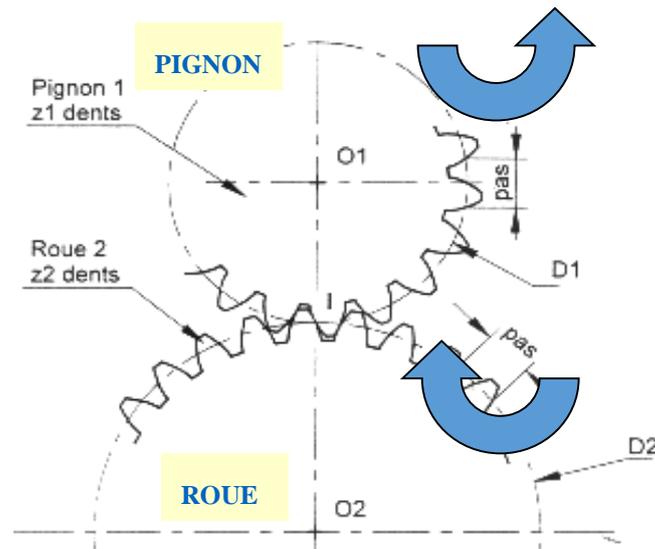


Figure II.18 : composants d'un engrenage. [COC03]

II.7.2 Fonction et principe

Transmettre la puissance entre deux arbres rapprochés avec modification du couple transmis et de la vitesse de rotation.

Le rapport des vitesses est rigoureux et constant, le couple transmis peut être important.

Arbre d'entrée

ω_e : vitesse d'entrée

C_e : couple d'entrée



Arbre de sortie

ω_s : vitesse de sortie

C_s : couple de sortie



Dans une transmission par engrenage, on a une transmission de puissance par obstacle. C'est à dire par contact direct et successif des dents du pignon et de la roue. [COC03]

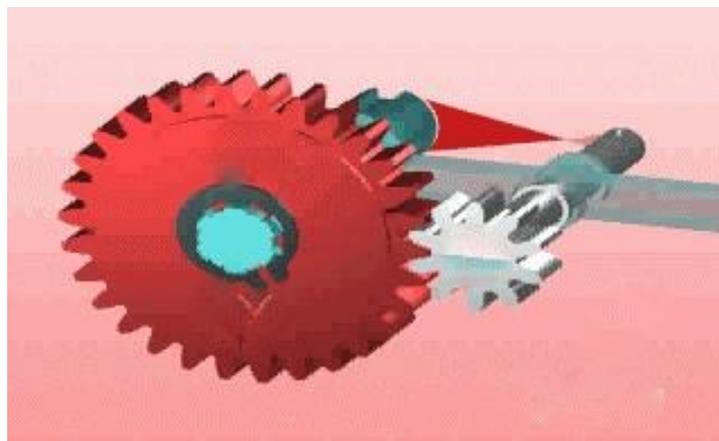


Figure II.19 : Transmission de puissance par obstacle. [COC03]

II.7.3 Le module

Pour assurer la transmission, les pas du pignon et de la roue doivent être identiques voir la figure II.20 donc :

$$\text{Pas}_1 = \text{pas}_2 = \text{pas} = p$$

Soit d_1 , le diamètre primitif du pignon.

Soit d_2 , le diamètre primitif de la roue.

On a :

$$\pi \times d_1 = p \times Z_1 = \text{périmètre du cercle primitif de la roue.}$$

Le rapport est appelé module de l'engrenage, Il est noté m .

$$\text{On a donc : } d = m \times Z_1 = m \times Z_2 \longrightarrow \mathbf{d = m \times Z} \text{ [COC03]}$$

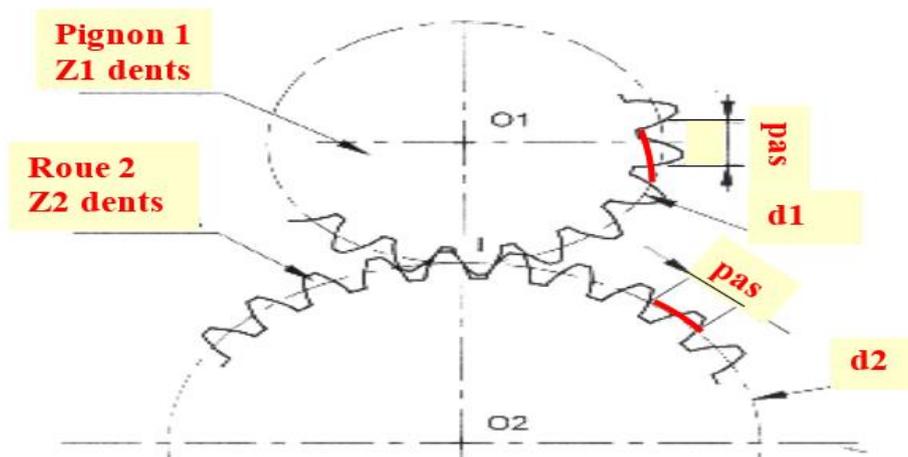


Figure II.20 : Les pas du pignon et de la roue. [COC03]

II.7.4 Différents types d'engrenages

Les engrenages sont classés en différentes catégories caractérisées par : la position relative des axes des arbres d'entrée et de sortie, la forme extérieure des roues dentées et le type de denture. Les différentes formes d'engrenages sont décrites dans le tableau II.3 suivant : [BOU16]

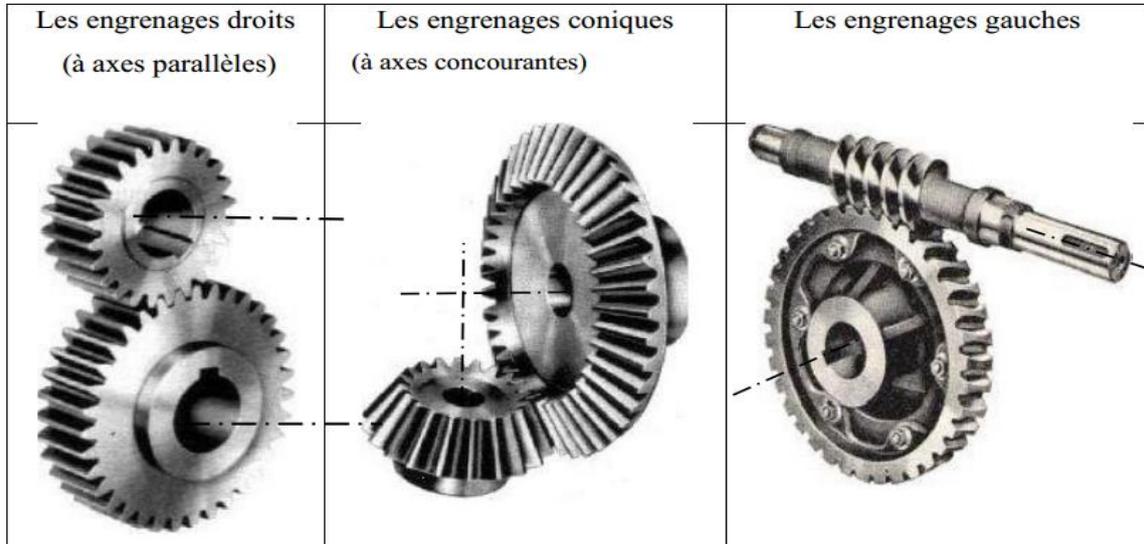


Tableau II.3 : Types d'engrenages. [BOU16]

II.7.5 Les types d'engrenages utilisés pour les ponts de la SNVI

Deux types d'engrenages, spiro-conique et hypoïdes sont utilisés dans les ponts moteurs des véhicules. Chaque type possède des caractéristiques spéciales qui doivent être considérées par celui qui est chargé de la conception d'un pont. Ces caractéristiques sont énoncées dans le tableau II.5 et étudiées plus en détail ci-après. [GLE71]

II.7.5.1 Engrenage spiro-conique

Généralités

Les engrenages spiro-coniques sont un cas particulier des engrenages coniques. Ils sont donc définis par un ensemble de paramètres communs à tous les engrenages coniques ces paramètres définissent leur « carte d'identité géométrique ». Le tableau II.4, faisant référence à la figure II.21, énonce ces paramètres.

Angle des axes	Σ
Angle primitif	δ
Diamètre primitif	D
Angle de tête	δa
Diamètre de tête	d_a
Angle de pied	δf
Diamètre de pied	d_f
Largeur de denture	B
Saillie	h_a
Angle de saillie	ν_a
Creux	h_f
Angle de creux	ν_f
Hauteur	H
Angle de hauteur	ν
Génératrice primitive	R
Génératrice moyenne	R_m

Tableau II.4 : Carte d'identité géométrique. [TEI12]

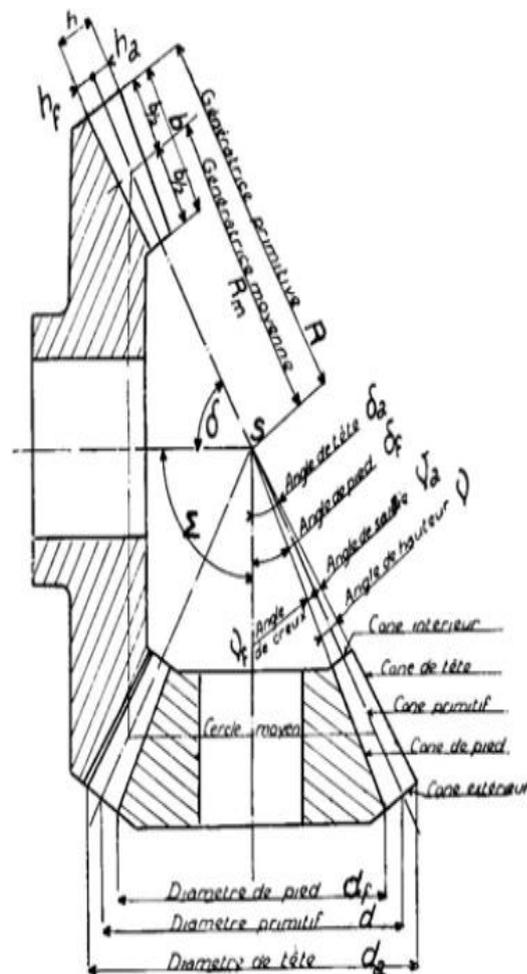


Figure II.21 : Géométrie d'un engrenage conique. [TEI112]

La génération de la denture conique s'effectue à partir d'une « roue plate génératrice ». La (Figure II.22) fournit une représentation du cône primitif d'une roue taillée, d'axe XI , tangent suivant SI au plan primitif P de la « roue plate génératrice » tournant autour de XO .

La forme de denture de la « roue plate génératrice » permet de définir trois principaux types de dentures :

- Denture droite (Figure II. 22.a) : dent prismatique passant par le sommet S du cône primitif de la pièce.
- Denture hélicoïdale (Figure II.22.b) : dent prismatique passant par le sommet S' , décalé par rapport au sommet S d'un angle β .
- Denture spirale (Figure II.22.c) : surface d'égale pente, formée par des segments également inclinés par rapport au plan primitif P , s'appuyant sur une courbe directrice v caractérisant le type de denture.

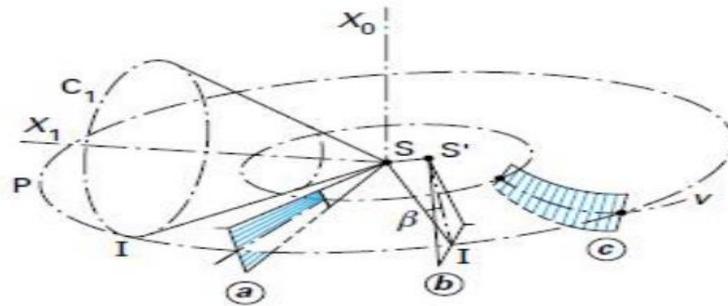


Figure II.22: Roue plate génératrice de taillage des roues coniques. [TEI12]

Afin de compléter la définition des engrenages spiro-coniques, trois principales dispositions de denture peuvent être définies, toutes comportant une spirale :

- la denture « Zerol » (Figure II.23.a), cas particulier de la denture « Spirale », avec angle de spirale nul ;
- la denture « Spirale » (Figure II.23.b), pignon et roue d'un engrenage à axes concourants ;
- la denture « Hypoïde » (Figure II.23.c), pignon et roue d'un engrenage à axes décalés. [TEI12]

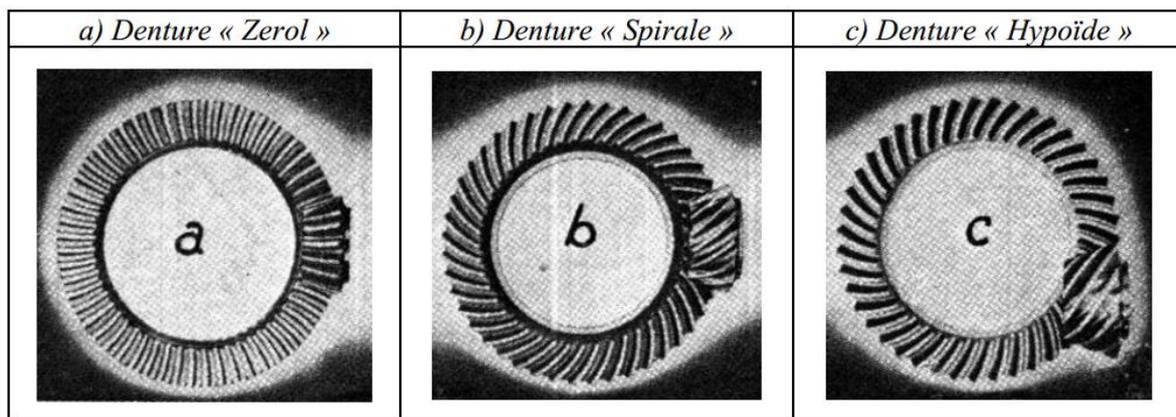


Figure II.23 : Différents types d'engrenages spiro-coniques. [TEI12]

Les engrenages spiro-coniques sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles. Ils assurent un renvoi d'angle entre un arbre d'entrée et un arbre de sortie et sont présents principalement dans les boîtes de transmission automobiles, ferroviaires ou aéronautiques.

Ils sont capables de supporter des charges élevées pour un fonctionnement relativement silencieux. Leur montage est délicat et leur fabrication, complexe, tente de compenser l'influence de défauts de positionnement. Ces engrenages sont souvent utilisés dans des applications avec des charges et des vitesses élevées. [WAN14]

Les engrenages spiro-coniques les plus utilisés

Trois systèmes majeurs sont distingués dans la fabrication des engrenages spiro-coniques :

- Le système **Gleason** : la hauteur de denture est généralement variable, et la forme de la courbe directrice est un arc de cercle (Figure II.24.a). Ce choix conduit à un développement de denture qui se réalise par étapes, chacun des creux de dents étant réalisé l'un après l'autre. Les flancs de denture convexes et concaves sont taillés par des outils différents.

- Le système **Oerlikon** : la hauteur de denture est constante, et la forme de la courbe directrice est un arc d'épicycloïde (Figure II.24.b). Le développement de la dent est continu. Une fraise porte tous les outils coupants pour la réalisation des deux flancs d'une dent.

-Le système **Klingelberg** : cette méthode est issue du système Oerlikon. Deux cercles sont présents (Figure II.25), chacun roulant sur son propre cercle de base. Ainsi, une fraise double est utilisée dans le développement, deux groupes d'outils coupants étant fixés à cette fraise pour le taillage des flancs convexes et concaves du creux. Ce système est appelé le système Cyclo-Palloïde. [TEI12]

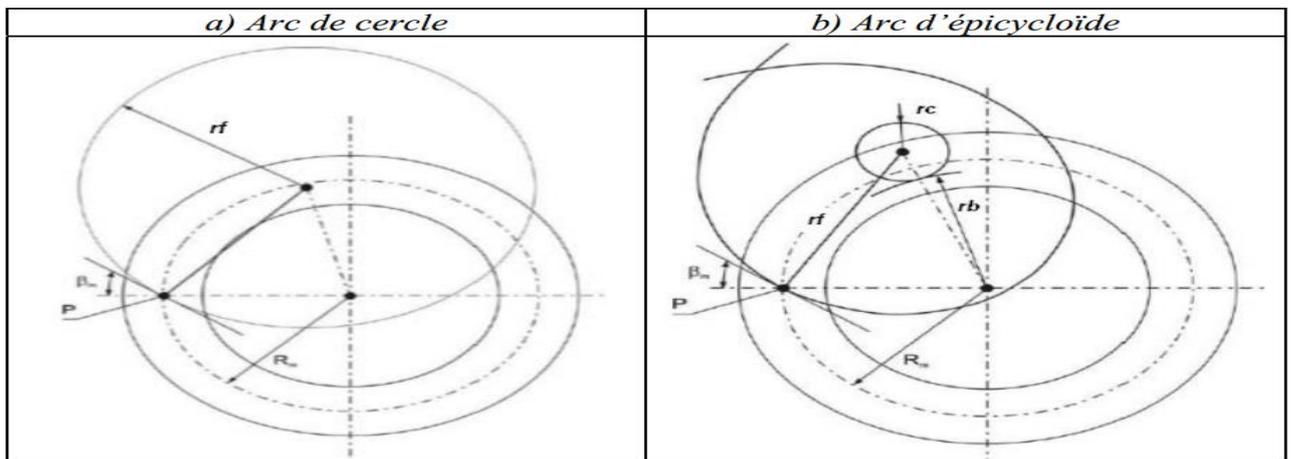


Figure II.24: Courbes directrices. [TEI12]

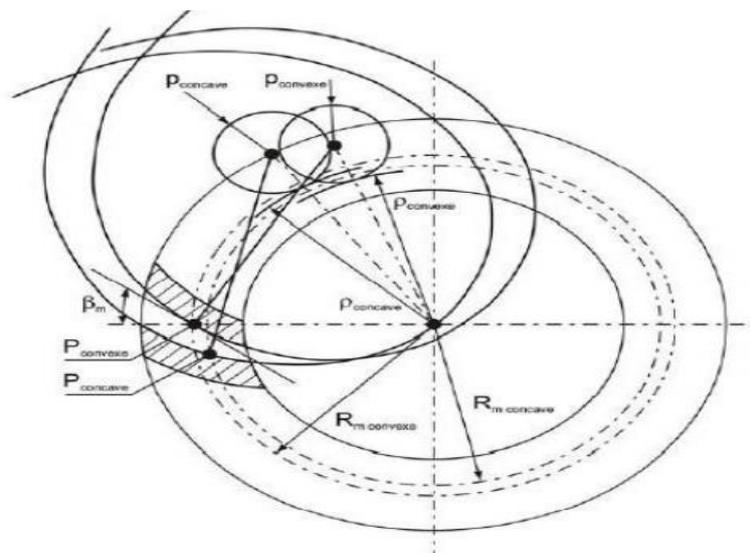


Figure II.25 : Système Cyclo-Palloïde Klingelberg. [TEI12]

II .7.5.2 Engrenage hypoïde

Ce type d'engrenage comporte deux organes coniques, pignon et roue, mais avec un désaxage E des deux axes.

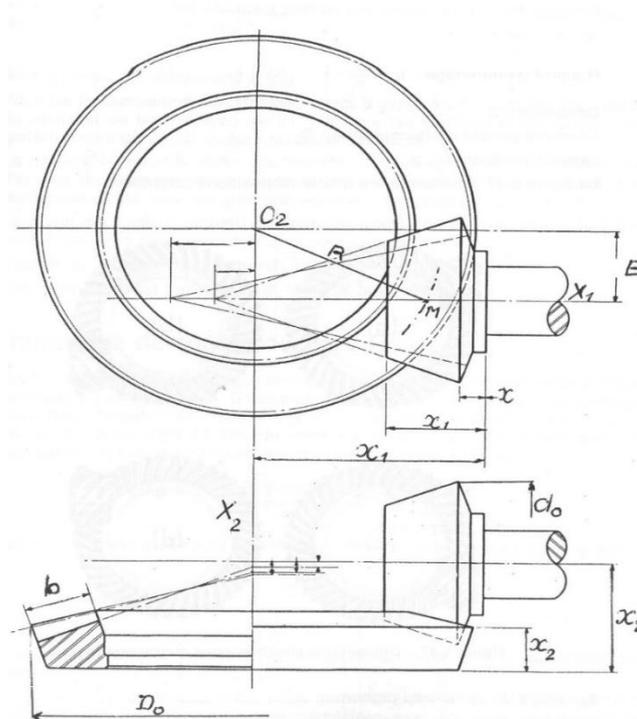


Figure II.26: Engrenage hypoïde. [HEN07]

Il était très utilisé dans le cas de transmission arrière des automobiles, car il permettait d'abaisser l'arbre de transmission, beaucoup plus plaisant pour les places arrière. [HEN07]

L'engrenage *hypoïde* est tellement spécial et complexe que les spécialistes qui ont à l'utiliser ont été obligés de connaître toutes les indications données par le constructeur de machines (Gleason, Klingelnberg, Oerlikon) et avoir surtout une grande expérience. [HEN99]

La figure II.27 représente les quatre dispositions possibles.

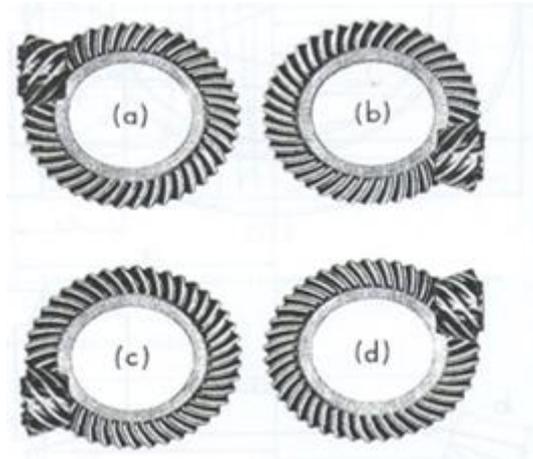


Figure II.27 : Disposition possibles pour engrenage hypoïde. [HEN11]

φ_1 : angle de spirale du pignon

φ_2 : angle de spirale de la roue

$$\varphi_1 - \varphi_2 > 0$$

R : génératrice primitive moyenne de la roue

X_1 : « distances de montage » du pignon

X_2 : « distances de montage » de la roue

Avec la distribution (b), avec pignon en dessous (figure II.27), denture du pignon à gauche, denture de la roue à droite :

$$\varepsilon' = \varphi_1 - \varphi_2$$

Avec $\varphi_1 > \varphi_2$ ((a) correspond à (b)).

Pour les transmissions industrielles, ayant 8 dents ou plus au pignon, l'angle de pression de base moyen est $21^\circ 15'$. Pour les camions et tracteurs, il est généralement de $22^\circ 30'$ et pour les automobiles de 15° .

Dans une section de denture hypoïde, une différence d'angles de pression et de courbure entre les deux cotés d'une dent. Les feuilles de calcul Glaeson sont prévues avec un angle des axes de 90° .

Le rayon de fraise r_c dépend du diamètre primitif de la roue, allant de 50,8 mm pour D de 10,6 à 152,4 mm jusqu'à 254 mm pour D de 457,6 à 660,4 mm.

L'angle de spirale φ_1 recommandé est 50° .

L'entraxe E ne doit dépasser 40% de la génératrice. [HEN11]

II.7.5.3 Caractéristiques des engrenages coniques spiraux et hypoides

CARACTERISTIQUES	HYPOIDE	CONIQUE SPIRAL
Silencieux	Plus silencieux.	Silencieux.
Résistance à la flexion	Charges supérieures jusqu'à 30% suivant l'entraxe aussi meilleur équilibre de résistance.	Plus faible.
Résistance au piquage	Charges supérieures jusqu'à 175% suivant l'entraxe.	Plus faible.
Résistance au grippage	Plus faible.	Charges supérieures jusqu'à 200%.
Vitesse de glissement	Jusqu'à 200% supérieure suivant l'entraxe.	Plus faible.
Rendement	Jusqu'à 96% suivant la charge et le rapport.	Jusqu'à 99% suivant la charge et le rapport.
Lubrifiant	EP (extrême-pression).	EP moyen.
Sensibilité au non-alignement	Varie avec la rigidité du montage et le diamètre de fraise.	Varie avec la rigidité du montage et le diamètre de fraise.
Fabrication	Fraise à plus grande largeur entre pointes ; Plus facile à roder.	Fraise à plus petite largeur entre pointes ; Plus difficile à roder
Rapport	Préférable pour rapports élevés.	Préférable pour faibles rapports.
Position du centre de gravité du véhicule	Arbre de transmission plus bas.	Arbre de transmission plus haut.
Diamètre extérieur du boîtier de différentiel	Plus petit ; Espace disponible réduit du fait de l'interférence avec le pignon.	Plus grand ; Espace disponible plus important.
Réaction sur les appuis	Plus grande poussée sur le pignon.	Poussée plus faible sur le pignon.

Tableau II.5 : Caractéristiques des engrenages coniques spiraux et hypoides. [GLE71]

Silencieux

Les engrenages hypoïdes se rodent plus facilement de toute la surface de denture. Ceci améliore l'aptitude au rodage des engrenages et engendre un fonctionnement plus doux et plus silencieux.

Résistance à la flexion

Les engrenages hypoïdes ont des angles de spirale différents sur la roue et sur le pignon conjugué. Dans la disposition usuelle, le module apparent du pignon sera plus fort que celui de la roue et par conséquent le diamètre du pignon sera plus grand que le diamètre du pignon conique spiral correspondant.

Résistance au piquage

Du fait de l'augmentation des dimensions du pignon hypoïde et de l'angle de spirale plus élevé sur le pignon hypoïde, le rayon de courbure relatif avec les dents de la roue conjuguées est plus grand que sur l'engrenage conique spiral correspondant.

Résistance au grippage

Les engrenages coniques spiraux sont en général moins susceptibles au grippage que les engrenages hypoïdes. Cependant, avec les lubrifiants de pont généralement utilisés, le grippage n'est que rarement un problème sur les engrenages des véhicules.

Glissement

Les engrenages coniques spiraux et hypoïdes ont tous les deux un glissement suivant le profil. L'augmentation résultante du glissement sur les dentures hypoïdes amène une augmentation de la chaleur générée. Une étude détaillée du lubrifiant et de refroidissement doit être faite pour s'assurer du maintien d'une température de fonctionnement raisonnable.

Rendement

Le rendement des engrenages coniques spiraux et hypoïdes est très élevé alors que celui d'un engrenage hypoïde est légèrement inférieur. Le rendement dépendra de la valeur de l'entraxe hypoïde, et encore plus de la charge transmise. Le rendement augmente avec la charge.

Lubrifiant

Les engrenages coniques spiraux et hypoïdes présentent une combinaison de roulement et de glissement entre les dentures. Cependant, avec des vitesses de glissement élevées, l'échauffement par friction peut causer des températures très élevées au point de contact et provoquer ainsi la rupture du film d'huile. Dès lors, des lubrifiants hautes pressions sont nécessaires.

Sensibilité au non-alignement

La sensibilité des engrenages coniques spiraux ou hypoïdes au non alignement est déterminée par la courbure longitudinale de la dent et le développement de la portée de denture. Des montages rigides réduisent les effets néfastes de la sensibilité des engrenages.

Fabrication

Les engrenages hypoïdes présentent deux avantages sur les engrenages coniques spiraux. Avec un pignon plus gros, la largeur entre les pointes de la fraise sera plus grande. Et avec un glissement longitudinal, les dents peuvent être rodées plus rapidement et plus uniformément.

Rapport

Pour les rapports élevés, le pignon hypoïde, ayant un plus grand diamètre que le pignon conique spiral correspondant. Pour des rapports moyens, des engrenages coniques spiraux ou hypoïdes seront satisfaisants.

Position du centre de gravité du véhicule

Avec les engrenages coniques spiraux, l'arbre de transmission est dans le même plan horizontal que les arbres de roue. Avec la disposition usuelle des engrenages hypoïdes, l'arbre de transmission est en dessous des arbres de roue du fait du décalage du pignon. Ceci abaisse le centre de gravité du véhicule et réduit la hauteur du tunnel à l'intérieur de l'habitacle.

Diamètre extérieur du boîtier de différentiel

Les engrenages coniques spiraux permettent l'emploi d'un boîtier de différentiel plus grand. Avec les engrenages hypoïdes, lorsque l'entraxe augmente, le pignon se déplace axialement vers de la roue, diminuant ainsi l'espace disponible pour les engrenages de différentiel.

Réaction sur les appuis

En considérant un engrenage conique spiral et l'engrenage hypoïde correspondant ayant le même angle de spirale moyen, le pignon hypoïde aura un angle de spirale plus élevé et la roue hypoïde un angle de spirale plus faible que l'engrenage conique spiral. Du fait du plus grand angle de spirale sur le pignon hypoïde, la poussée axiale sur les appuis du pignon sera plus forte et la poussée sur les appuis de la roue sera plus faible. [GLE71]

II.8 Les organes essentiels du pont

Le pont est l'ensemble formé par le renvoi d'angle, le différentiel, les demi-arbres de roues, les freins et les moyeux support de roues. [MIT]

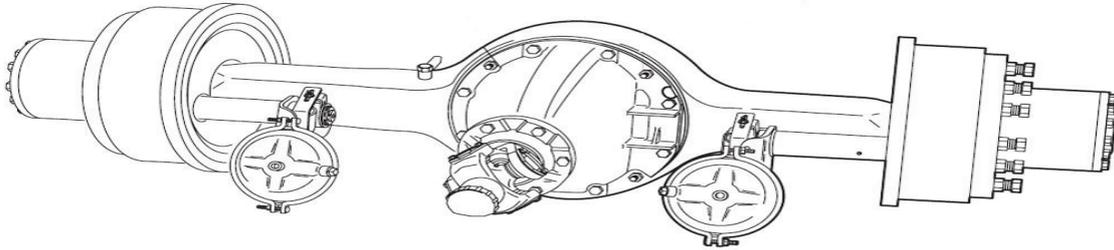


Figure II.28 : Pont complet d'un véhicule.

II.8.1 Le renvoi d'angle et le différentiel

Les organes qui constituent le mécanisme démultiplicateur de la transmission entre la boîte de vitesse et les roues motrices sont le renvoi d'angle réducteur et le différentiel [DMM81].

✚ Le renvoi d'angle

Le renvoi d'angle est un couple de deux pignons à denture conique assurant la transmission de rotation entre deux arbres concourants dans un même plan, formant un angle entre eux. Il a un double rôle :

- Assurer une démultiplication adaptée à la vitesse de rotation et à la puissance du moteur, à la circonférence utile des pneumatiques, au poids du véhicule et aux performances recherchées.
- Transformer le mouvement d'un arbre contenu dans le plan médian du véhicule, ou parallèle à celui-ci en un mouvement perpendiculaire à ce plan (les moteurs transversaux ne possèdent pas de renvoi d'angle). [MIT]

✚ Principe de fonctionnement du différentiel

La fonction primaire d'un différentiel est de permettre aux deux roues motrices d'un même train de véhicule de tourner à des vitesses de rotation différentes afin d'éviter le glissement du pneumatique sur la chaussée. Ce glissement apparaîtrait, en cas de liaison rigide entre les deux roues motrices, notamment lors de la conduite dans un virage, mais aussi en ligne droite en raison des diamètres des deux pneumatiques qui ne peuvent être parfaitement égaux.

La figure II.29 illustre l'ensemble des fonctions et des contraintes d'un différentiel en fonctionnement nominal, sous la formalisation d'un diagramme pieuvre. Ce produit doit répondre à quatre Fonctions Principales (FP):

FP1 : permettre de transmettre une partie de la puissance de l'arbre de sortie de la boîte de vitesse vers le cardan gauche de manière uniforme ;

FP2 : permettre de transmettre une partie de la puissance de l'arbre de sortie de la boîte de vitesse vers le cardan droit de manière uniforme ;

FP3 : permettre la répartition de la vitesse de rotation entre les cardans ;
 FP4 : garantir la mise en position des cardans par rapport au carter de pont.

A cela s'ajoutent principalement trois contraintes :

C1 : Assurer le confort acoustique de l'utilisateur ;
 C2 : Permettre l'admission de lubrifiant ;
 C3 : S'insérer dans le carter de pont.

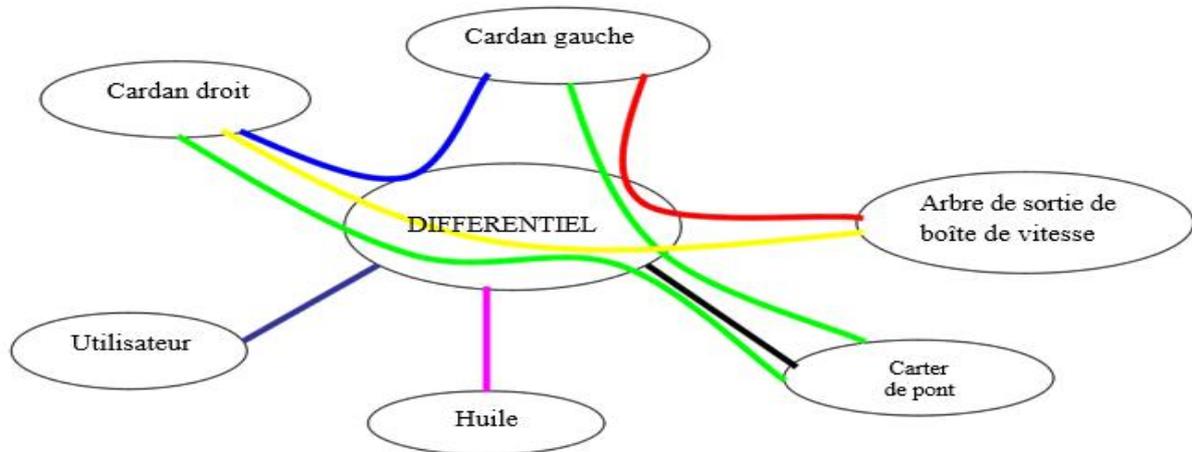


Figure II.29: Diagramme pieuvre du produit différentiel. [BER05]

Le terme « carter de pont » désigne soit le carter de boîte de vitesses dans le cas d'un véhicule à roues motrices avant (traction), soit le carter de pont arrière dans le cas d'un véhicule à roues motrices arrière (propulsion) ou à transmission à quatre roues motrices. Il s'agit dans tous les cas d'un carter dans lequel le différentiel doit s'insérer.

La figure II.29 permet de constater qu'en plus de la fonction cinématique de répartition de vitesse de rotation, le différentiel doit également transmettre la puissance aux deux roues du véhicule et participer au guidage des deux arbres de transmission par rapport au carter de boîte de vitesses.

La solution répondant à ces fonctions est utilisée sur les véhicules automobiles, est le différentiel à pignons coniques droits. Le schéma cinématique minimal de cette solution est décrit sur la figure II.30 ci-dessous.

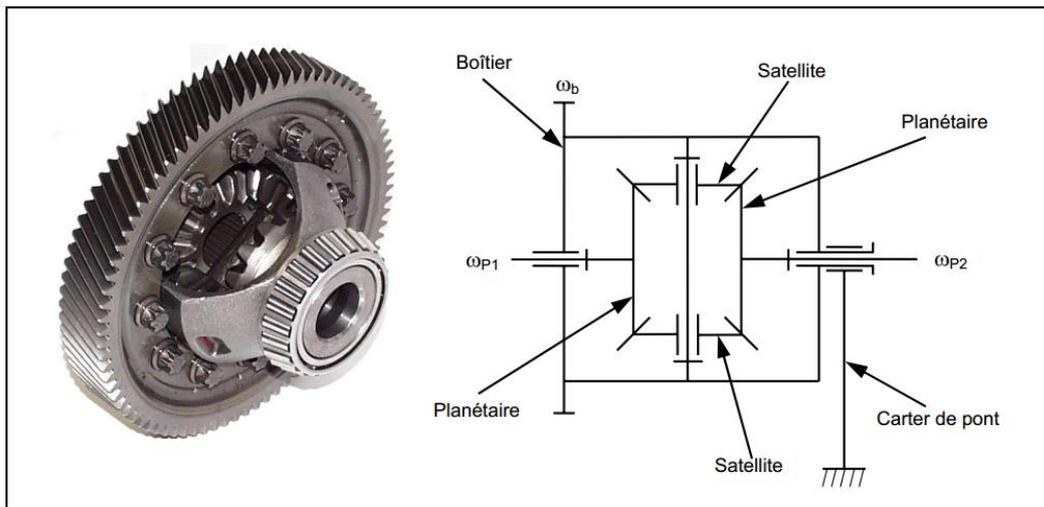


Figure II.30 : Schéma cinématique minimal d'un différentiel à pignons coniques. [BAU06]

Le boîtier de différentiel comporte une couronne dentée entraînée par l'arbre de sortie de la boîte de vitesses. Les deux pignons coniques de sortie sont nommés « planétaires » et entraînent les deux arbres de transmission reliés aux roues motrices. D'un point de vue cinématique, un seul pignon « satellite » est nécessaire. Afin de diminuer les efforts radiaux sur les guidages des planétaires et les efforts sur les dents des pignons, on a recours à l'utilisation d'au moins deux satellites.

Un calcul de cinématique donne la relation suivante :

$$\frac{\omega_{p1} + \omega_{p2}}{2} = \omega_b$$

Avec :

ω_b : est la vitesse angulaire du boîtier différentiel ou de la couronne ;

ω_{p1} : est la vitesse angulaire du planétaire 1 (roue gauche) ;

ω_{p2} : est la vitesse angulaire du planétaire 2 (roue droite).

✚ Analyse de fonctionnement

1^{er} cas : En ligne droite

Le cas d'une ligne droite les roues gauches et droites parcourent la même distance :

On va raisonner que l'élément moteur est l'axe porte satellites « 3 », ainsi que les couples résistants sur chacune des roues motrices sont rigoureusement identiques, les vitesses des roues sont égales. Le différentiel est bloqué et tourne comme un seul élément. [HAI11]

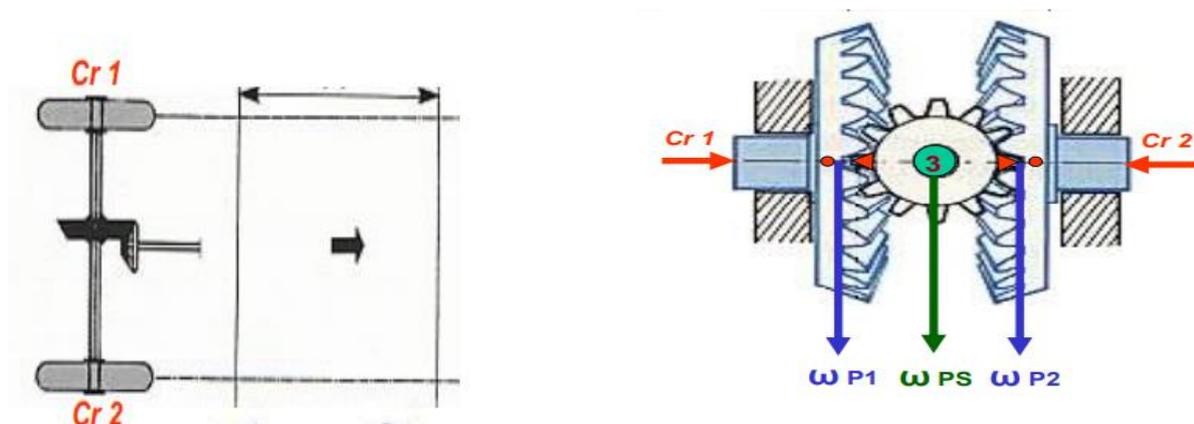


Figure II.31 : Répartition des charges dans une ligne droite.

Cr : Le couple résistant des arbres des roues ;

ω_p : Les vitesses des planétaires ;

ω_{ps} : Les vitesses des porte-satellites (croisillon).

Avec :

$$\omega_{P1} = \omega_{PS} = \omega_{P2} \text{ [HAI11]}$$

2^{ém} cas : En virage

La roue intérieure reçoit un couple résistant $Cr1$ plus important (rayon de virage différent entre roues gauche et droite), L'élément moteur est toujours l'axe-satellites « 3 » et la vitesse moyenne des deux roues reste égale à la vitesse de l'axe porte-satellites. Ainsi que les satellites tournent doucement sur leur axe tel que la vitesse enlevée sur une roue est transmise à l'autre. [HAI11]

En virage : $\omega_{P1} = \omega_{PS} + \omega_S$

$$\omega_{P2} = \omega_{PS} - \omega_S$$

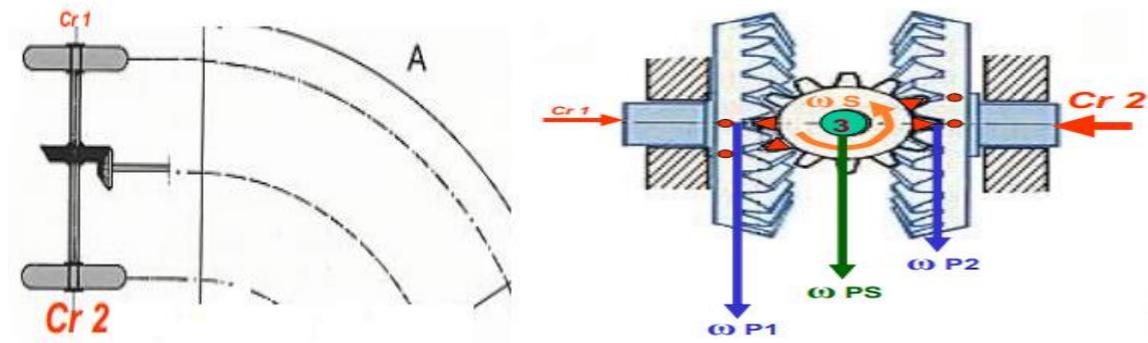


Figure II.32 : Répartition des charges dans un virage.

II.8.2 Demi- arbre de roue

Le demi- arbre de roue est l'arbre de transmission qui relie une sortie du différentiel à une roue motrice.

Dans le pont non suspendu, les demi-arbres peuvent être montés suivant trois formules différentes selon la façon dont l'arbre travaille :

- Arbre flottant : l'arbre ne travaille qu'à la transmission du couple moteur, tous les efforts de suspension et de réaction du couple conique étant absorbés par les trompettes du pont.
- Arbre entièrement travaillant : l'arbre supporte tous les efforts appliqués.
- Entre ces deux formules, nous pouvons avoir des solutions intermédiaires (demi-flottant ou trois quarts flottant). Le boîtier de différentiel absorbe directement les efforts de réalisation du renvoi d'angle. Du côté de la sortie d'arbre, les efforts dus au poids du véhicule et aux efforts de suspension sont absorbés par un ou deux roulements.

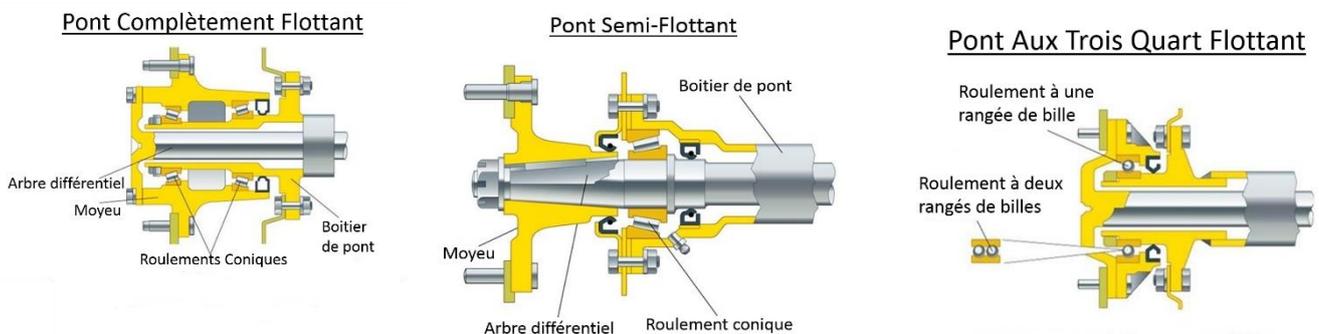


Figure II.33: Les trois formes des demi-arbre d'un pont non suspendu. [MIT]

Les dispositions entièrement "flottant" et "trois quarts flottants" sont réservés aux poids lourds et aux véhicules tout terrain. La solution "entièrement travaillant" n'est pratiquement plus employée, car l'engrènement du renvoi d'angle est difficile à assurer dans de bonnes conditions. [MIT]

II.8.3 Le moyeu

Organe sur lequel se fixe la roue, lié rigidement à l'axe de roue et supportant le tambour ou le disque de frein, tournant sur la fusée et fixé par l'intermédiaire de roulement.

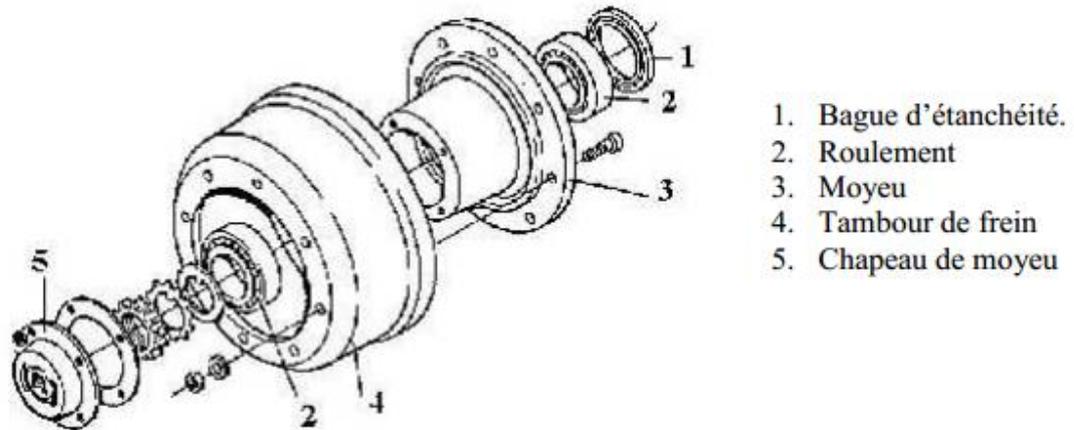


Figure II.34: moyeu. [MIT]

II.8.4 Roue motrice

Roue du véhicule qui est reliée au moteur par la transmission mécanique et qui exploite la puissance du moteur pour propulser le véhicule.

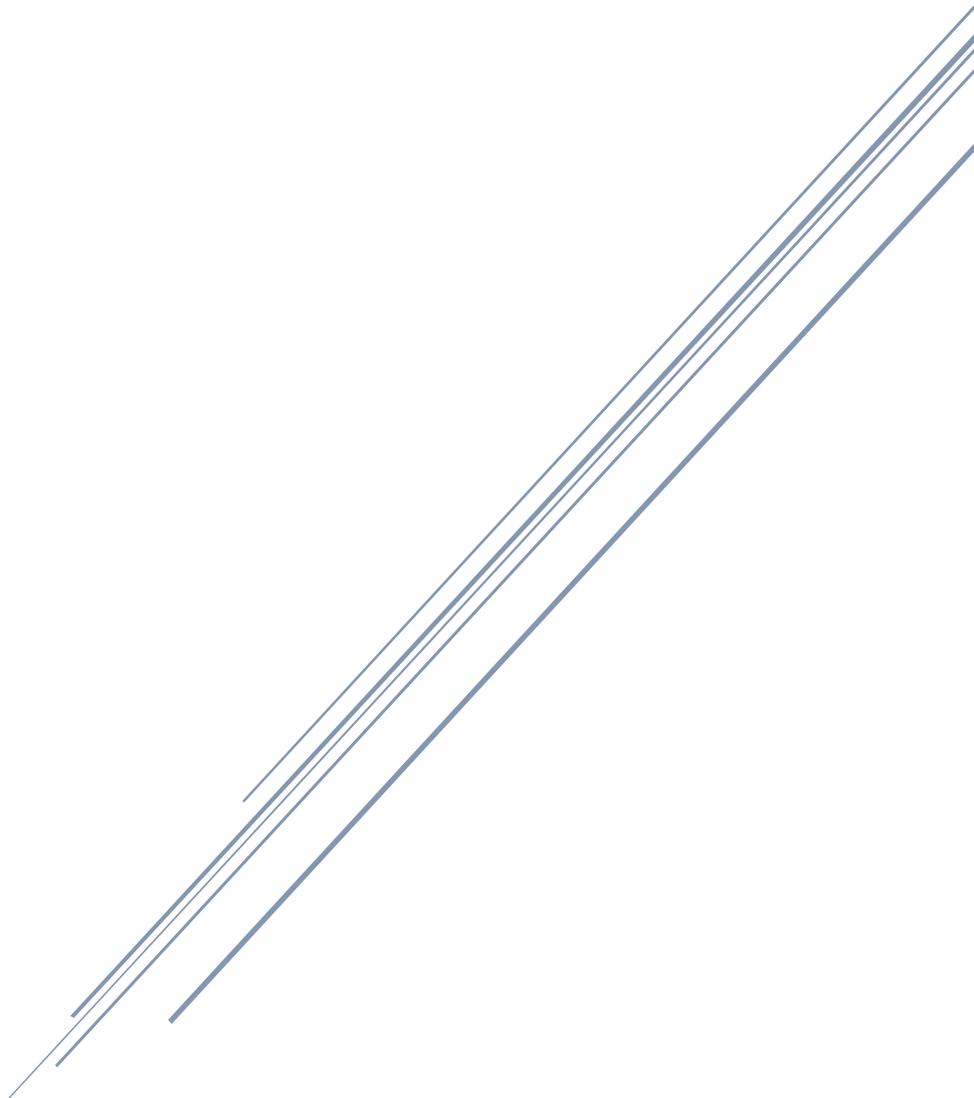
Le moyeu repose sur la portée externe d'une fusée creuse par deux roulements à billes ou à rouleaux à portée oblique. Les roulements à rouleaux, à égalité de charge, donnent des pressions spécifiques très inférieures à celles des roulements à billes ordinaires ; ils permettent aussi un réglage précis et des possibilités de rattrapage le tambour de frein, venu souvent de fonderie avec lui. Le demi-arbre passe par l'intérieur de la fusée et est fixé par une collerette sur la partie extérieure de moyeu. [MIT]

II.9 conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté une description des différents types de ponts moteurs ; cela a conduit à faire ressortir les effets de leurs différences de conception sur les montages des engrenages de pont. Ainsi nous avons parlé de l'utilisation des engrenages hypoïdes et coniques spiraux dans les ponts. Pour terminer, quelques généralités sur les organes du pont ont été abordées.

Chapitre III

Adaptation des rallonges sur le pont SNVI



III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous parlerons des solutions proposées afin de modifier l'ancien pont P1021X de l'autobus SNVI 100L6. Nous opterons pour la meilleure et la plus adéquate des solutions selon les moyens économiques de la société, tout en veillant à respecter le poids maximal cité dans le décret exécutif n° 04-381 dont en extrait est donné en annexe.

Dans ce cas seule la largeur ne sera pas respectée et dépassera la norme autorisée d'où l'appellation de bus hors code. Cet autobus sera autorisé à rouler en dehors de l'aéroport uniquement avec autorisation du Wali.

III.2 Détermination du poids total à charge (PTAC)

Le poids total autorisé en charge PTAC est la masse maximale autorisée pour un véhicule routier. Le terme « poids » est généralement utilisé pour la masse, hors domaine aéronautique, tel que spécifié dans le code de la route. Elle comprend le poids du véhicule à vide, la charge maximale de marchandises (charge utile) ainsi que le poids maximal du chauffeur et de tous les passagers. [W1]

Une étude ayant déjà été faite auparavant a montré que la caisse et l'ensemble de ses constituants pesait au plus 11 tonnes. Sachant que le poids moyen d'un passager est de 70Kg et que la capacité du nouveau bus est de 175 passagers le poids total du bus à charge est estimé à 23 tonnes. Exagérant le poids des bagages et en prenant un poids total de 25 tonnes, nous trouvons un poids inférieur au PTAC.

Cette masse est définie par le constructeur du véhicule. Entre autres caractéristiques, le PTAC est présenté lors de l'homologation du véhicule par les autorités compétentes. Le PTAC est donc nécessaire pour que ce véhicule obtienne l'autorisation de circuler sur le réseau routier. [W1]

Le code de la route prévoit généralement des dispositions particulières pour différentes catégories de PTAC, concernant notamment le type de permis de conduire que doivent posséder les conducteurs de ce type de véhicule. [W1]

La répartition des charges dans un bus est de 70% sur l'essieu arrière et 30% à l'avant. C'est-à-dire que le poids reposant sur notre essieu est de 18,2 tonnes, ceci dépassant largement le poids autorisé sur un essieu qui est de 10 tonnes. L'ajout d'un 3^{ème} essieu est nécessaire, cette essieu ne sera pas moteur son rôle et uniquement d'alléger notre essieu moteur, donc la charge sur le pont arrière sera de 9 tonnes.

III.3 Solutions proposées pour l'élargissement de l'ancien pont P1021X

Trois solutions ont été proposées pour adapter un pont plus large sur cet autobus hors code qui sont comme suit :

1^{re} proposition : Fabrication d'un corps de pont sur mesure en utilisant un nouveau moule

2^e proposition : Garder l'ancien corps de pont P1021X et la fabrication d'un moule sur mesure pour des rallonges qui seront réalisées par le même matériau que l'ancien carter de pont ; c'est-à-dire de la fonte.

3^e proposition : Garder l'ancien corps de pont P1021X et fabriquer des rallonges Mécano-soudées en acier c'est-à-dire que les pièces seront usinées puis assembler avec un procédé de soudage.

Contraintes et restrictions expliquant le choix de la solution

La 1^{ère} proposition reste la plus adéquate en termes de rigidité, de fiabilité et même côté esthétique. Sachant que l'autobus sera fabriqué en seulement deux exemplaires (prototypes), la société pour des raisons économiques a trouvé que ça reviendrait trop cher de fabriquer des moules sur mesure alors que la fabrication ne sera pas sérielle.

Pour ces raisons le choix de la 3^e solution reste le plus judicieux et le plus simple de réalisation.

III.3.1 CAO (Conception Assistée par Ordinateur)

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur, des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.[W2]

III.3.2 Définition du logiciel utilisé

CATIA [Computer Aided Three-dimensional Interactive Application] est un logiciel développé par la société Dassault Systèmes. Il regroupe un nombre important de modules totalement intégrés dans un seul et même environnement de travail. Ces modules permettent de modéliser une géométrie (CAO), de réaliser des analyses et des simulations, de mener une étude d'industrialisation (conception des outillages), de générer les programmes de commande numérique pour les machines-outils (FAO), d'établir les plans d'usines, etc.

L'ensemble de ces fonctionnalités permettent de mettre en œuvre la « maquette numérique » et de définir de façon conjointe le produit et certains processus qui lui sont liés (on parle alors d'ingénierie concurrente produit/process). [W2]

III.3.3 Conception du nouveau pont

Nous avons conçu et assemblé le pont P1021X constitué d'environ 300 pièces suivant les plans mis à notre disposition par l'UER de la SNVI en utilisant le logiciel CATIA V5R16.

On a collecté le maximum de plans tout en suivant la nomenclature mentionnée dans les cahiers des références.

Désignation du pont P1021X

P : Pont

10 : Tonnage

2 : Numéro de la mécanique central

1 : Numéro de la réduction aux roues

X : Sans blocage de différentiel

L'ancien pont mesurais 2.5 mètres de large notre travail consiste à l'élargir afin d'atteindre les 3.5 mètres tout en garantissant sa résistance au nouvelles charges

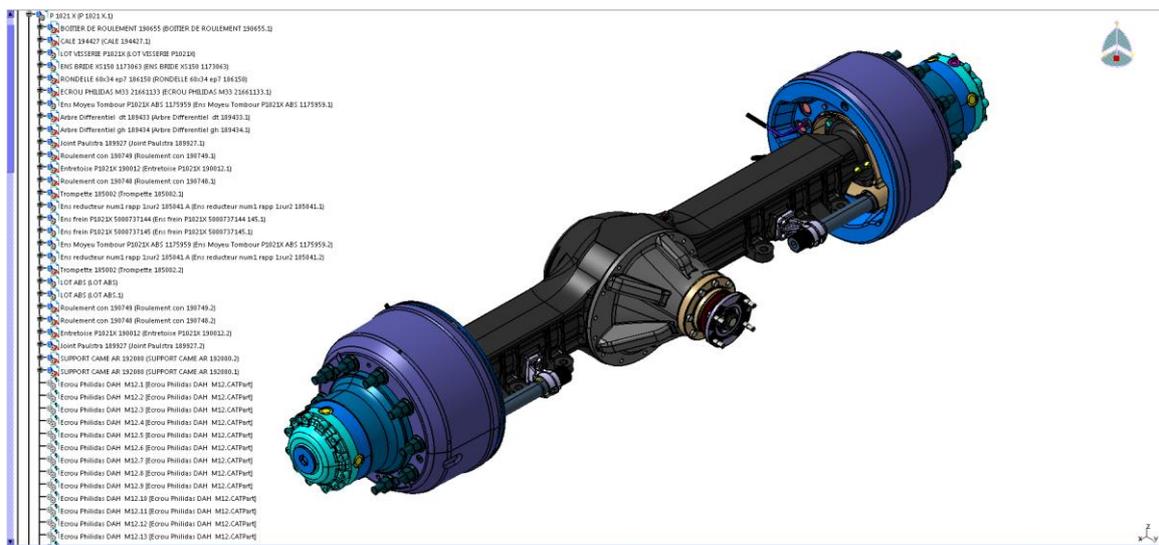


Figure III.1: Ancien Pont P1021X Assemblé.

Après désassemblage des organes mécaniques de l'ancien pont tel le système de freinage à tambour et le différentiel, les arbres différentiels le corps de pont est prêt à être modifié.

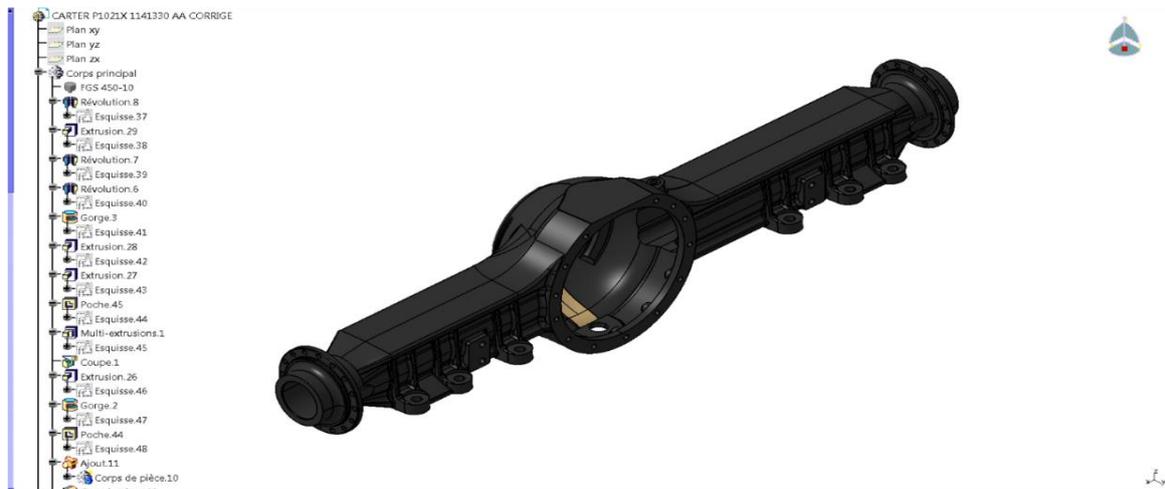


Figure III.2: Ancien Carter De Pont.

Lors de l'ajout des rallonges afin d'agrandir le carter de pont il s'est avéré nécessaire de déplacer les anciennes fixations de la suspension. C'est-à-dire les lames de ressorts et coussins d'airs. Ceci dans le but d'éviter que la majorité de la charge soit encaissée par les rallonges et pour réduire le moment de flexion sur le carter de pont et pour une meilleure stabilité du véhicule.

Pour atteindre la largeur voulu (3500mm) il faudrait ajouter 500mm de chaque côté du carter et reproduire à l'identique les supports de suspension ce qui nous a conduit à rencontrer un problème de construction.

La distance entre les petites pattes est de 650mm, après l'ajout de 500mm des deux côtés il se trouve que les pattes se situeront sur la partie ou viendrait s'accoupler les rallonges avec le carter de pont.

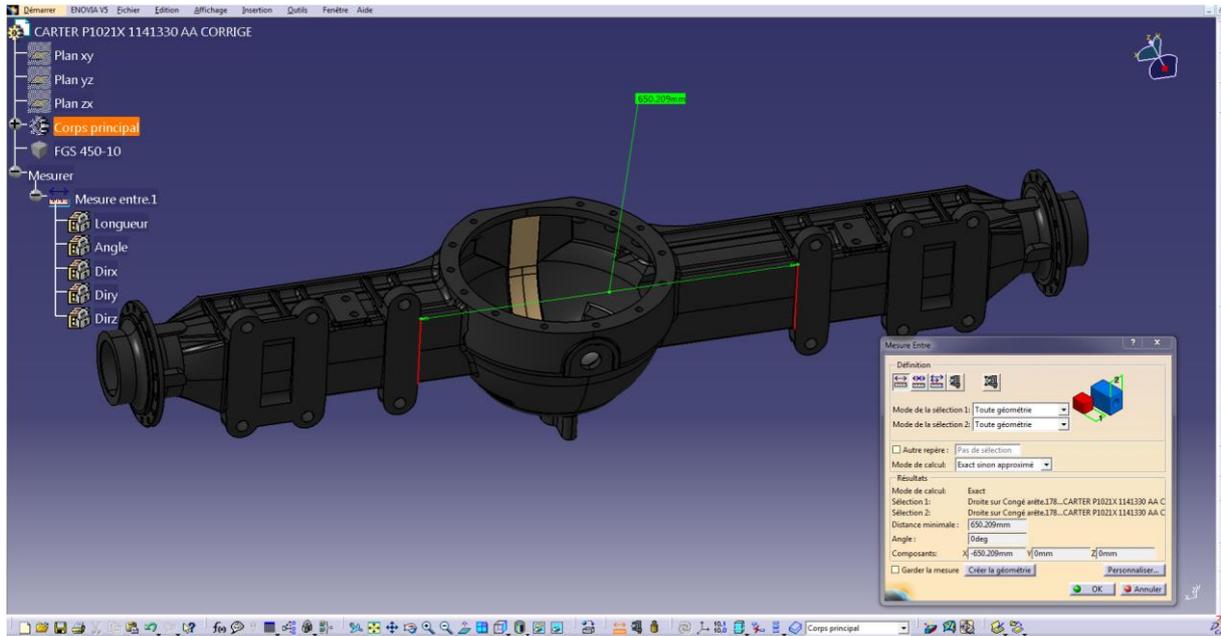


Figure III.1 : Montrant l'emplacement de l'ancien support de suspension.

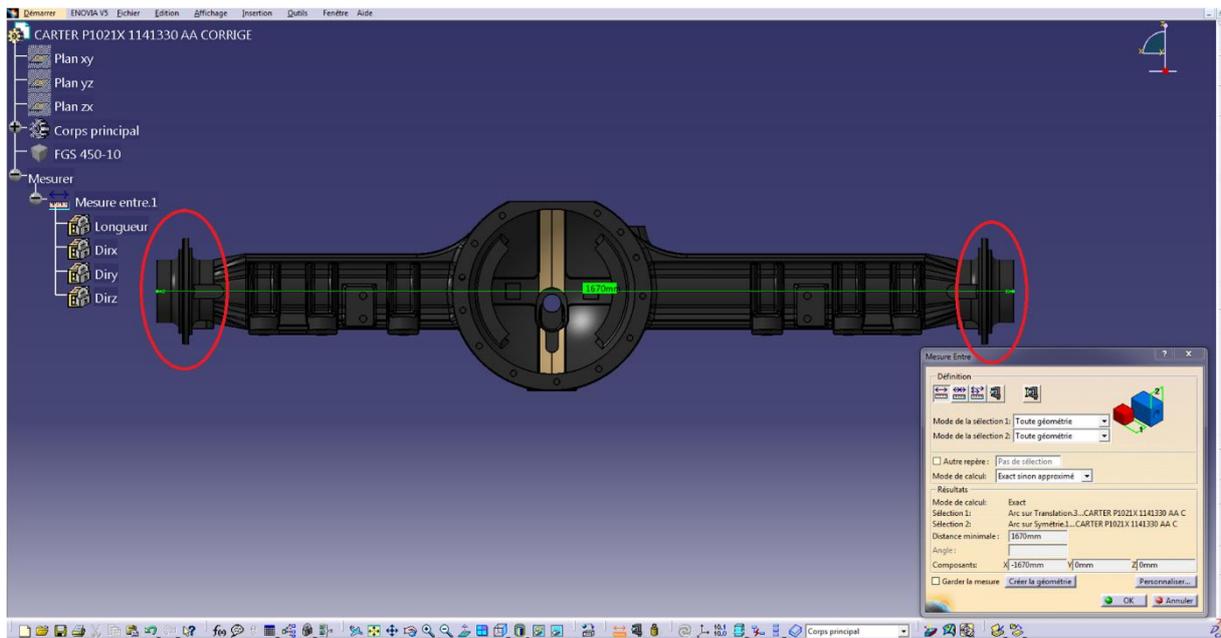


Figure III.2 : L'emplacement prévu pour les nouvelles fixations.

a) Modification du carter

Pour remédier au problème de l'emplacement des nouvelles fixations. Une opération d'usinage des extrémités s'impose afin de réduire la largeur de l'ancien pont et pouvoir gagner une distance. Cette dernière sera ajoutée aux rallonges afin qu'elles soient plus grandes et qu'elles puissent accueillir les nouveaux supports de suspension.

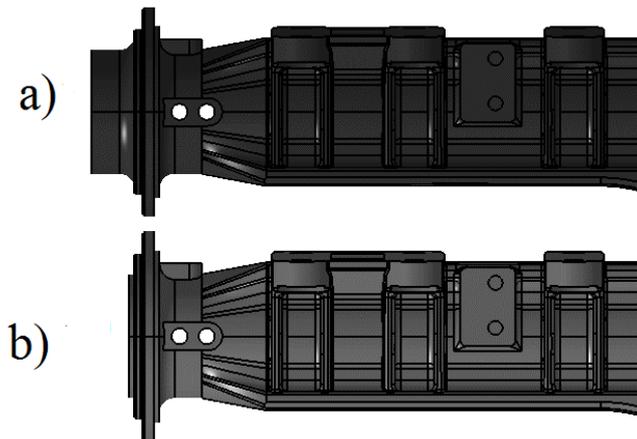


Figure III.3: Corps de pont avant(a) et après modification(b).

b) Conception des rallonges mécano-soudés

Les extrémités des rallonges doivent avoir la même géométrie que l'ancien carter afin que l'ancien système de fixation des roues et le système de freinage s'adapte parfaitement, de plus l'extrémité interne doit s'accoupler parfaitement au carter précédemment usiné et assuré l'étanchéité entre les deux ensembles.

▪ Conception des deux extrémités

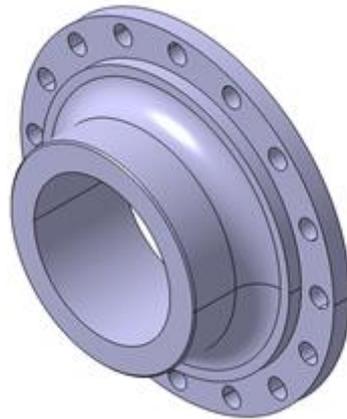


Figure III.4: Extrémité 1.

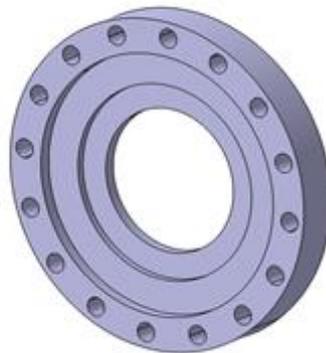


Figure III.5: Extrémité 2.

▪ Conception de la partie intermédiaire des rallonges



Figure III.6: Partie intermédiaire.

- Conception des supports de suspension

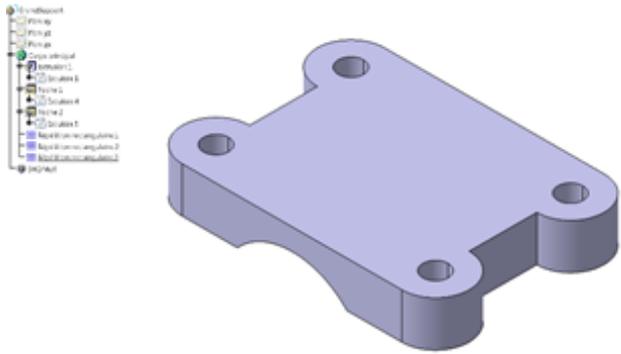


Figure III.7: Grand support de suspension.

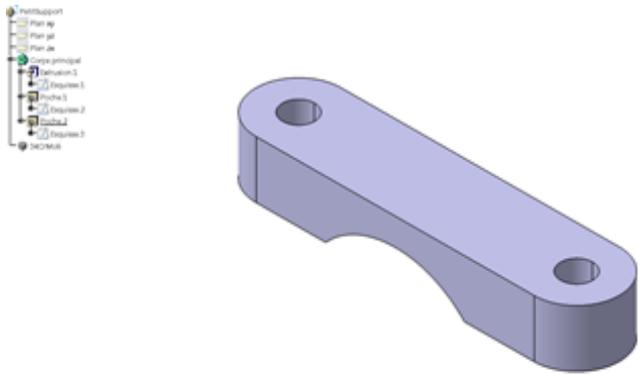


Figure III.8: Petit support de suspension.

- Conception des Plaque guide goupilles

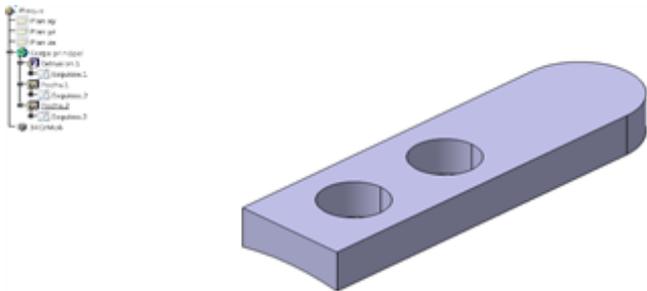


Figure III.9: Plaque guise goupilles.

▪ Assemblage des pièces

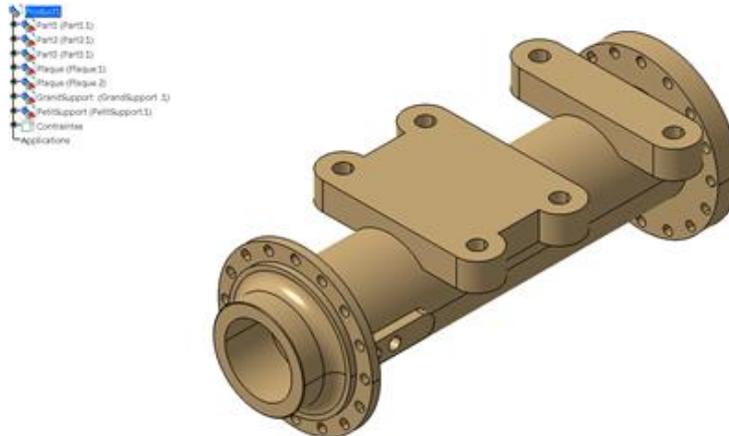


Figure III.10: Rallonge entièrement assemblée.

- Soudage des pièces

Le principe est de faire éclater un arc entre la pièce à souder et le métal d'apport provenant d'un dévidoir. Il est dit «semi-automatique» car ce fil est amené en continu sur le bain de fusion à la vitesse correspondant exactement à l'intensité appelée par l'arc crée entre les pièces à souder et le fil. C'est au pôle + du générateur que l'on connecte la torche de soudage avec le fil formant l'électrode pour permettre sa meilleure fusion. Ceci assure une bonne pénétration. Le câble de masse est branché entre la borne négative et la pièce à souder. Le gaz de protection passe dans la torche. La différence entre les procédés MIG et MAG provient de la nature du métal d'apport et du gaz de protection à employer. Pour le MIG, qui permet de souder l'aluminium et l'inox, le gaz de protection est de l'argon ou un mélange argon/oxygène. Il s'agit du même gaz que pour le soudage TIG. Pour le MAG, utilisé pour souder l'acier, le gaz de protection est du CO₂, ou un mélange d'argon/ CO₂. En effet, plus de 90% des soudures sont réalisé par ce procédé. Les industriels ont donc automatisé ce procédé en créant des robots de soudure MIG-MAG.

- Avantages du procédé mécano-soudé

La construction soudée présente de nombreux avantages par rapport à la construction moulée. Pour la réalisation de prototypes ou de petites séries de pièces :

- Délai de réalisation court (pas de modèle, de boîte à noyau, de moule...);
- Coût moins élevé ;
- Modification possible du carter ;
- Gain de masse ;
- Variation brusque et importante de l'épaisseur ;
- Possibilité de très grosses pièces. [HAM17]

L'épaisseur des cordons de soudures a été obtenue par des essais répétés qu'on verra plus en détails dans le chapitre suivant.

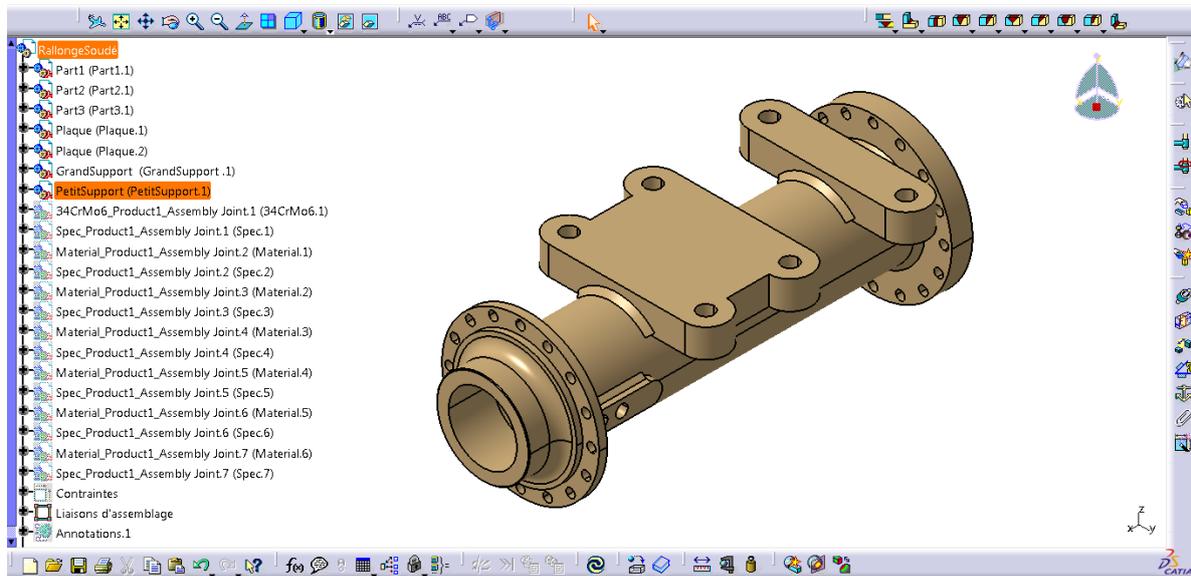


Figure III.11: Rallonge avec cordons de soudures.

c) Conception des arbres différentiels

Les anciens arbres différentiels mesuraient respectivement 1239mm pour l'arbre de droite et 1035mm pour celui de gauche, après modification c'est deux mesurerons 500mm de plus.

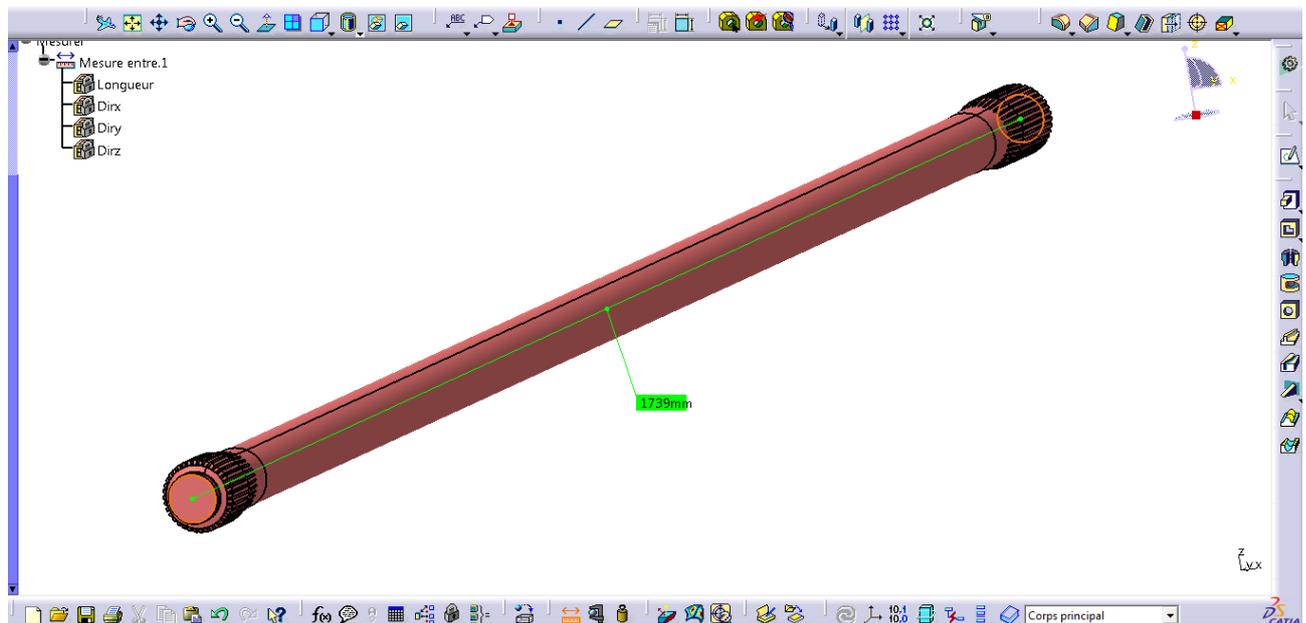


Figure III.12: Arbre droit après modification.

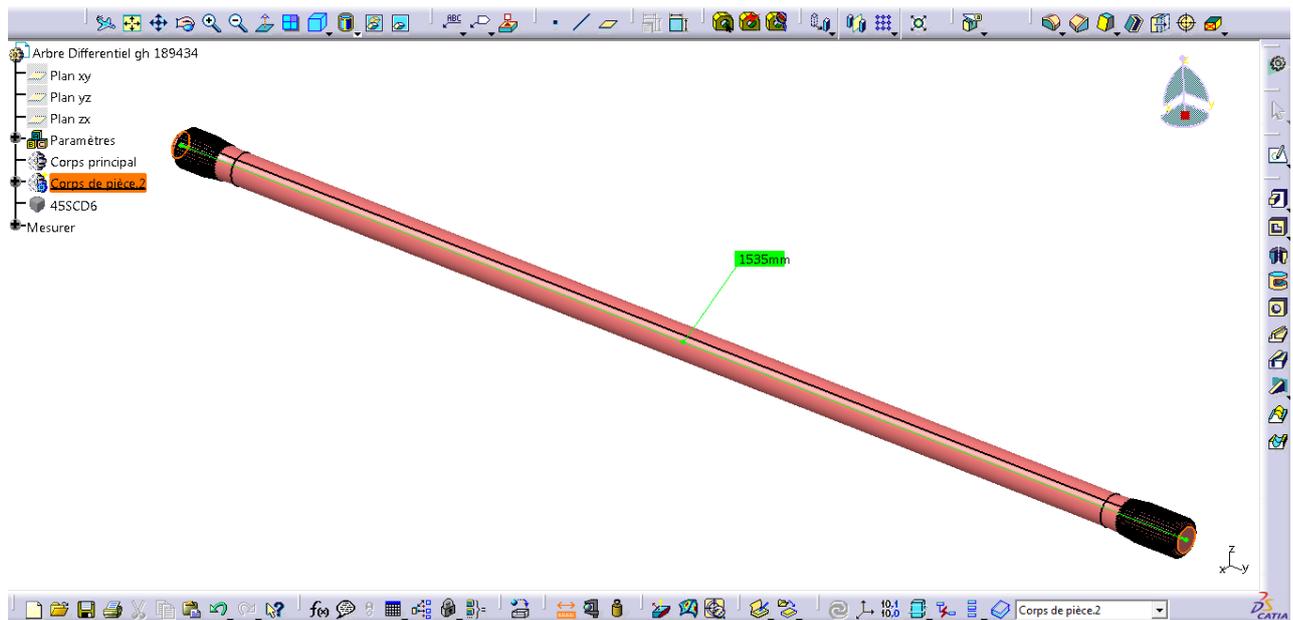


Figure III.13: Arbre gauche après modification.

d) Conception des nouvelles trompettes

L'ancienne trompette mesurait 402mm de long. Après modification, la nouvelle mesure 889mm.

Celle-ci traversera tout le long de la rallonge et terminera sa course dans le carter de pont ceci offrira une meilleure rigidité à la structure et réduira les efforts de flexion sur la rallonge. Ces trompettes sont montées avec serrage sur la rallonge et le carter de pont et afin de ne pas abimer la surface et les cannelures un montage à l'azote liquide est nécessaire.

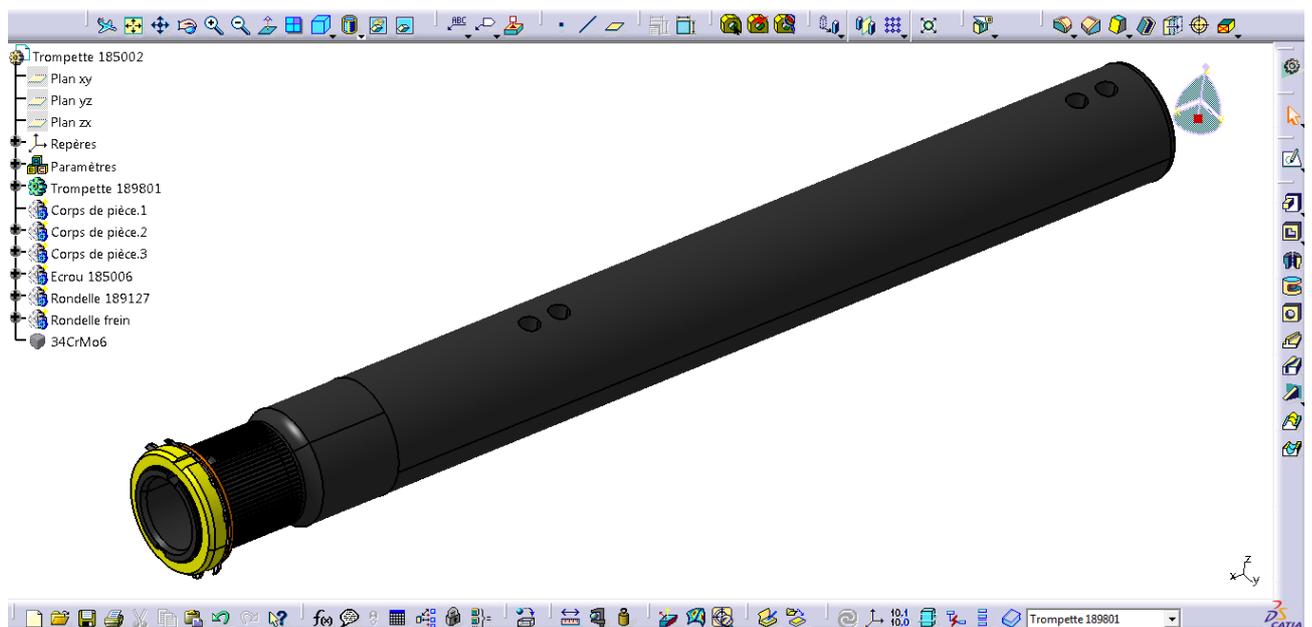


Figure III.14: Nouvelle Trompette.

e) Assemblage du nouveau pont

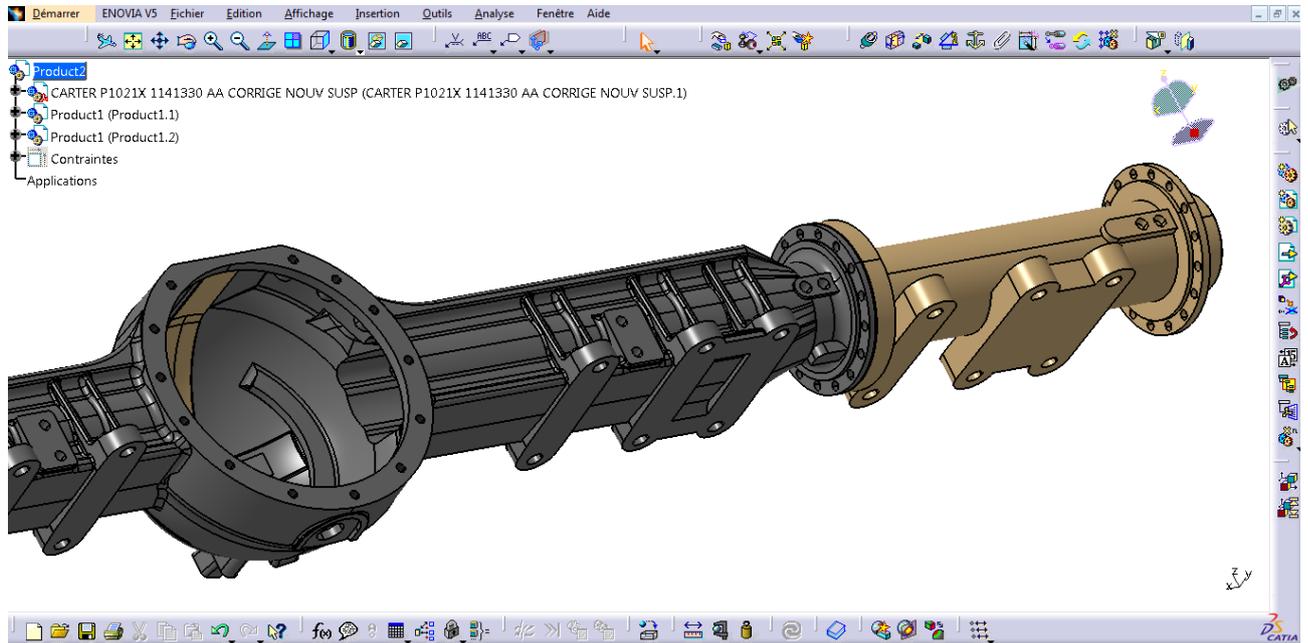


Figure III.15: Assemblage rallonge et carter.

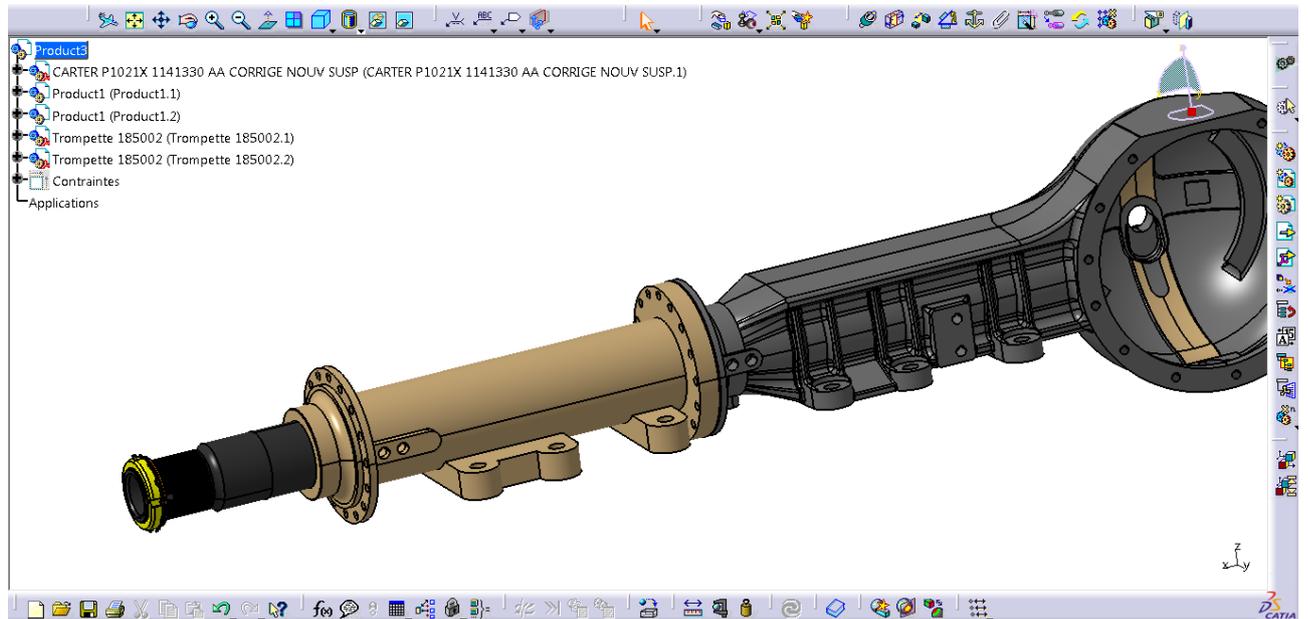


Figure III.16: Assemblage carter, rallonges et trompettes.

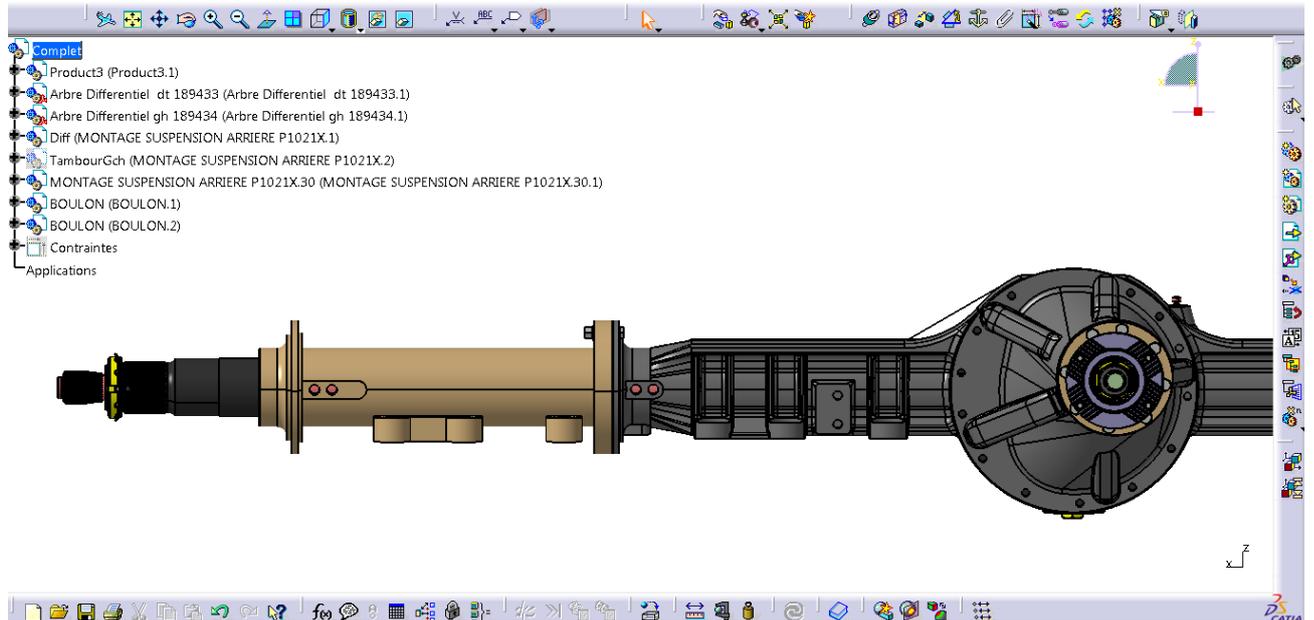


Figure III.17: Montage du différentiel et ses arbres.

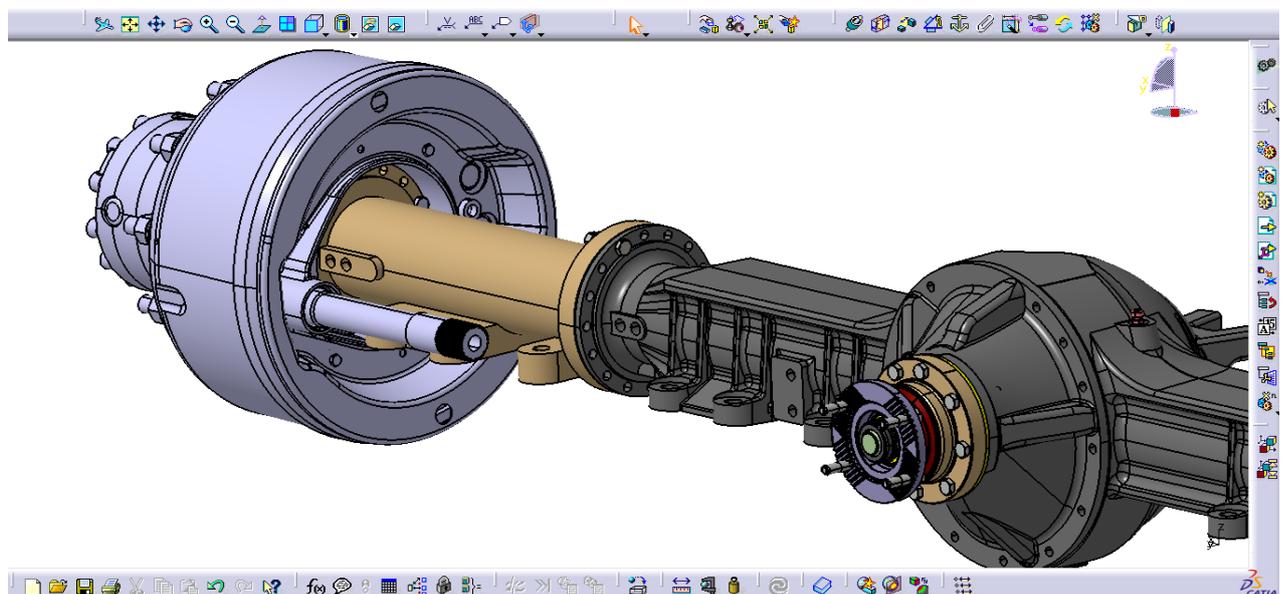


Figure III.18: Pont complet.

III.3.4 Matériaux utilisés pour les différents organes du pont P1021X

▪ Carter pont

Pour le carter pont on a utilisé de la fonte à graphite sphéroïdale FGS450-10 selon la norme standard (E) 02.21.4001/F.

L'objet de la norme concerne les différents types de fonte utilisés pour la réalisation de pièces de véhicules. Elle est complétée par le cahier des charges RENAULTV.I 3003.404 pièces brutes métalliques moulées.

FGS : Fonte à graphite Sphéroïdale (germe FGS 450-10).

- Résistance à la rupture (R_m) :450 MPa.
- Limite d'élasticité à 0,2 % d'allongement ($R_{p\ 0,2}$) :310 MPa.
- Allongement à la rupture (A) :10%
- Dureté (HB) : 207.
- Module de Young (E) : 169 GPa
- Coefficient de Poisson(ν) : 0.275. [RENAULT94]

▪ Les rallonges et les trompettes

Pour les rallonges et les trompettes on a utilisé l'acier 34CrMo6 selon la norme (E) 02.10.4001/F. Acier de construction (produits longs), nuances spéciales RENAULTV.I.

Le 34CrMo6 est un acier chauffé à 850°C et trempé revenu à 550°C avec les propriétés :

- Résistance à la rupture (R_m) :1100 Mpa.
- Limite d'élasticité à 0,2 % d'allongement ($R_{p\ 0,2}$) :750 Mpa.
- Allongement à la rupture (A) :12%.
- Module de Young (E) : 205 GPa.
- Coefficient de Poisson(ν) : 0.3. [RENAULT95]

▪ L'arbre

Pour les arbres, l'acier utilisé est le 45SCD6 (ancienne appellation) ou bien le 45SiCrMo6 (nouvelle appellation), c'est un acier faiblement allié avec une excellente trempabilité. Ses propriétés sont :

-Résistance à la rupture R_m : 1600 MPa

-Limite élastique : 1450 MPa

-Allongement a la rupture (A) : 10%

-Module de Young (E) : 220GPa

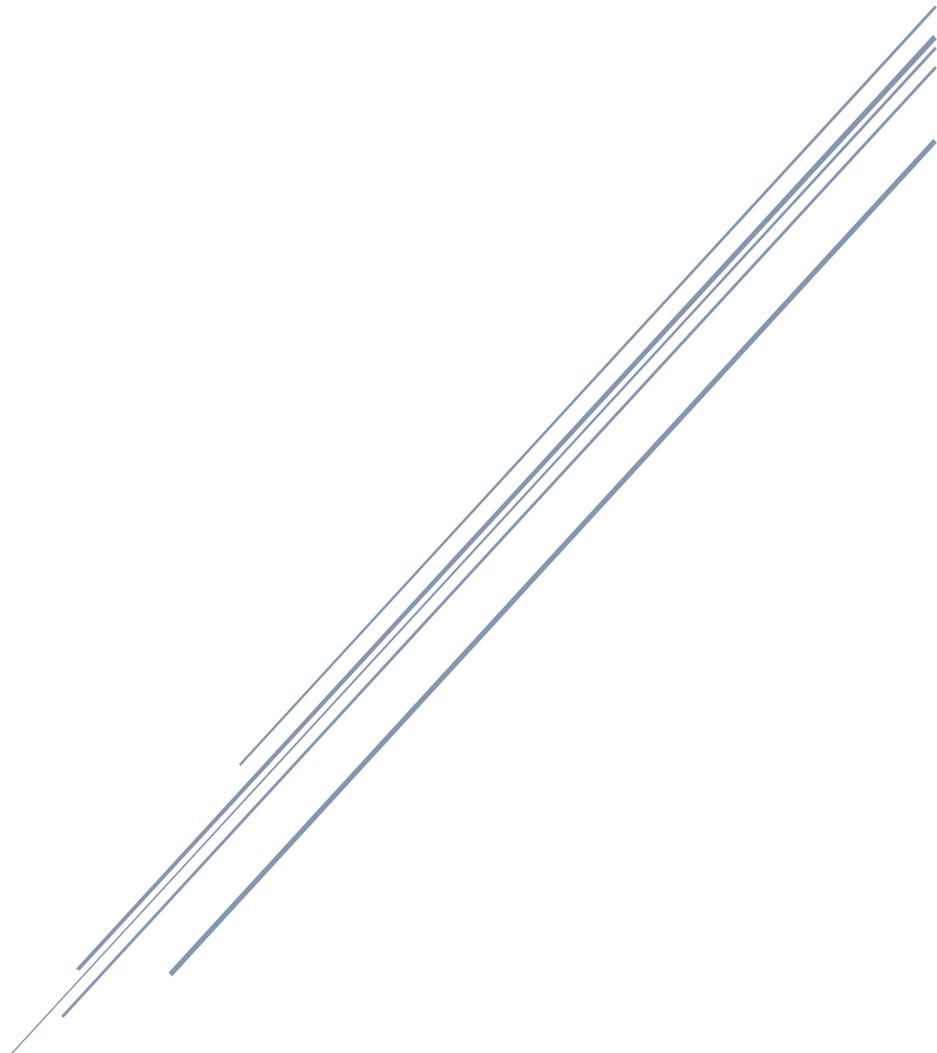
-Coefficient de Poisson (ν) : 0.285. [W3]

III.4 Conclusion

Nous avons choisi la solution technologique qui corresponde aux contraintes économiques de la société. Ce faisant, nous avons conçus et adapté des rallonges sur l'ancien pont SNVI. Cette conception sera suivie, évidemment d'une simulation numérique afin de vérifier sa résistance, chose qui sera abordée dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

Simulation numérique du nouveau pont



IV.1 Introduction

La conception d'un produit industriel passe par une phase de tests qui permettront de déterminer sa tenue en service face à son environnement.

La simulation numérique désigne l'exécution d'un programme informatique sur un ordinateur ou réseau en vue de simuler un phénomène physique réel et complexe. Cela repose sur la mise en œuvre des modèles théoriques utilisant souvent la technique des éléments finis. Elles sont donc une adaptation aux moyens numériques de la modélisation mathématique et servent à étudier le fonctionnement et les propriétés d'un système modélisé ainsi qu'à en prédire son évolution. On parle également de calculs numériques. Les interfaces graphiques permettent la visualisation des résultats des calculs par des images de synthèse.

Ces simulations informatiques, réalisées par des logiciels comme CATIA, sont rapidement devenues incontournables pour la modélisation des systèmes naturels en physique, chimie et bien d'autres domaines. Elles permettent d'éviter le risque et le coût d'une série d'épreuves réelles (ex : essais de véhicule) et offrent un aperçu sur le développement d'un système trop complexe pour simuler avec de simples formules mathématiques.

La méthode des éléments finis est l'une des méthodes qui nous permet d'effectuer des simulations numériques de phénomènes physiques et complexe. Le calcul est indispensable lorsque l'on cherche à obtenir une solution optimisée pour réduire les coûts et les délais de fabrication. Grâce à ces calculs on peut tester plusieurs configurations pour optimiser le comportement. Cela évite de multiplier les prototypes et les essais réels et offrent un aperçu sur le développement d'un système trop complexe pour simuler avec de simples formules mathématiques.

Le processus d'analyse des modèles comprend toujours des étapes de bases.

Ces étapes clés sont résumées comme suit :

- Construction du modèle géométrique;
- Appliquer le matériau ;
- Appliquer les déplacements composés ;
- Appliquer les chargements ;
- Mailler le modèle ;
- Analyser et afficher le résultat.

De nombreux logiciels de simulation sont disponibles sur le marché tel que : CATIA, ANSYS, ABAQUS, SOLIDWORKS ...etc.

Dans notre projet nous avons utilisés le logiciel CATIA V5R16.[W2]

IV.2 Application de l'analyse sur les différentes pièces du nouveau pont

Nous allons faire différents simulations sur les pièces que nous allons modifier pour vérifier leur résistance et leur faisabilité.

IV.2.1 Simulation des arbres différentiels

Les arbres différentiels de notre pont travaillent uniquement à la torsion car celui-ci est de type complètement flottant. Donc la flexion est subite par les trompettes et le corps de pont (Voir chapitre II : types de pont rigides)

Afin de garantir la résistance de l'arbre on a utilisé lors de la simulation le couple maximal fourni par le moteur qui est de 1250 N/m et qui est atteint à 1400 tr/min. Logiquement la moitié de ce couple sera servit pour chacune des roues motrices mais vue que notre différentiel n'est pas de type autobloquant c'est-à-dire que si l'une des roues motrice patine tout le couple qui lui été destiné serait transféré vers l'autre roue. C'est pour cela qu'on utilise la totalité du couple pour simuler les arbres.

Les 2 arbres possèdent des longueurs différentes. Celui de droite mesure 1739 mm de long et celui de gauche mesure 1535 mm de long. C'est pour cela que simuler l'arbre de gauche est inutile si celui de droite qui est le plus long résiste au couple donné.

Afin de pouvoir simuler d'arbre droit correctement, il faut fixer le côté dirigé vers la roue et appliquer le couple de l'autre côté (coté différentiel). Mais cela fausserai les calculs car en réalité le couple est appliqué sur les faces des cannelures et non pas sur la face cylindrique de l'arbre. Donc il a fallu bloquer chaque face de cannelure afin d'obtenir des résultats plus cohérents.

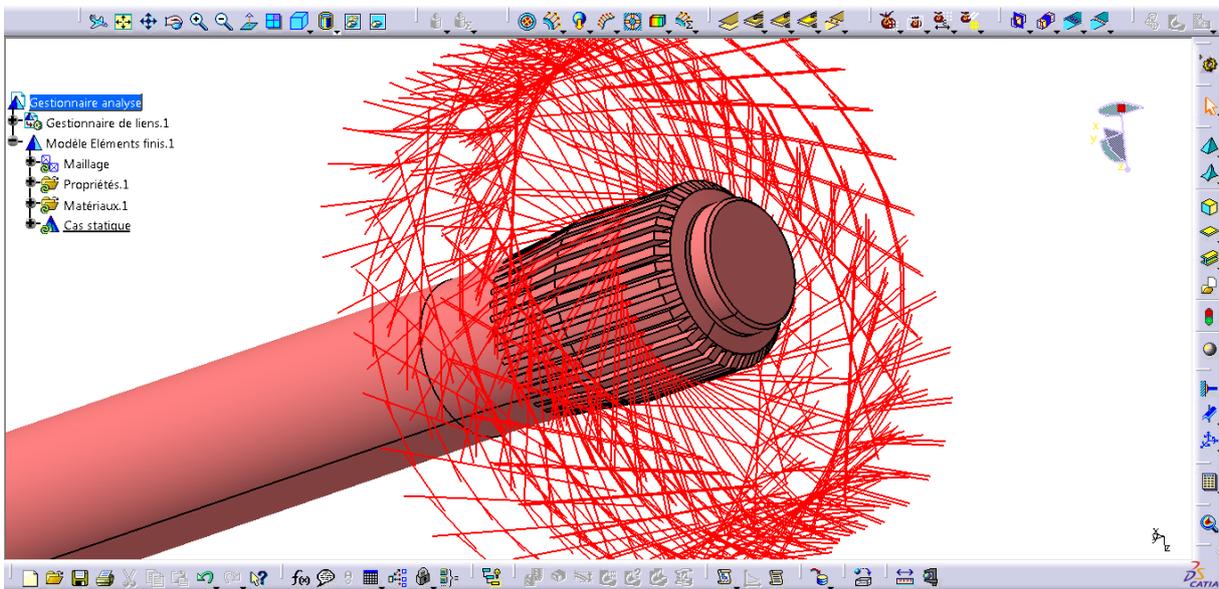


Figure IV.1: Blocage des faces latérales des cannelures.

a) Maillage de l'arbre droit

Le maillage utilisé pour l'arbre est tétraédrique avec une taille d'élément de 5mm car les zones cannelées sont petites, le type d'élément choisi est parabolique.

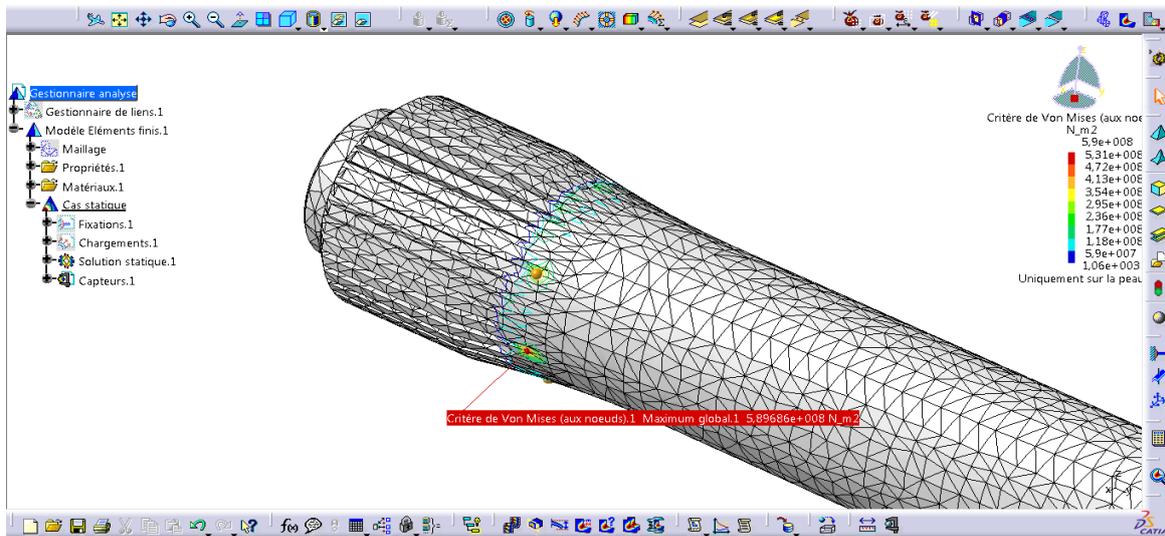


Figure IV. 2: Maillage de l'arbre droit

b) Contrainte de Von Mises

La théorie prévoit qu'un métal ductile commence à céder lorsque la contrainte de Von Mises atteint un niveau égal à la contrainte limite. Dans la plupart des cas, la limite d'élasticité est utilisée comme contrainte limite.

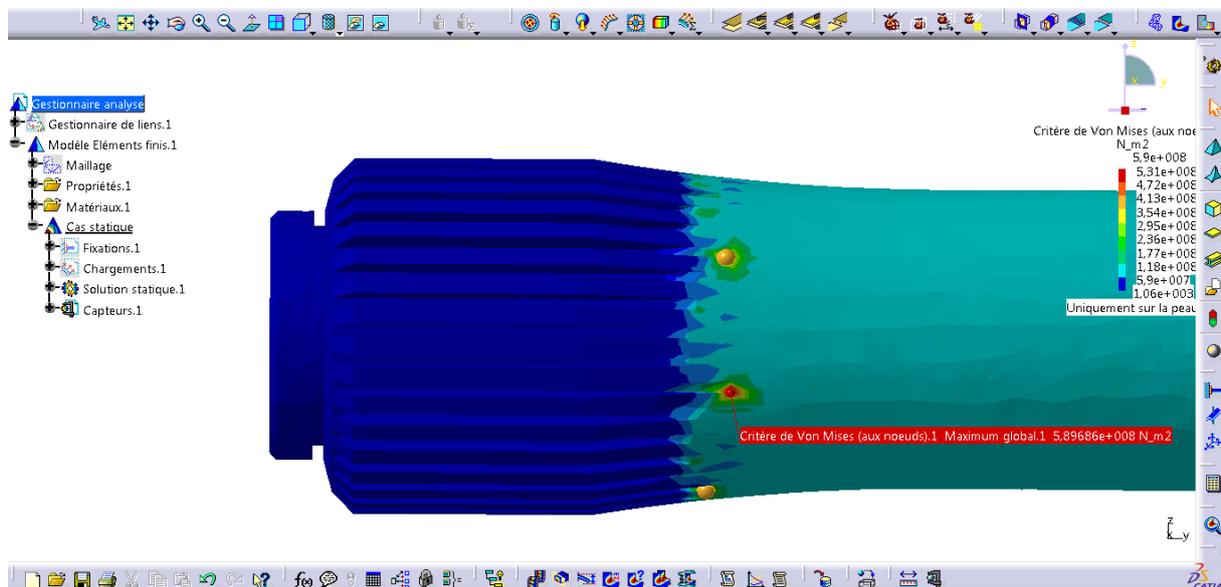


Figure IV.3: Contrainte de Von Mises.

La contrainte de Von Mises valant 590 MPa celle-ci reste bien inférieur à la limite élastique du matériau.

- **Remarque**

Les arbres différentiels sont en Acier 45SCD6 (45SiCrMo6) le programme CATIA n'ayant pas ce matériau il a fallu créer une bibliothèque personnalisée avec les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés comme le montre la figure ci-dessous.

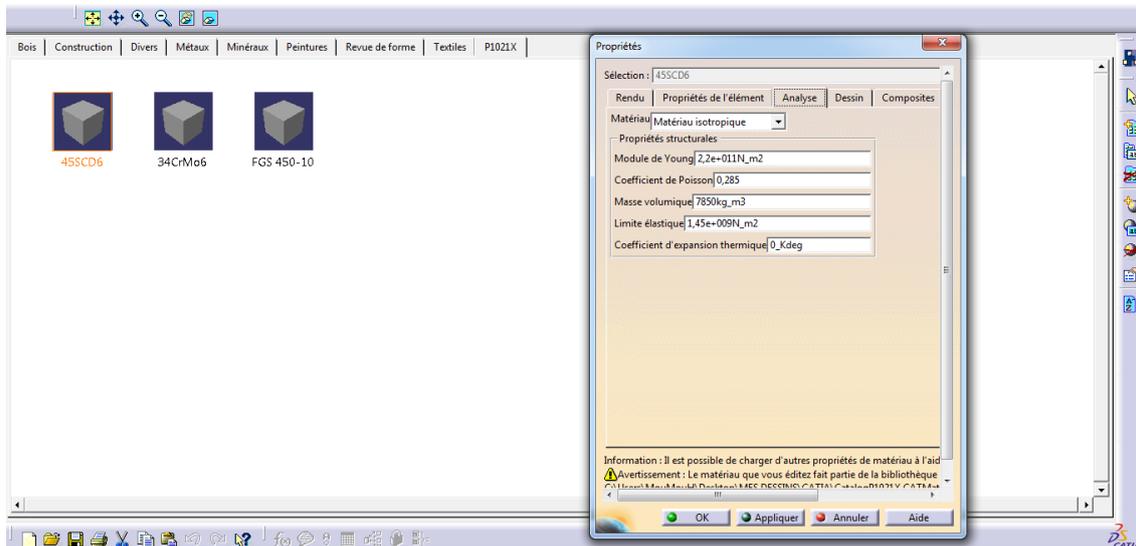


Figure IV.4: Application du matériau pour l'arbre droit.

IV.2.2 Simulation des rallonges mécano-soudées

Lors de la conception des rallonges mécano-soudé, un enlèvement de matière d'une profondeur de 7.5mm a été effectuée sur les deux extrémités afin que le tube intermédiaire vienne s'y insérer. Ainsi le positionnement lors du soudage sera excellent et le plus important, la charge sur les cordons périphériques sera considérablement réduite.

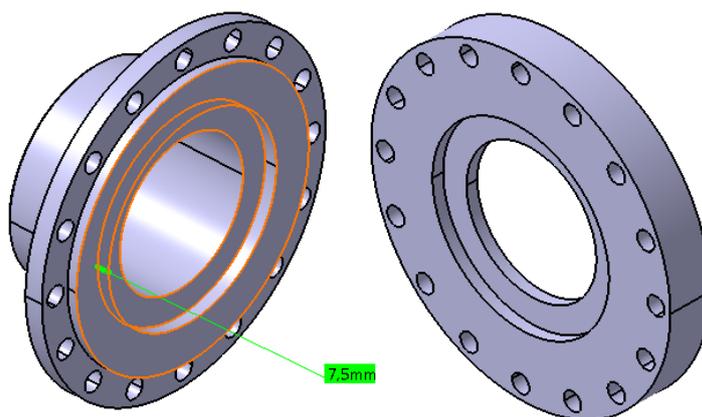


Figure IV.5: Logement du tube intermédiaire sur les 2 extrémités.

Dans le chapitre précédent nous avons pu calculer la charge appliquer sur notre pont moteur qui est de 9 tonnes. C'est-à-dire 4500 Kg pour chaque côté de roue. Nous exploiterons ce résultat afin de mener à bien nos prochaines simulations.

Lors de la 1^{er} simulation des rallonges ; l'épaisseur des cordons choisis été de 3mm mais après calcul il s'est avéré que la contrainte sur les cordons supérieurs a été largement dépassée. Celle-ci a en effet atteint une valeur de 971 MPa alors que la limite d'élasticité n'est que de 750 MPa.

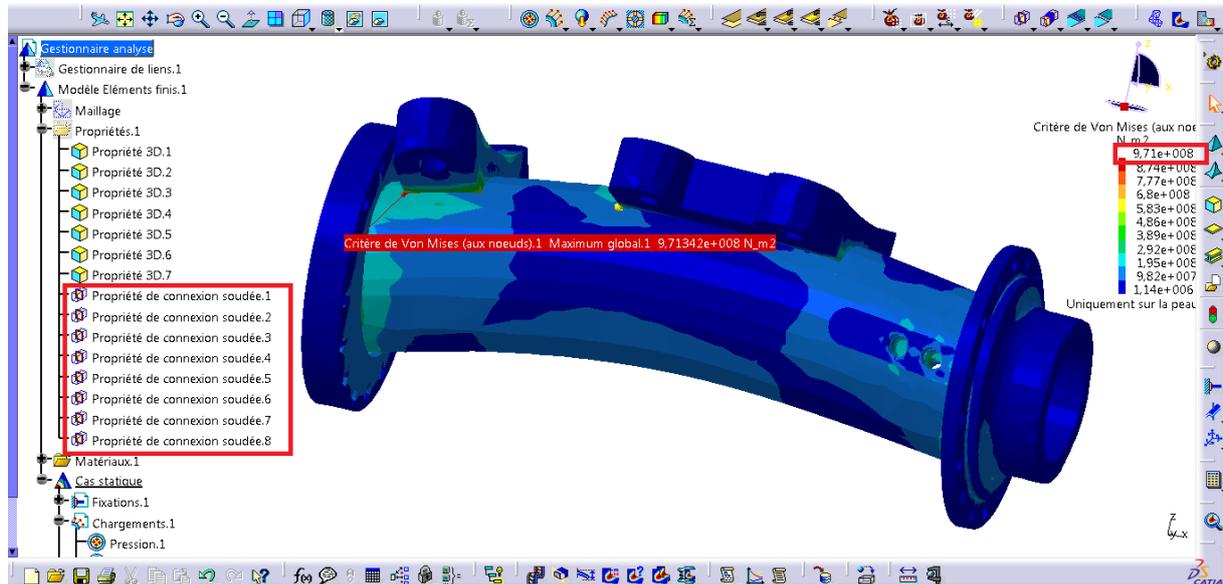


Figure IV. 6: Contraint de Von Mises avec des cordons de 3mm.

Après des essais répétés avec des cordons de 4 mm et 5mm. Nous avons trouvé que les cordons de 6mm résistent largement aux sollicitations.

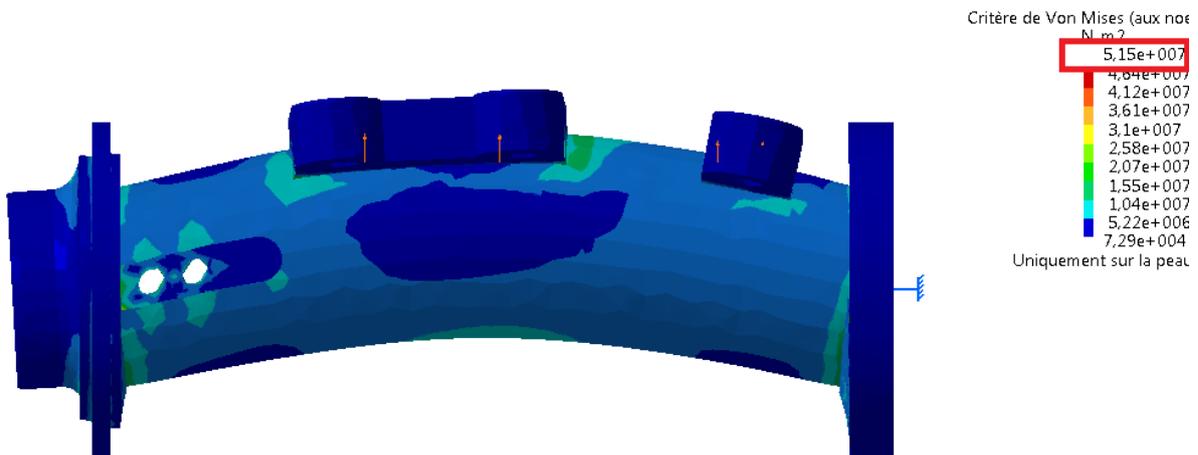


Figure IV. 7: Contraintes maximales de 51.5 MPa avec des cordons de 6mm.

IV.2.3 Simulation du nouveau pont

La charge appliquée sur le nouveau pont est de 4500 Kg par coté. En convertissant cette charge en force ($F = m \times g$), nous obtenons $4500 \times 9.8 = 44100$ N. Mais comme nous le savons tous cette force n'est pas appliquée d'une manière ponctuelle sur les supports de suspensions, donc nous devons calculer la surface de celle-là afin de pouvoir appliquer une pression.

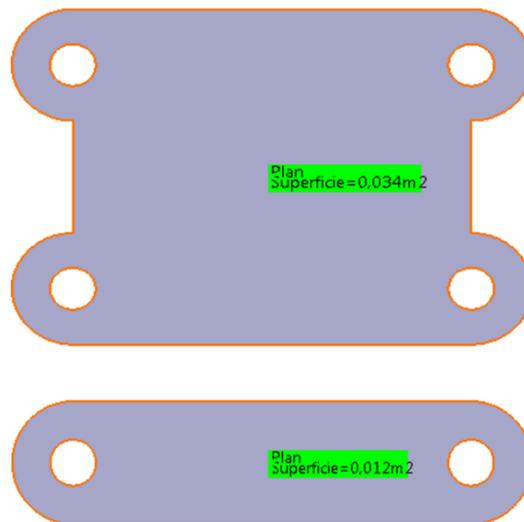


Figure IV.8: Surface des deux supports de suspension.

$$P = \frac{F}{S} \quad \frac{44100}{S_1+S_2} = \frac{44100}{0.034+0.012} = 958695.65 \text{ N/m}^2$$

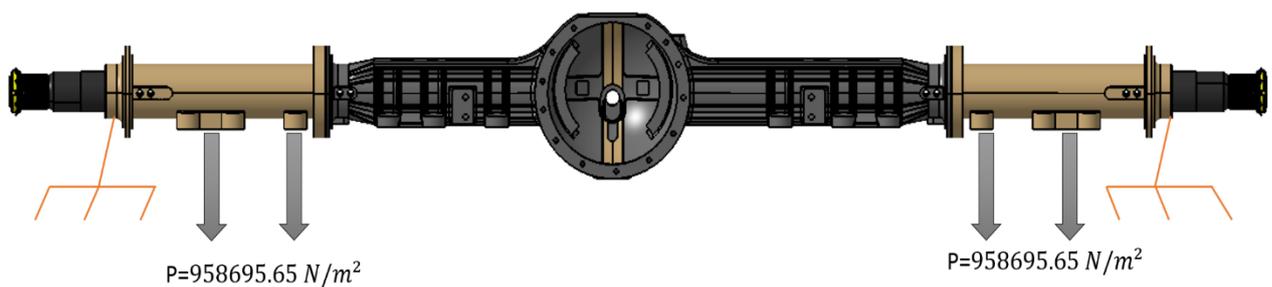


Figure IV.9: Répartition des charges sur le nouveau pont.

a) Maillage du carter de pont

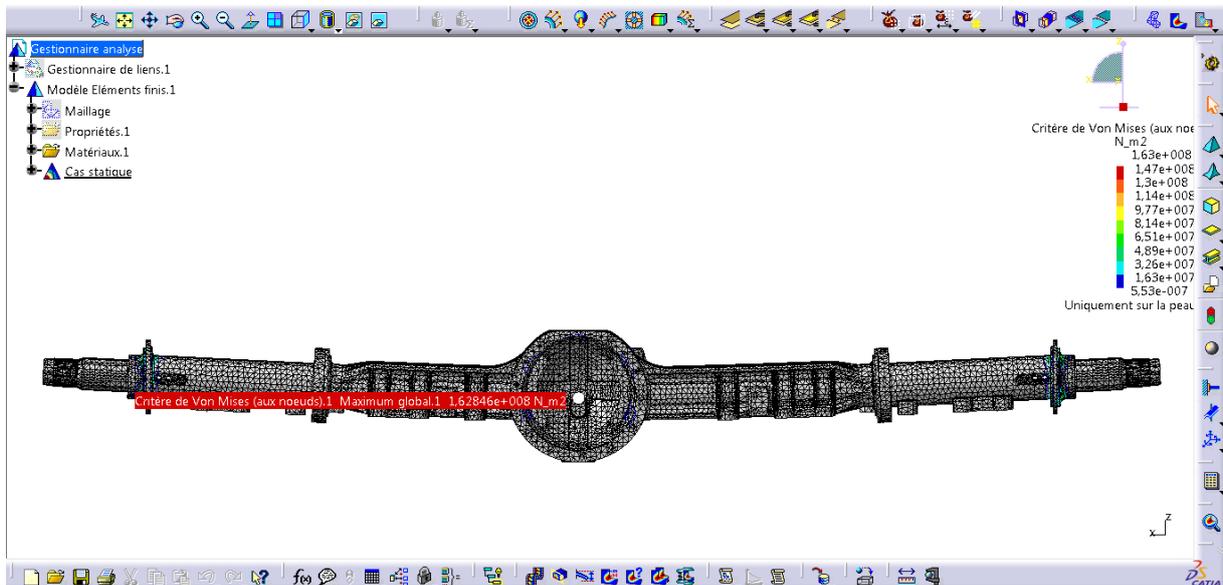


Figure IV.10: maillage du carter de pont.

b) Résultats de la simulation

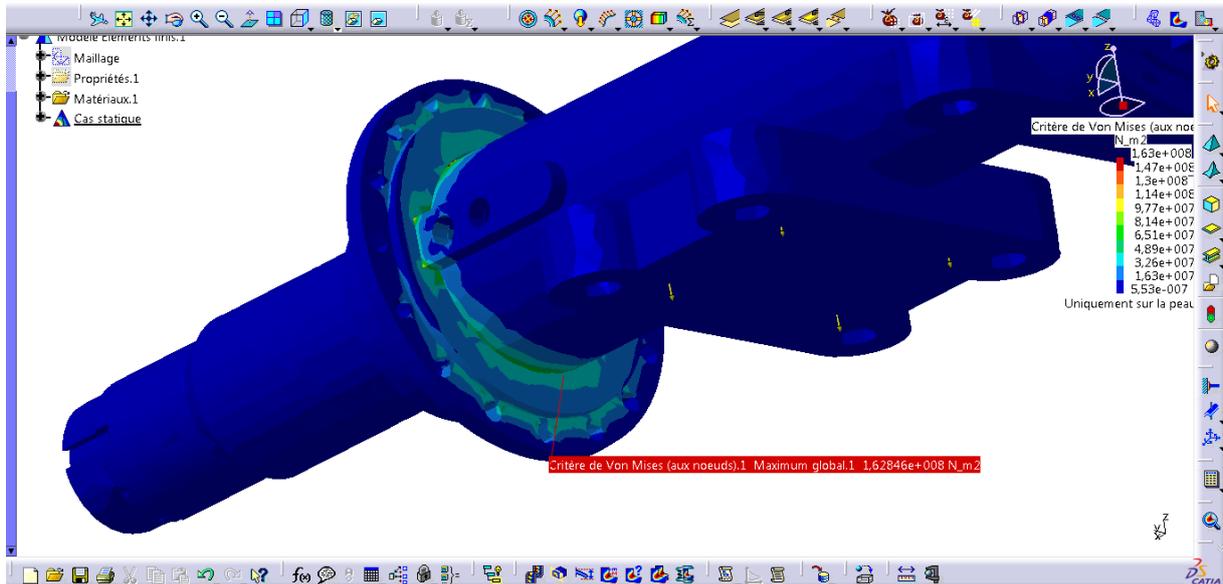


Figure IV.11: La contrainte de Von Mises.

La contrainte de Von Mises vaut 162.84 MPa ; Celle-ci est bien inférieure à la limite d'élasticité de l'acier qui est de 750 MPa. Notre pont résistera donc largement aux contraintes appliquées.

c) Détermination de la valeur de la flèche

La valeur de la flèche a été déterminée automatiquement par le logiciel CATIA. Elle vaut 15mm.

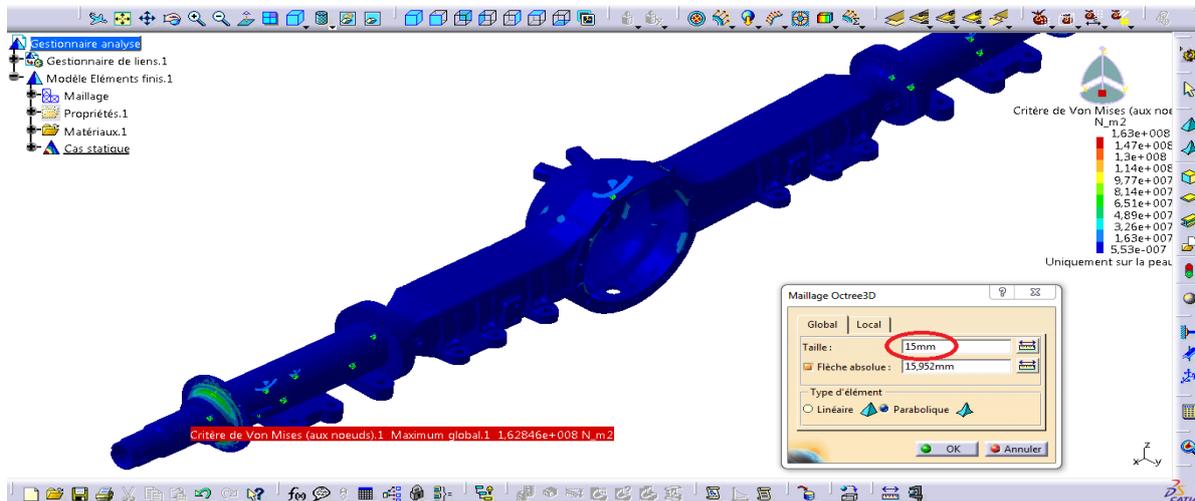
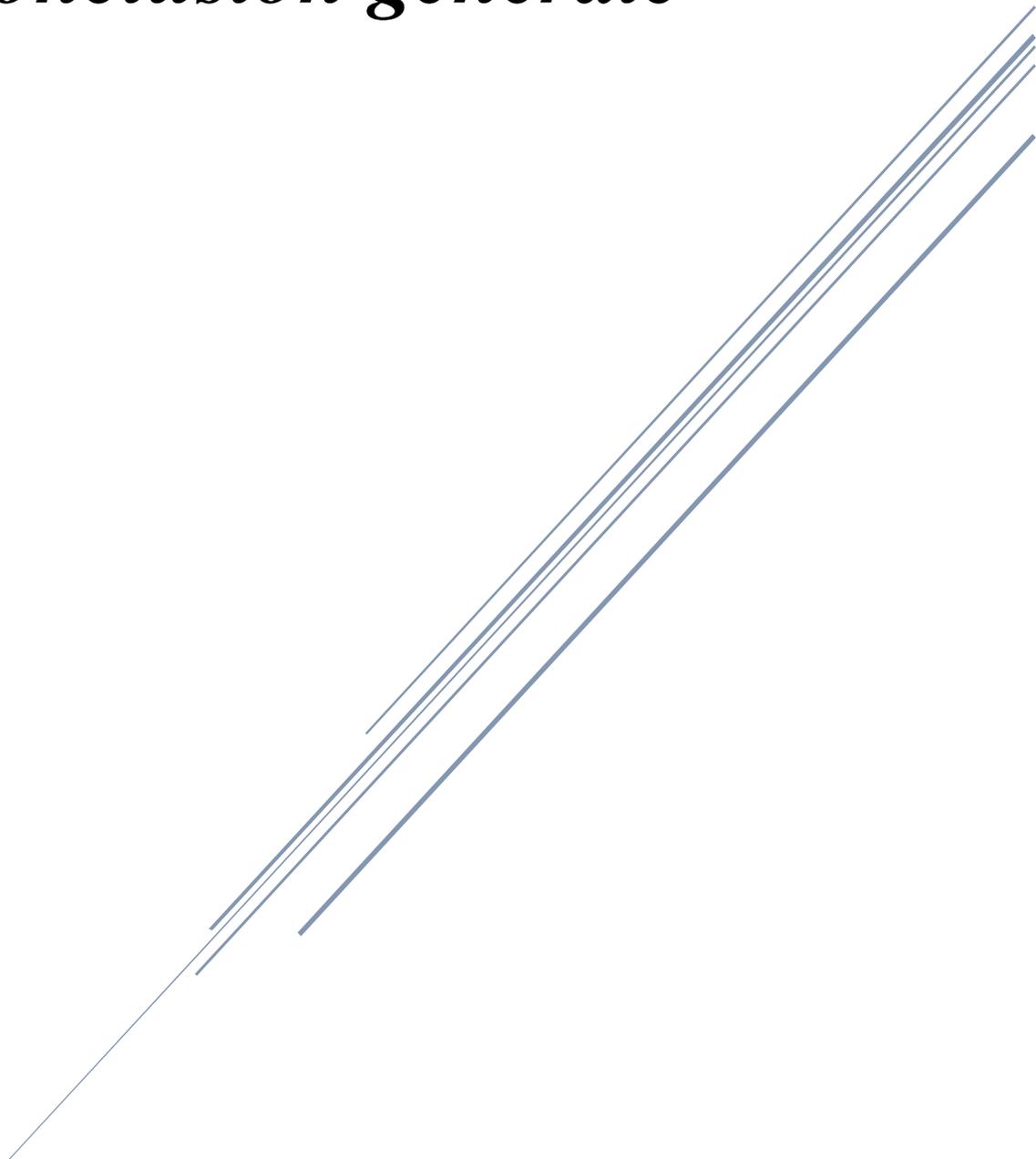


Figure IV.12: La valeur de la flèche.

IV.3 Conclusion

Nous avons procédé à des simulations numériques sur les différentes pièces modifiées du pont. Ce qui nous a permis d'identifier les zones critiques. Nous avons fait ressortir les contraintes de Von Mises, il nous est apparu donc que la solution préconisée est réalisable. Nous proposons donc cette solution à la SNVI.

Conclusion générale



Conclusion générale

Ce travail nous a permis d'envisager une solution à un problème factuel : l'élargissement d'un pont d'un véhicule SNVI pour une optimisation de son utilisation dans un aéroport. En parallèle nous avons pu, déployer nos compétences et connaissances théoriques ou pratiques acquises au cours de notre formation pour aboutir à ce travail.

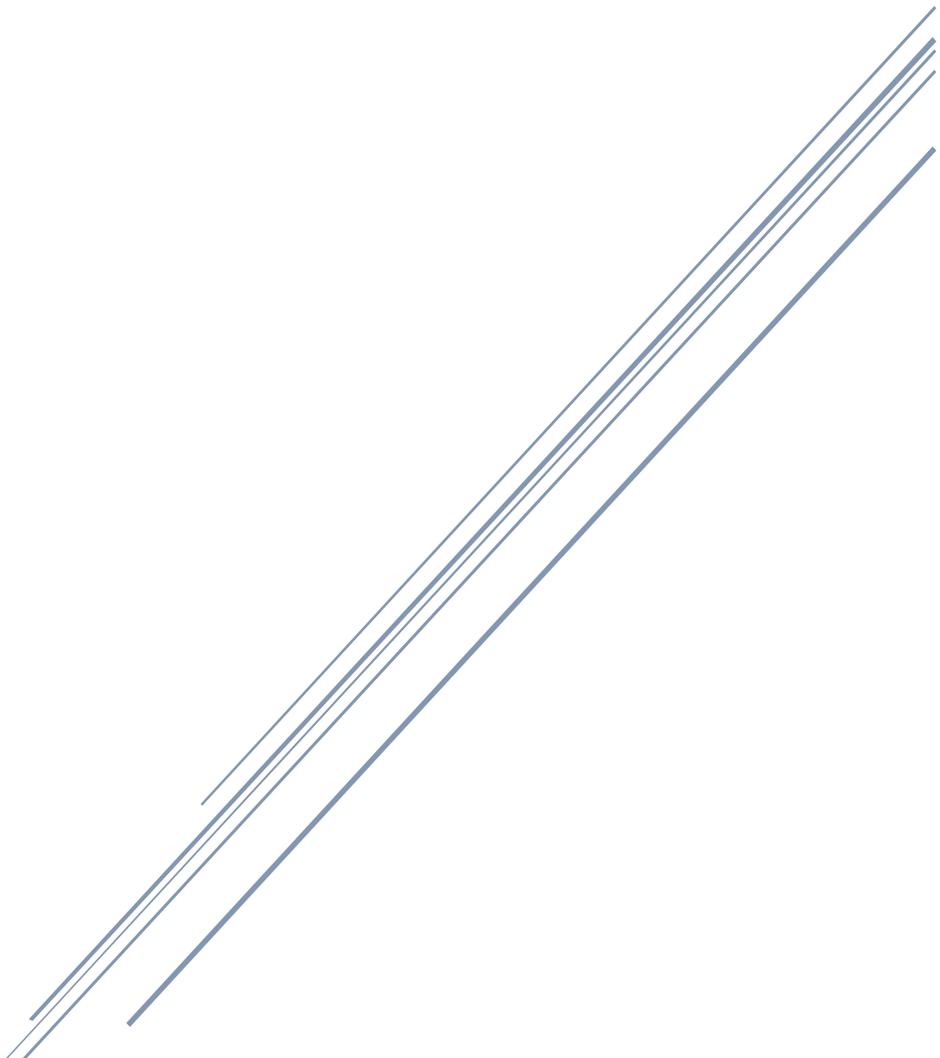
L'étude bibliographique sur les ponts nous a permis d'approfondir nos compétences sur les ponts, leurs caractéristiques et leurs fonctionnements. Cette vision nous a permis de nous focaliser sur les modifications à introduire pour une meilleure utilisation. Ensuite nous avons pu choisir la meilleure option en se basant sur l'aspect pratique et économique de la chose. Cette approche nous a permis de concevoir le nouveau pont.

Il fallait, évidemment, faire une simulation numérique pour vérifier la faisabilité de cette solution. Étape nécessaire pour avaliser le projet. Donc, des calculs éléments finis en utilisant le logiciel de conception et d'analyse de structure CATIA a été effectué sur le nouvel ensemble de pont. Les résultats que nous avons obtenus ont permis de déterminer les contraintes de Von Mises afin d'évaluer la résistance du mécanisme conçu. D'après notre simulation, la zone la plus critique du modèle se situe aux extrémités des rallonges.

Ce travail nous a aussi permis de nous familiariser avec le logiciel CATIA et de connaître les difficultés rencontrées lors de la modélisation. Ainsi nous avons pu constater que ce logiciel est capable de simuler les essais mécaniques avec une précision relativement proche de la réalité.

Nous signalerons que nous n'avons pas pu, par manque de temps, pousser plus loin certaines simulations et études. On peut dire que la solution technologique est réalisable dans le cas statique. Après la mise en marche du produit, ce dernier va subir des vibrations qui vont augmenter les charges et dans ce cas, on devra faire une nouvelle analyse de type dynamique en prenant en considération ces vibrations, la vitesse, l'accélération de l'autobus, un essai de fatigue doit être fait afin que la solution soit optimale. Travail qui gagnera à être fait, plus tard, en complément à notre travail.

Références bibliographiques



Références bibliographiques

- [SNVI17] Site officiel de la SNVI, snvigroupe.dz
- [GLE71] GLEASON-"Conception des engrenages de pont moteur sur les véhicules de tourisme" -FENWICK, 8, Rue de Rocroy. Paris(10), Edition 1971.p.3-16.
- [DUY14] Pierre DUYSINX -" Partim technologie des essieux" - Ingénierie des véhicules terrestres, Université de Liège, 2014.
- [COC03] Corneille COMBE,- " Resource engrenage"-séminaire d'Albi, France, 2003.
- [BOU16] M.BOUDAHROUNE -" Analyse statique et cinématique d'un réducteur épicycloïdal plan"-mémoire de master, Université MOULOUD MAMMERI, Tizi-Ouzou, 2016.
- [TEI12] Joël TEIXEIRA Alves -" Définition analytique des surfaces de denture et comportement sous charge des engrenages spiro-conique" -Thèse de doctorat,INSA,lyon,2012.
- [WAN14] Jin WANG -" contribution à l'analyse du comportement dynamique d'engrenages spiro- conique" - Thèse de doctorat, INSA, Lyon, 2014.
- [HEN07] George HENRIOT-"engrenages : conception, fabrication, mise en œuvre"-Dunod, paris, ISBN 978-2-10-050857-0,8^eédition, 2007.p271-273.
- [HEN99] Georges HENRIOT-" engrenages concourants" technique de l'ingénieur traité génie mécanique .vol BM5 6 22,1999.p.8.
- [MIT] Ministère des transports -" véhicules poids lourds" - ENACTA, version1.0. p.251-256.
- [HAI11]Saïd HAMADOUCHE, Lyes IMARAZENE - " Amélioration des caractéristique mécanique et microstructurales du différentiel du camion K120 par traitement thermique " -Mémoire d'ingénieur, Université MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, 2011.
- [DMM81] M.DESBOIS, L.MARIE, J-P.MARTIN -"les organes de transmission et d'utilisation" -les Edition FOUCHER, Paris ,1981.p.61.
- [BER05] L.BERVILLER -"conception et fabrication intégrées de pièces Net Shape. Application aux différentiels forgés" - Thèse de doctorat, ENSAM, Metz, 2005.

[BAU06] Cyrille BAUDOUN - "contribution à la qualification d'un processus de fabrication par une approche dimensionnelle : application au pignon conique forgé dit (net Shape)" - Thèse de doctorat, sciences de l'ingénieur, Arts et métiers, paris tech, 2006.

[HAM17] Bruce ANGLADE, Hélène HORSIN, MOLINARO Sylvain LAVERNHE - Technique de réalisation de châssis mécano-soudé : le soudage, Ecole normale supérieure, Paris Saclay, 2017.

[RENAULT95] Acier de construction : produit longs, Norme standard,02.21.4001/F RENAULT VI, 1995.

[RENAULT94] Fonte pour pièces de véhicule - Norme standard,02.21.4001/F,1994.

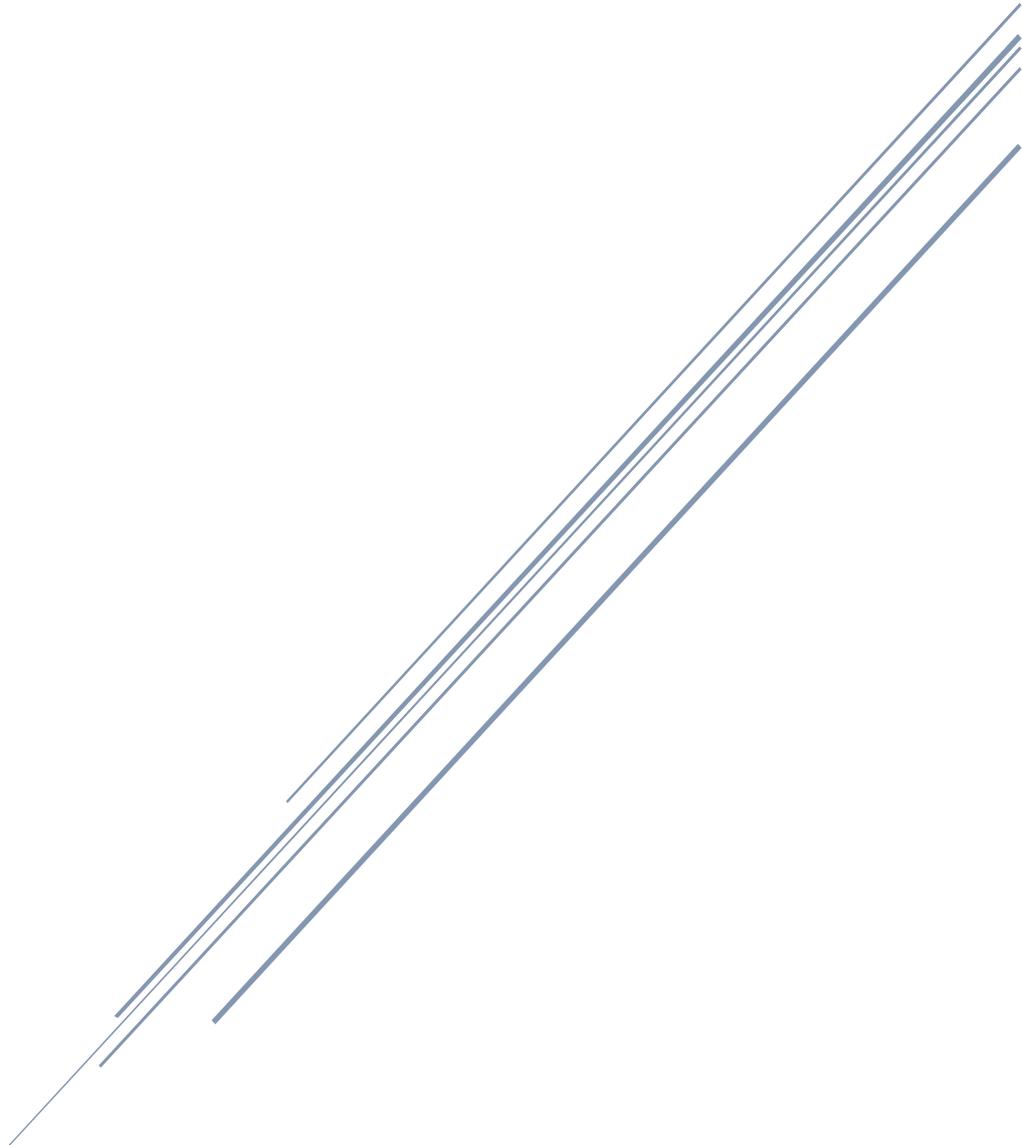
Webographie

[W1] Wikipédia /wiki/poids_total_authorized_in_charge

[w2] Dassault système www.3ds.com

[w3] AUBERT Duval www.aubertduval.fr

Annexes



Extrait du journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire (JORADP)**Décret exécutif n° 04-381 du 15 Chaoual 1425 correspondant au 28 novembre 2004 fixant les règles de la circulation routière :**

Poids à vide d'un véhicule : poids du véhicule en ordre de marche comprenant le châssis avec réservoir à carburant ou les gazogènes remplis, la carrosserie, les équipements normaux, les roues et les pneus de rechange et l'outillage courant normalement livré avec le véhicule

Art. 95 : Lorsqu'il y a lieu de transporter, déplacer ou faire circuler, soit des objets indivisibles, soit des appareils agricoles ou de travaux publics, soit des véhicules automobiles ou remorqués destinés à transporter des objets indivisibles, dont les dimensions ou le poids excèdent les limites prévues par la législation en vigueur, les conditions de leur transport, de leur déplacement ou de leur circulation, sont fixées par le wali du lieu de départ qui a, sous réserve des dispositions de l'alinéa ci-après, délégation permanente du ministre des Transports, du ministre de l'Intérieur et des collectivités locales et du ministre des Travaux publics, pour prendre des arrêtés d'autorisation valable pour l'ensemble du parcours, après avis des directeurs des travaux publics des wilayas traversées. Ces arrêtés ne peuvent accorder l'autorisation de circuler que pour un seul voyage. Toutefois, dans le cas de transports dont la nature présente, du point de vue de l'économie générale, un intérêt réel, des autorisations valables pour plusieurs voyages peuvent être accordées dans les conditions prévues au précédent alinéa. Lorsque ces autorisations concernent un transport ne satisfaisant pas aux prescriptions des articles 106 et 108 du présent décret, le ministre des Transports, le ministre de l'Intérieur et des collectivités locales et le ministre des Travaux publics déterminent les conditions selon lesquelles ces autorisations peuvent être accordées.

Art. 106 : L'essieu le plus chargé d'un véhicule automobile ou d'un ensemble de véhicules ne doit pas supporter une charge supérieure à 13 tonnes.

Art. 107 : Pour tout véhicule automobile ou remorque, le poids total en charge ne doit pas dépasser 5 tonnes par mètre linéaire de distance entre les deux essieux extrêmes.

Art. 109 : La longueur des véhicules de transports de voyageurs ne peut dépasser 12 mètres, sous réserve que le porte-à-faux arrière ne dépasse pas les six dixièmes de l'empattement ni la longueur absolue de 3,50 mètres ; ces longueurs s'entendent non compris les perches et dispositifs enrouleurs de cordes, s'il s'agit de trolleybus.

Art. 112 : Sous réserve des dispositions des articles 95 à 97 du présent décret : La largeur totale des véhicules, mesurée toutes saillies comprises dans une section transversale quelconque, ne doit pas dépasser 2,50 mètres sauf dans les cas et conditions où des saillies excédant ce gabarit sont expressément autorisées par arrêté du ministre des Transports.

Art. 170 : Dans le cas de véhicules dont les dimensions ou le poids excèdent les limites réglementaires et qui sont visés à l'article 95 du présent décret, la carte grise doit porter une barre transversale rouge pour indiquer que le véhicule a fait l'objet d'une réception, par le service des mines de la wilaya, dans les conditions spéciales prévues à l'article 186 ci-dessous, et qu'il ne peut circuler que sous couvert d'une autorisation du wali. Toutefois, pour les véhicules dont seul le poids total autorisé en charge ou le poids total roulant autorisé, à l'exclusion du poids à vide et des dimensions, excède les limites réglementaires, la carte grise barrée de rouge peut porter une mention spéciale permettant la circulation du véhicule sans autorisation du wali dans les limites fixées à l'article 101 du présent décret.

Annexe 2

AnalysisArbre

MAILLAGE :

Entité	Nombre
Noeuds	198772
Eléments	125863

TYPES D'ELEMENTS :

Connectivité	Statistique
TE10	125863 (100,00%)

QUALITE DES ELEMENTS :

Critère	Bon	Médiocre	Mauvais	Plus mauvais	Moyenne
Distorsion	98781 (78,48%)	23641 (18,78)	3441 (2,73%)	56,859	28,215
Jacobien - Nœuds	125863 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,301	0,966
Stretch	12585 (100,00%)	4 (0,00%)	0 (0,00%)	0,291	0,622
Rapport de longueur	125860 (100,00%)	3 (0,00%)	0 (0,00)	5,638	1,913

Matériaux.1

Matériau :	45SCD6
Module de Young	2,2e+011N_m2
Coefficient de Poisson	0,285
Masse volumique	7850kg_m3
Coefficient d'expansion thermique	0_Kdeg
Limite élastique	1,45e+009N_m2

Cas statique

Conditions aux limites

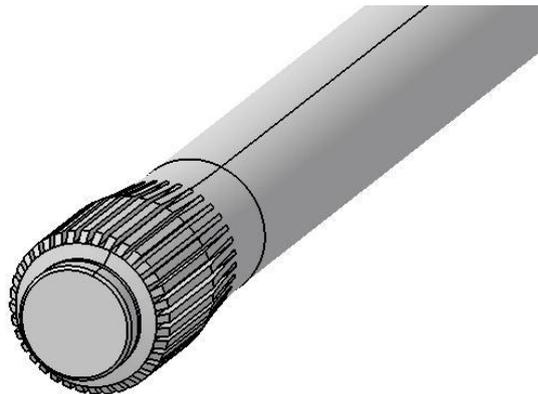


Figure 1

Calcul de la STRUCTURE

Nombre de noeuds : 198772
 Nombre d'éléments : 125863
 Nombre de D.D.L. : 596316
 Nombre de relations de contact : 0
 Nombre de relations cinématiques : 0

Tétraèdre parabolique : 125863

Nom: ComputedRestraint.1

Nombre de fixations ponctuelles : 7281

Nom: Chargements.1

Résultante des forces appliquées :

$F_x = 4.262e-006$ N

$F_y = 1.083e-008$ N

$F_z = -2.053e-005$ N

$M_x = -3.463e-005$ Nxm

$M_y = -1.250e+003$ Nxm

$M_z = -7.307e-006$ Nxm

Calcul de la matrice de RIGIDITE

Nombre de lignes	:	596316
Nombre de coefficients	:	23561511
Nombre de blocs	:	48
Nombre maximum de coefficients par blocs	:	500000
Taille de la matrice	:	271.91 Mb

Calcul des SINGULARITES

Fixation: ComputedRestraint.1

Nombre de singularités locales	:	0
Nombre de singularités en translation	:	0
Nombre de singularités en rotation	:	0
Type de contraintes générées	:	MPC

Calcul des CONTRAINTES

Fixation: ComputedRestraint.1

Nombre de contraintes	: 7281
Nombre de coefficients	: 0
Nombre de contraintes factorisées	: 7281
Nombre de coefficients	: 0
Nombre de contraintes vérifiées a posteriori	: 0

Calcul de la FACTORISEE

Méthode	: SPARSE
Nombre de degrés factorisés	: 589035
Nombre de super-noeuds	: 17176
Nombre de termes du canevas compresse	: 3449994
Nombre de coefficients	: 306481377
Largeur de front maximale	: 3498
Taille de front maximale	: 6119751
Taille de la factorisée (Mb)	: 2338 . 27
Nombre de blocs	: 307
Nombre de Mflops pour la factorisation	: 3 . 510e+005
Nombre de Mflops pour la résolution	: 1 . 229e+003
Pivot relatif minimum	: 9 . 896e-005

Résolution par la méthode DIRECTE

Nom: StaticSet.1

Fixation: RestraintSet.1

Chargement: LoadSet.1

Energie de déformation : 4.824e+001 J

Equilibre

Composantes	Forces Appliquées	Réactions	Résidus	Erreur Relative
Fx (N)	4.2617e-006	-4.5508e-006	-2.8907e-007	2.1379e-010
Fy (N)	1.0827e-008	-2.1254e-008	-1.0427e-008	7.7118e-012
Fz (N)	-2.0534e-005	2.0385e-005	-1.4853e-007	1.0985e-010
Mx (Nxm)	-3.4631e-005	3.4551e-005	-7.9795e-008	3.3936e-011
My (Nxm)	-1.2500e+003	1.2500e+003	4.2010e-009	1.7866e-012
Mz (Nxm)	-7.3068e-006	7.7425e-006	4.3572e-007	1.8531e-010

Solution statique.1 - Maillage Déformé.2

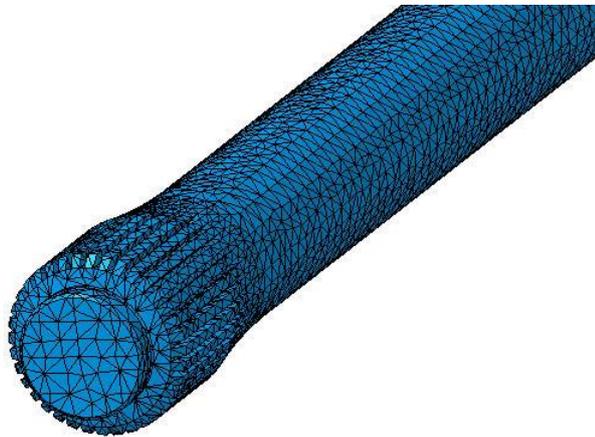


Figure 2

Affichage sur la surface déformée ---- Uniquement sur la peau ---- Sur tout le modèle

Solution statique.1 - Critère de Von Mises (aux noeuds).2

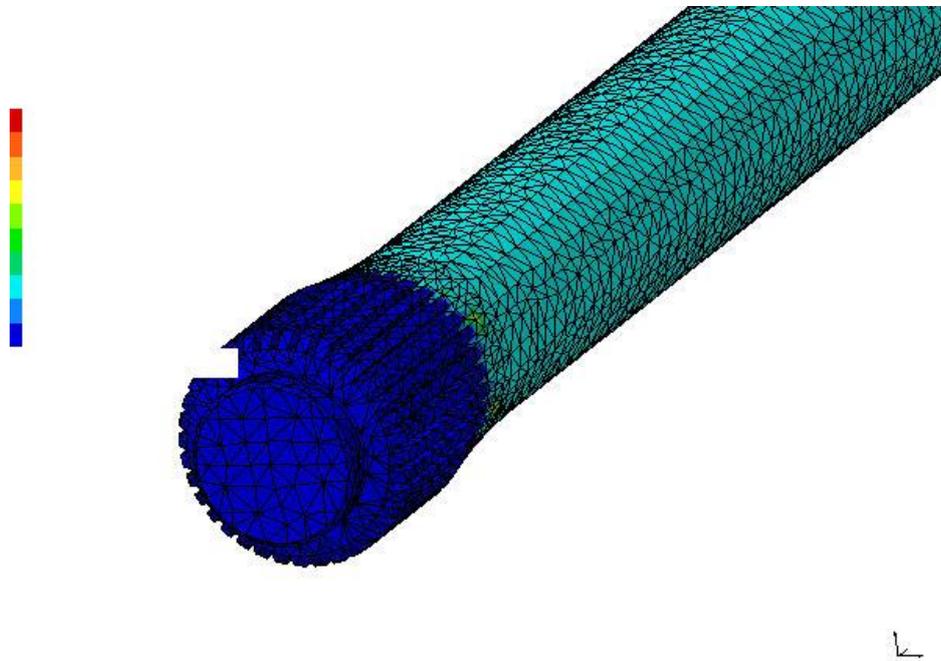


Figure 3

Eléments 3D : : Composants : : Toutes

Affichage sur la surface déformée ---- Uniquement sur la
peau ---- Sur tout le modèle

Capteurs Globaux

Nom du Capteur	Valeur du Capteur
énergie	48,241J

Annexe 3

Analyse Rallonges

MAILLAGE :

Entité	Nombre
Noeuds	39137
Eléments	22738

TYPES D'ELEMENTS :

Connectivité	Statistique
SPIDER	1994 (8,77%)
TE10	20744 (91,23%)

QUALITE DES ELEMENTS :

Critère	Bon	Médiocre	Mauvais	Plus mauvais	Moyenne
Distorsion	13639 (65,75%)	6278 (30,26%)	827 (3,99%)	57,590	30,637
Jacobien - Nœuds	20744 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00)	0,301	0,902
Stretch	20735 (99,96%)	9 (0,04%)	0 (0,00%)	0,240	0,609
Rapport de longueur	20735 (99,96%)	9 (0,04%)	0 (0,00%)	5,580	2,032

Matériaux.1

Matériau :	34CrMo6
Module de Young	2,05e+011N_m2
Coefficient de Poisson	0,3
Masse volumique	7800kg_m3
Coefficient d'expansion thermique	0_Kdeg
Limite élastique	7,5e+008N_m2

Cas statique

Conditions aux limites

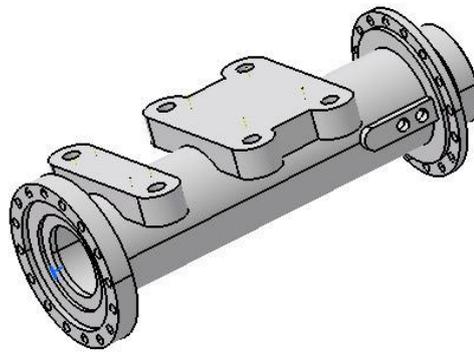


Figure 1

Calcul de la STRUCTURE

Nombre de noeuds	:	39137
Nombre d'éléments	:	22738
Nombre de D.D.L.	:	117411
Nombre de relations de contact	:	0
Nombre de relations cinématiques	:	5982
Nombre de coefficients	:	87891

Tétraèdre parabolique : 20744

Liaison conforme solide-solide : 1994

Nom: ComputedRestraint.1

Nombre de fixations ponctuelles : 4182

Nom: Chargements.1

Résultante des forces appliquées :

$F_x = -1.244e-012$ N

$F_y = 3.036e-012$ N

$F_z = 4.036e+004$ N

$M_x = 8.204e-001$ Nxm

$M_y = -1.945e+004$ Nxm

$M_z = 1.337e-012$ Nxm

Calcul de la matrice de RIGIDITE

Nombre de lignes : 117411

Nombre de coefficients : 4213110

Nombre de blocs : 9

Nombre maximum de coefficients par blocs : 499994

Taille de la matrice : 48.66 Mb

Calcul des SINGULARITES

Fixation: ComputedRestraint.1

Nombre de singularités locales : 0

Nombre de singularités en translation : 0

Nombre de singularités en rotation : 0

Type de contraintes générées : MPC

Calcul des CONTRAINTES

Fixation: ComputedRestraint.1

Nombre de contraintes	:	10164
Nombre de coefficients	:	0
Nombre de contraintes factorisées	:	10164
Nombre de coefficients	:	100992
Nombre de contraintes vérifiées a posteriori	:	0

Calcul de la FACTORISEE

Méthode	:	SPARSE
Nombre de degrés factorisés	:	107247
Nombre de super-noeuds	:	6470
Nombre de termes du canevas compresse	:	814164
Nombre de coefficients	:	35276970
Largeur de front maximale	:	2388
Taille de front maximale	:	2852466
Taille de la factorisée (Mb)	:	269 . 142
Nombre de blocs	:	36
Nombre de Mflops pour la factorisation	:	2 . 628e+004
Nombre de Mflops pour la résolution	:	1 . 416e+002
Pivot relatif minimum	:	5 . 576e-002

Résolution par la méthode DIRECTE

Nom: StaticSet.1

Fixation: RestraintSet.1

Chargement: LoadSet.1

Energie de déformation : 4.917e-001 J

Equilibre

Composantes	Forces Appliquées	Réactions	Résidus	Erreur Relative
Fx (N)	-1.2438e-012	-1.5930e-009	-1.5943e-009	1.2332e-012
Fy (N)	3.0360e-012	2.4859e-010	2.5163e-010	1.9464e-013
Fz (N)	4.0358e+004	-4.0358e+004	-5.8862e-009	4.5531e-012
Mx (Nxm)	8.2044e-001	-8.2044e-001	-2.2359e-010	2.1778e-013
My (Nxm)	-1.9454e+004	1.9454e+004	2.7212e-009	2.6505e-012
Mz (Nxm)	1.3367e-012	1.3686e-010	1.3820e-010	1.3460e-013

Solution statique.1 - Maillage Déformé.2

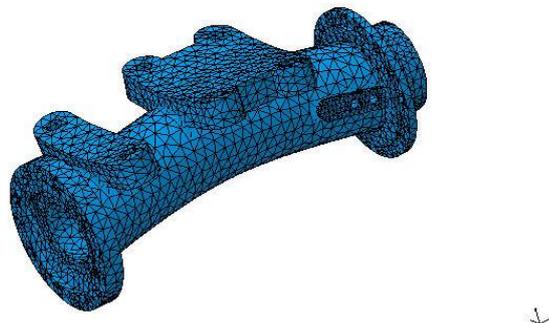


Figure 2

Affichage sur la surface déformée ---- Uniquement sur la peau ---- Sur tout le modèle

Solution statique.1 - Critère de Von Mises (aux noeuds).2

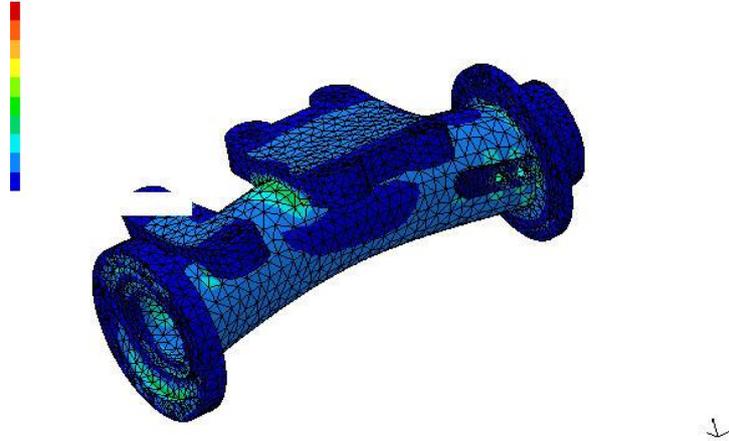


Figure 3

Eléments 1D :: Composants :: Toutes

Eléments 3D :: Composants :: Toutes

Affichage sur la surface déformée ---- Uniquement sur la
peau ---- Sur tout le modèle

Capteurs Globaux

Nom du Capteur	Valeur du Capteur
énergie	0,492J

Annexe 4

Analyse pont

MAILLAGE :

Entité	Nombre
Nœuds	246374
Éléments	137455

TYPES D'ELEMENTS :

Connectivité	Statistique
TE10	133443 (97,08%)
NSBAR	8 (0,01%)
SPIDER	4004 2,91%)

QUALITE DES ELEMENTS :

Critère	Bon	Médiocre	Mauvais	Plus mauvais	Moyenne
Distorsion	77192 (57,85%)	41732 (31,27%)	14519 (10,88%)	65,765	32,446
Jacobien - Nœuds	133443 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0,300	0,866
Stretch	132310 (99,15%)	1133 (0,85%)	0 (0,00%)	0,108	0,579
Rapport de longueur	133113 (99,75%)	322 (0,24%)	8 (0,01%)	11,971	2,162

Matériaux.1

Matériau :	FGS 450-10
Module de Young	1,69e+011N_m2
Coefficient de Poisson	0,275
Masse volumique	7100kg_m3
Coefficient d'expansion thermique	0_Kdeg
Limite élastique	4,5e+008N_m2

Matériau :	34CrMo6
Module de Young	2,05e+011N_m2
Coefficient de Poisson	0,3
Masse volumique	7800kg_m3
Coefficient d'expansion thermique	0_Kdeg
Limite élastique	7,5e+008N_m2

Cas statique

Conditions aux limites

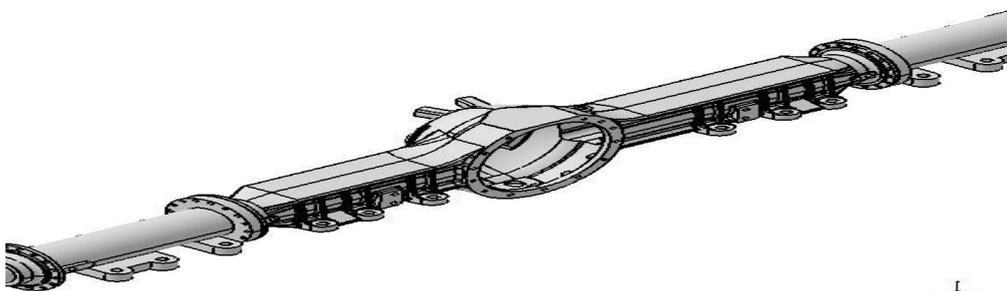


Figure 1

Calcul de la STRUCTURE

Nombre de nœuds : 246374
 Nombre d'éléments : 137455
 Nombre de D.D.L. : 739170
 Nombre de relations de contact : 0
 Nombre de relations cinématiques : 109032
 Nombre de coefficients : 562378

Tétraèdre parabolique : 133443
 Liaison conforme solide-solide : 3988
 Etoile rigide de translation : 16
 Etoile rigide : 8

Nom: ComputedRestraint.1

Nombre de fixations ponctuelles : 4128

Nom: Chargements.1

Résultante des forces appliquées :

$F_x = -4.012e-013 \text{ N}$
 $F_y = -4.274e+003 \text{ N}$
 $F_z = -8.060e+004 \text{ N}$
 $M_x = 3.205e-012 \text{ Nxm}$
 $M_y = -4.359e+004 \text{ Nxm}$
 $M_z = 2.312e+003 \text{ Nxm}$

Calcul de la matrice de RIGIDITE

Nombre de lignes : 739170
 Nombre de coefficients : 26887050
 Nombre de blocs : 54
 Nombre maximum de coefficients par blocs : 499999
 Taille de la matrice : 310.52 Mb

Calcul des SINGULARITES

Fixation: ComputedRestraint.1

Nombre de singularités locales : 0
 Nombre de singularités en translation : 0
 Nombre de singularités en rotation : 0
 Type de contraintes générées : MPC

Calcul des CONTRAINTES

Fixation: ComputedRestraint.1

Nombre de contraintes : 113160
 Nombre de coefficients : 0
 Nombre de contraintes factorisées : 79920
 Nombre de coefficients : 415673
 Nombre de contraintes vérifiées a posteriori : 0

Calcul de la FACTORISEE

Méthode : SPARSE
 Nombre de degrés factorisés : 659250
 Nombre de super-nœuds : 18700
 Nombre de termes du canevas compresse : 3030199
 Nombre de coefficients : 215262534
 Largeur de front maximale : 2994
 Taille de front maximale : 4483515
 Taille de la factorisée (Mb) : 1642 . 32
 Nombre de blocs : 108
 Nombre de Mflops pour la factorisation : 1 . 596e+005
 Nombre de Mflops pour la résolution : 8 . 643e+002
 Pivot relatif minimum : 4 . 043e-005

Résolution par la méthode DIRECTE

Nom: StaticSet.1

Fixation: RestraintSet.1

Chargement: LoadSet.1

Energie de déformation : 4.824e+000 J

Equilibre

Composantes	Forces Appliquées	Réactions	Résidus	Erreur Relative
Fx (N)	-4.0116e-013	4.7853e-009	4.7849e-009	7.5197e-013
Fy (N)	4.2742e+003	4.2742e+003	-8.6474e-008	1.3590e-011
Fz (N)	8.0603e+004	8.0603e+004	-1.8525e-006	2.9113e-010
Mx (Nxm)	3.2050e-012	6.6667e-008	6.6670e-008	4.9543e-012
My (Nxm)	4.3593e+004	4.3593e+004	-6.2775e-006	4.6649e-010
Mz (Nxm)	2.3116e+003	2.3116e+003	1.6456e-007	1.2229e-011

Solution statique.1 - Maillage Deformé.2

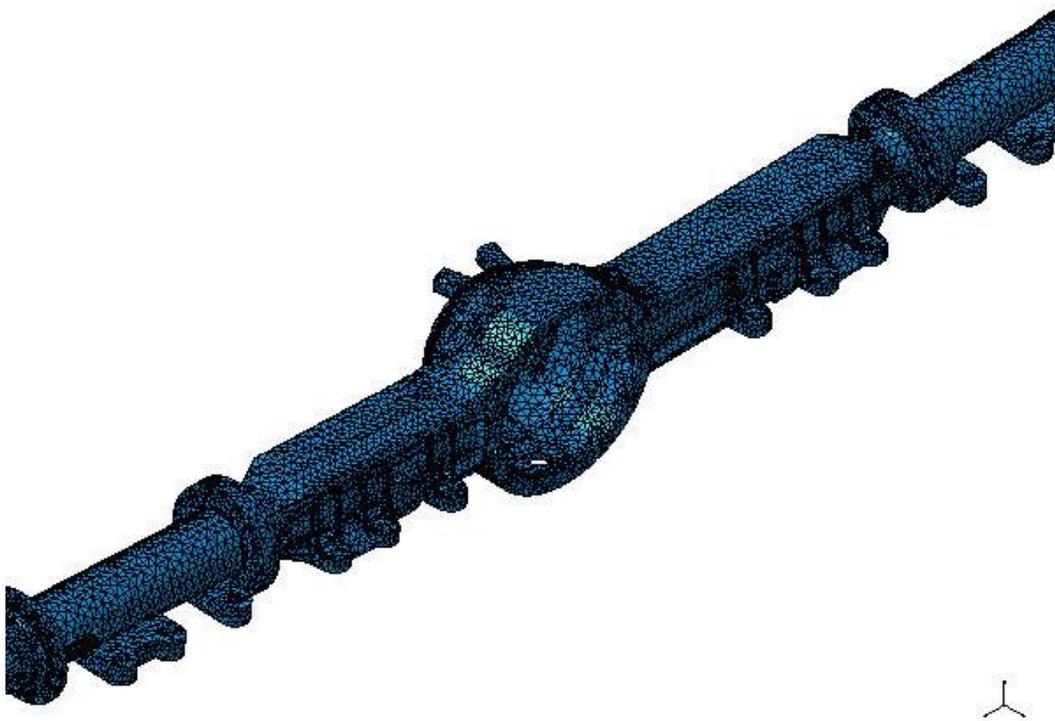


Figure 2

Affichage sur la surface déformée ---- Uniquement sur la
peau ---- Sur tout le modèle

Solution statique.1 - Critère de Von Mises (aux noeuds).2

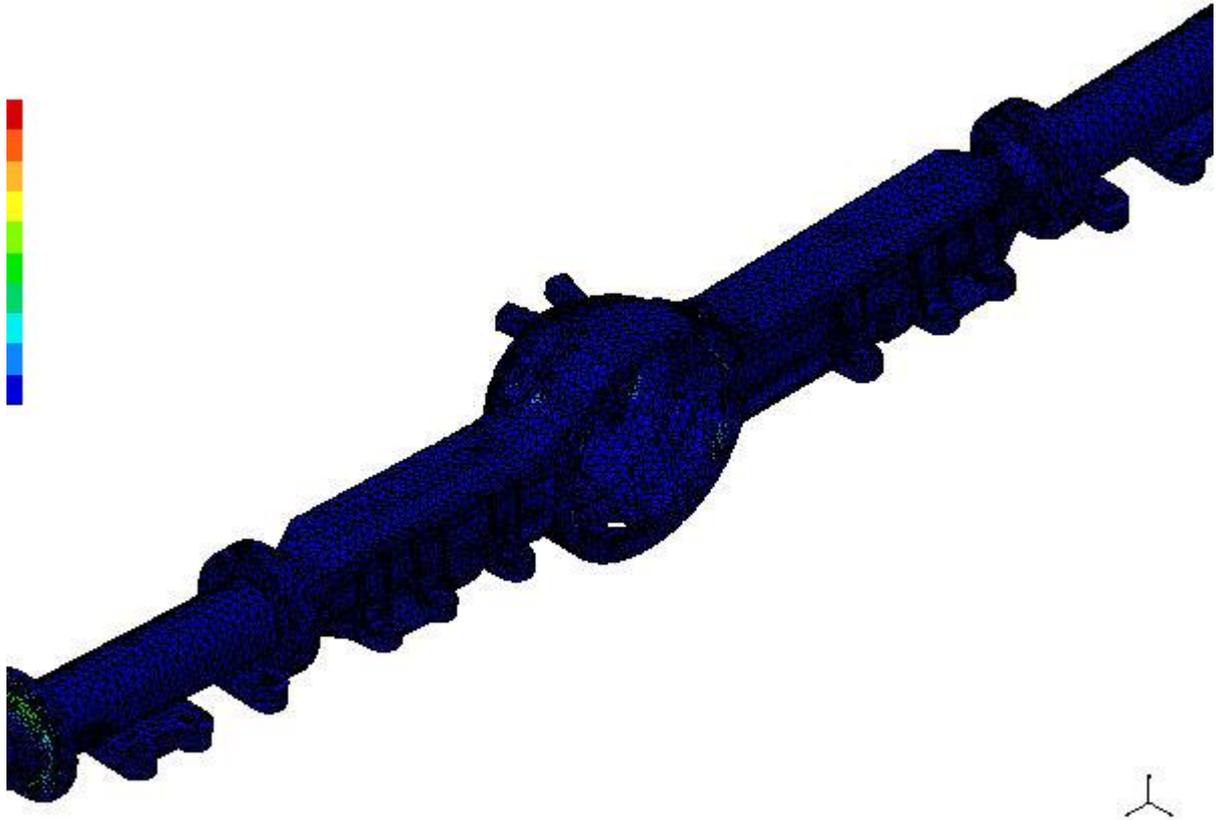


Figure 3

Eléments 1D :: Composants :: Toutes

Eléments 3D :: Composants :: Toutes

Affichage sur la surface déformée ---- Uniquement sur la
peau ---- Sur tout le modèle

Capteurs Globaux

Nom du Capteur	Valeur du Capteur
énergie	4,824J

16 Trous $\phi 12.1$

22.5°

95

A

A

$\phi 210$

$\phi 172$

$\phi 166$

A

$\perp 0.03 A$

6

$\phi 124 H7$

7.5

$\perp 0.03 A$

67.5

$\odot 0.05 B$

R15

42.5

$1 \times 45^\circ$

$91.15 H7$

$\perp 0.03 A$

$\odot 0.05 B$

$\perp 0.02 B$

Coupe A-A

B

CREER PAR:

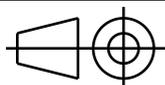
BOUKEZZOULA Med
HADDADI Cylia

DATE:

20/09/2017

TAILLE

A4



EXTREMITE 1

M2 GENIE MECANIQUE

ECHELLE:

1:2

MATERIAU

34CrMo6

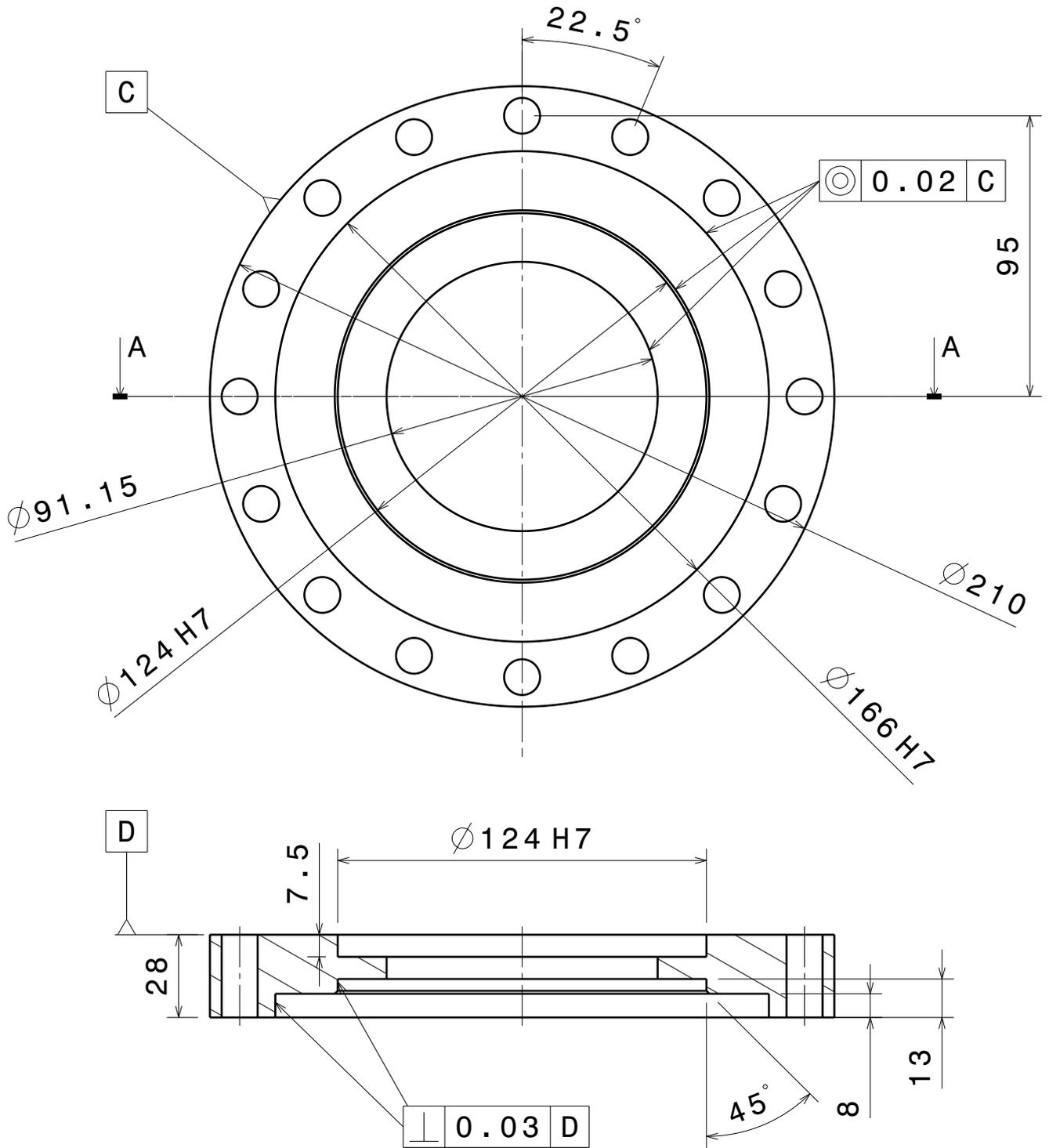
UNIVERSITE

UMMTO

NOMBRE

1/1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-



CREER PAR:

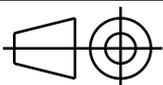
BOUKEZZOULA Med
HADDADI Cylia

DATE:

20/09/2017

TAILLE

A4



EXTREMITE 2

M2 GENIE MECANIQUE

ECHELLE:

1:2

MATERIAU

34CrMo6

UNIVERSITE

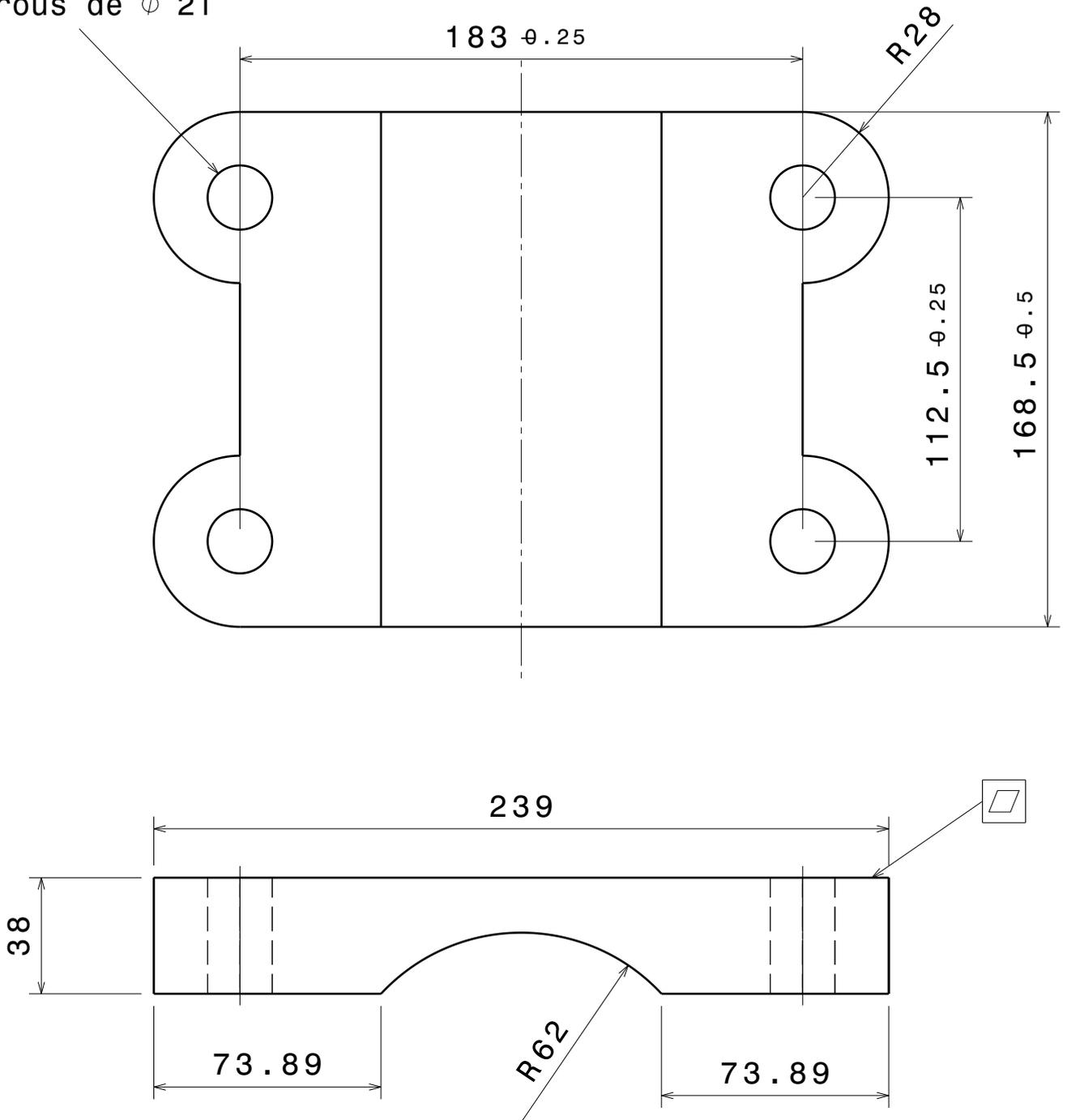
UMMTO

NOMBRE

1/1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

4 Trous de ϕ 21



CREER PAR:

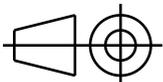
BOUKEZZOULA Med
HADDADI Cylia

DATE:

20/09/2017

TAILLE

A4



GRAND SUPPORT

M2 GENIE MECANIQUE

ECHELLE:

1 : 2

MATERIAU

34CrMo6

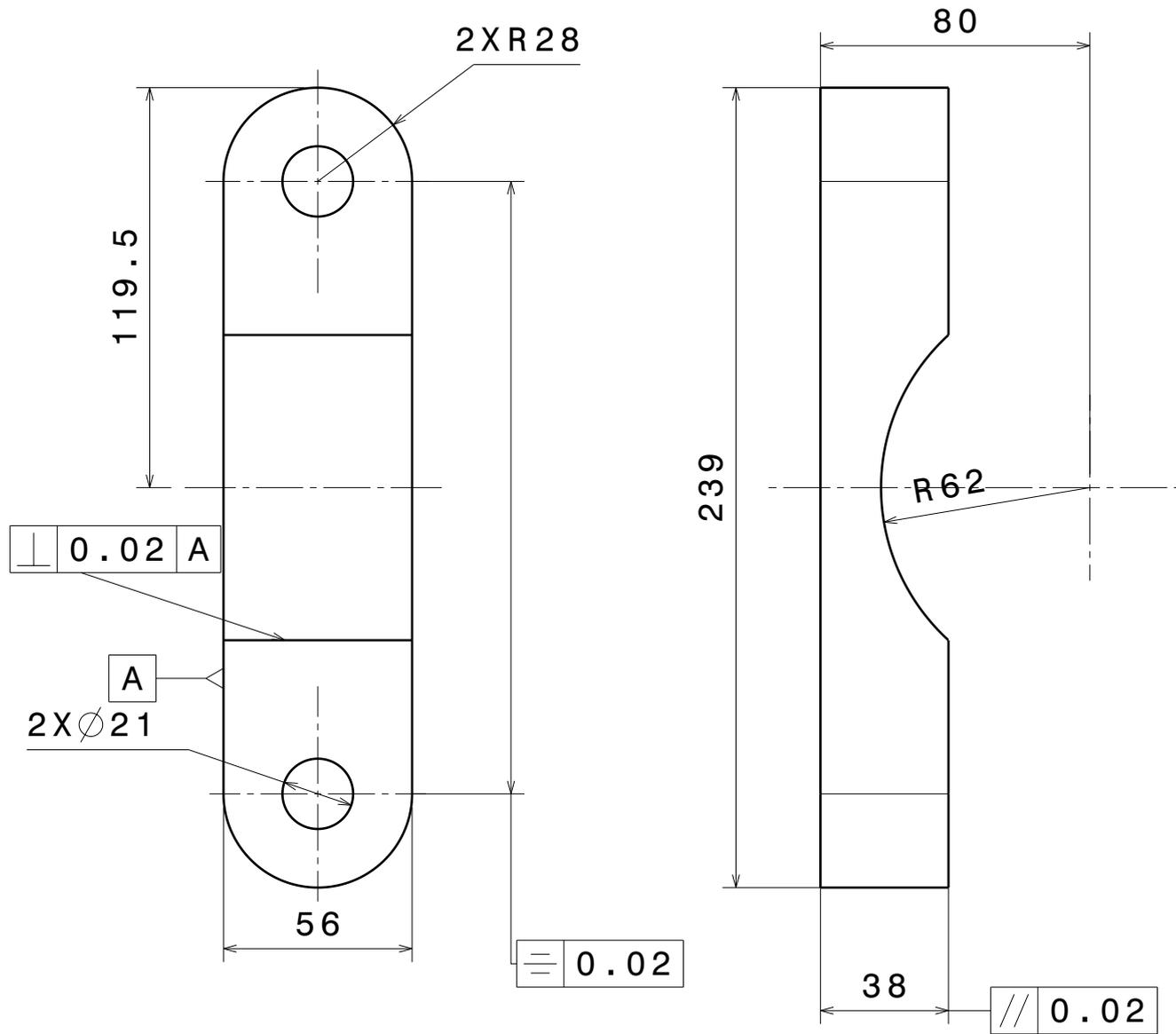
UNIVERSITE

UMMTO

NOMBRE

1 / 1

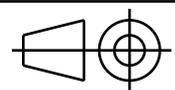
I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-



CREER PAR:
BOUKEZZOULA Med
HADDADI Cylia

DATE:
 20/09/2017

TAILLE
A4



PETIT SUPPORT

M2 GENIE MECANIQUE

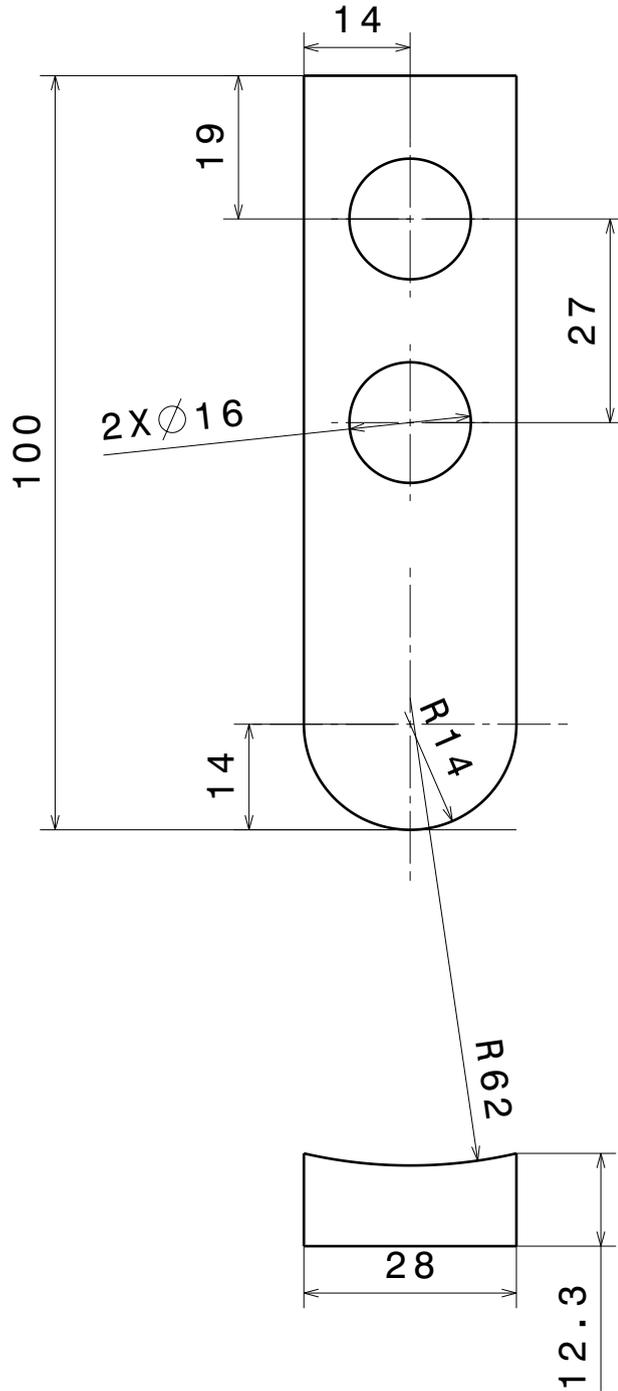
ECHELLE:
1 : 2

MATERIAU
34CrMo6

UNIVERSITE
UMMTO

NOMBRE
1 / 1

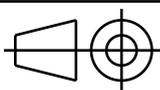
I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-



CREER PAR:
BOUKEZZOULA Med
HADDADI Cylia

DATE:
20/09/2017

TAILLE
A4



PLAQUE

M2 GENIE MECANIQUE

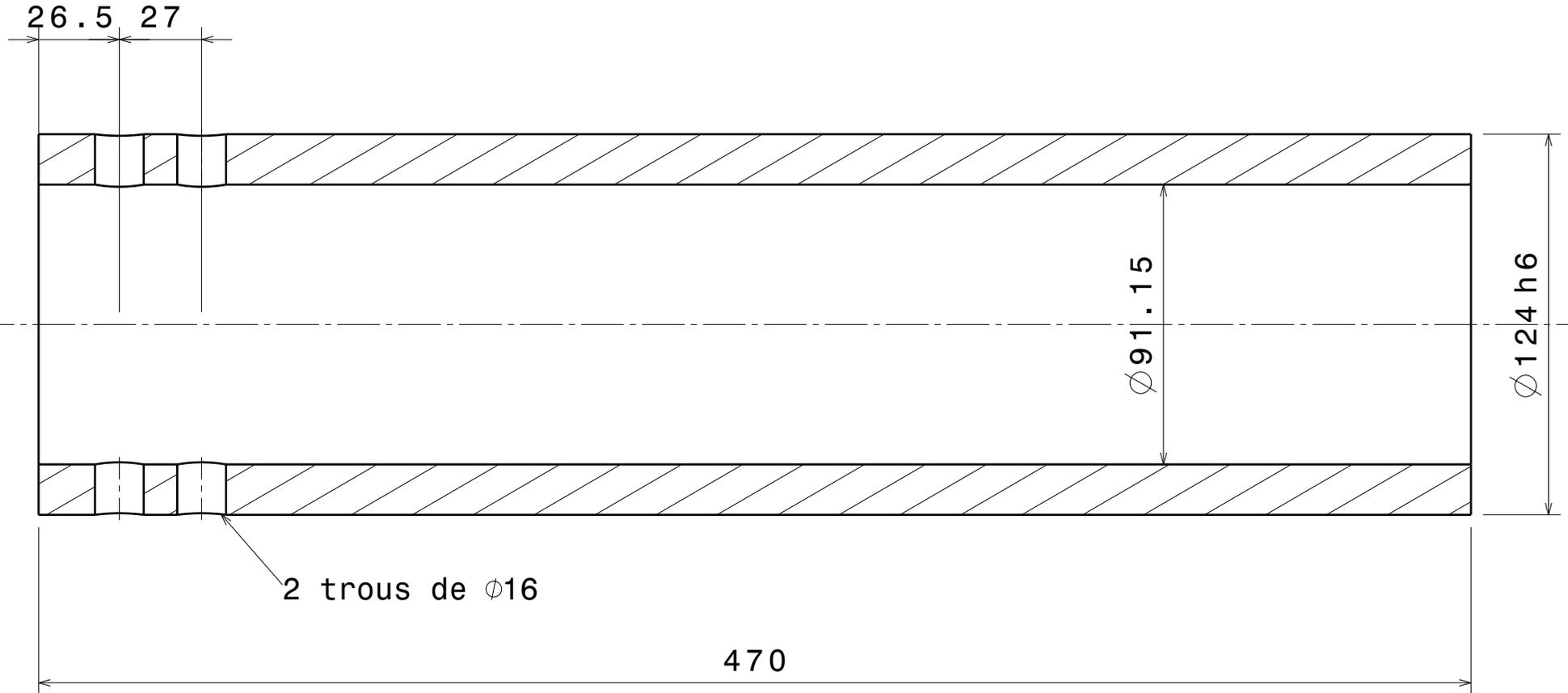
ECHELLE:
1 : 2

MATERIAU
34CrMo6

UNIVERSITE
UMMTO

NOMBRE
1 / 1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

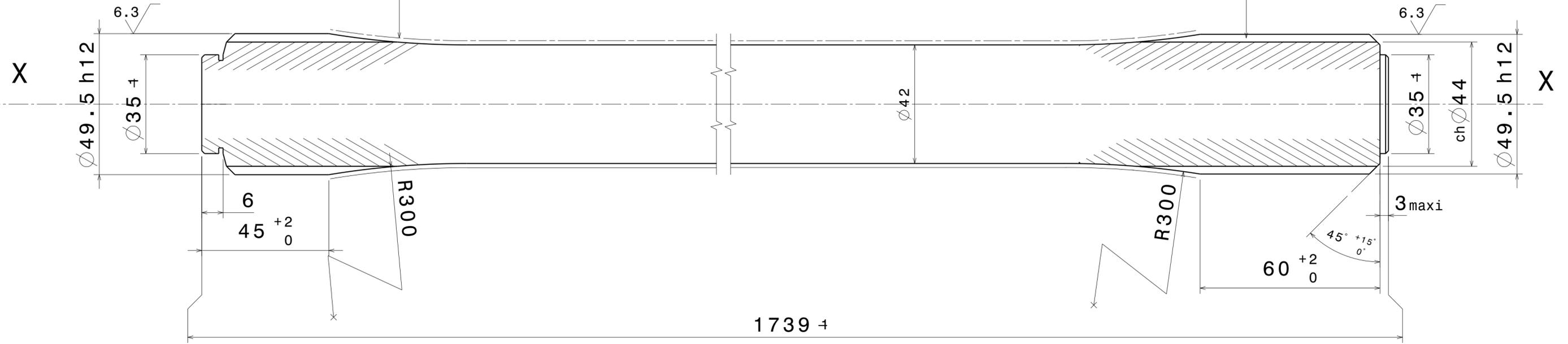


CREER PAR: BOUKEZZOULA Med HADDADI Cylia		TUBE		I	-
DATE: 20/09/2017				H	-
FORMAT: A4		M2 GØie MØanique		G	-
ECHELLE: 1:2				E	-
MATERIAU: 34CrMo6	UNIVERSITE:	UMMTO		D	-
NOMBRE: 1 / 1				C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				B	-
				A	-

Trempe superficielle
sur zone en traits mixtes

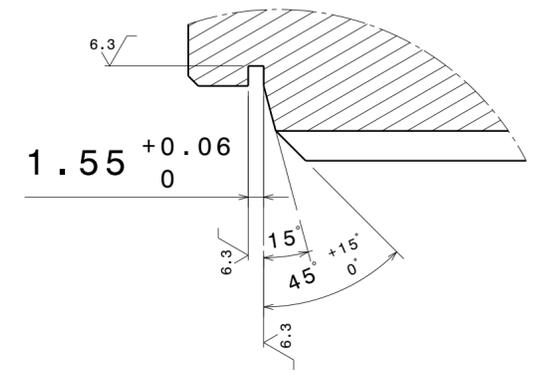
Cannelures d'elopante
50 x 18 x 2.5
Montage glissant

⊙ 0.09 XX



chanfreins non cotes : 1x1

12.5 $\sqrt{\text{partout sauf indications}}$



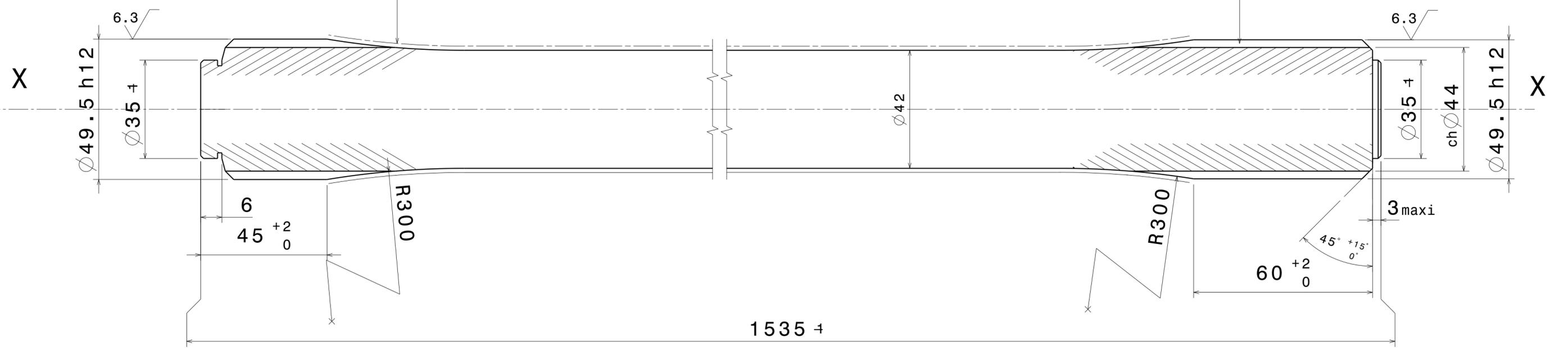
Detail C
Echelle : 2:1

Réaliser Par: BOUKEZZOULA Med HADDADI Cylia		ARBRE DIFFERENTIEL DROIT	I	-
DATE: 23/09/2017			H	-
Taille: A2		M2 Gøie Møanique	G	-
Echelle: 1:1			F	-
Materiau: 45SCD6		UMMTO	E	-
Universitè			D	-
Universitè		1/1	C	-
Nombre:			B	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		A	-	

Trempe superficielle
sur zone en traits mixtes

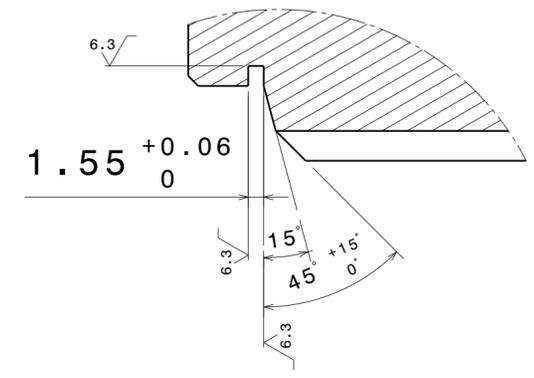
Cannelures d'elopante
50 x 18 x 2.5
Montage glissant

⊙ 0.09 XX



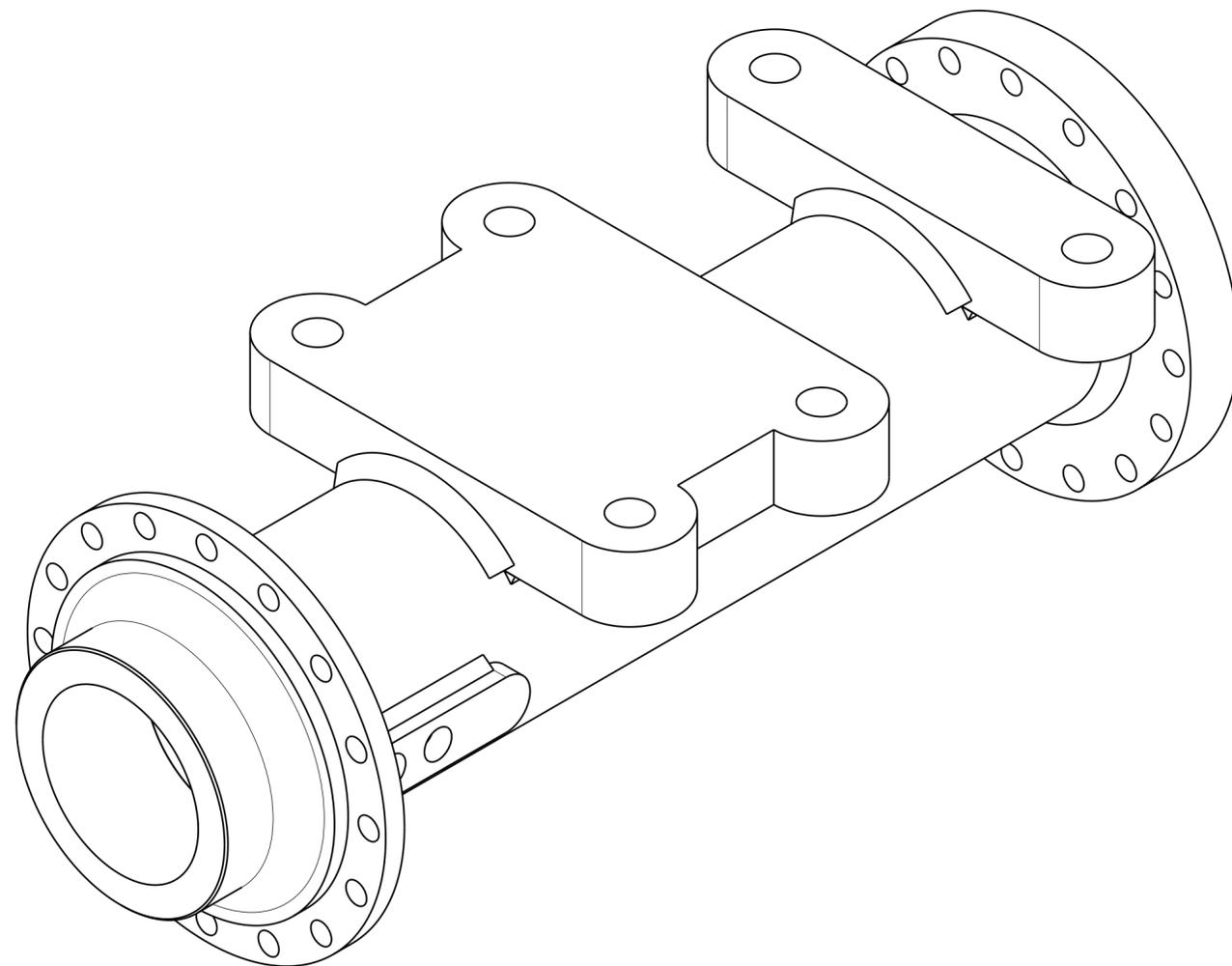
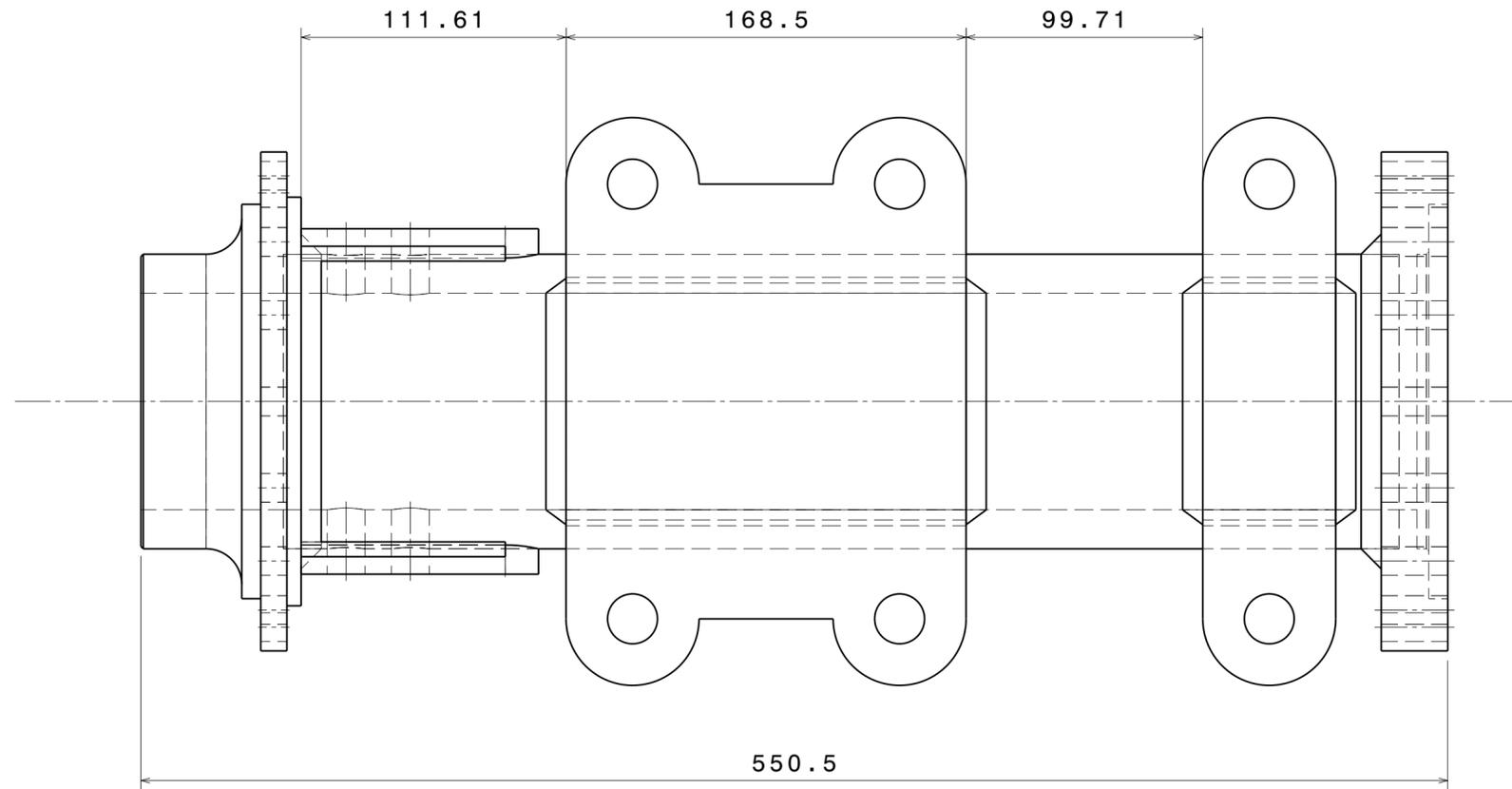
chanfreins non cotes : 1x1

12.5 partout sauf indications

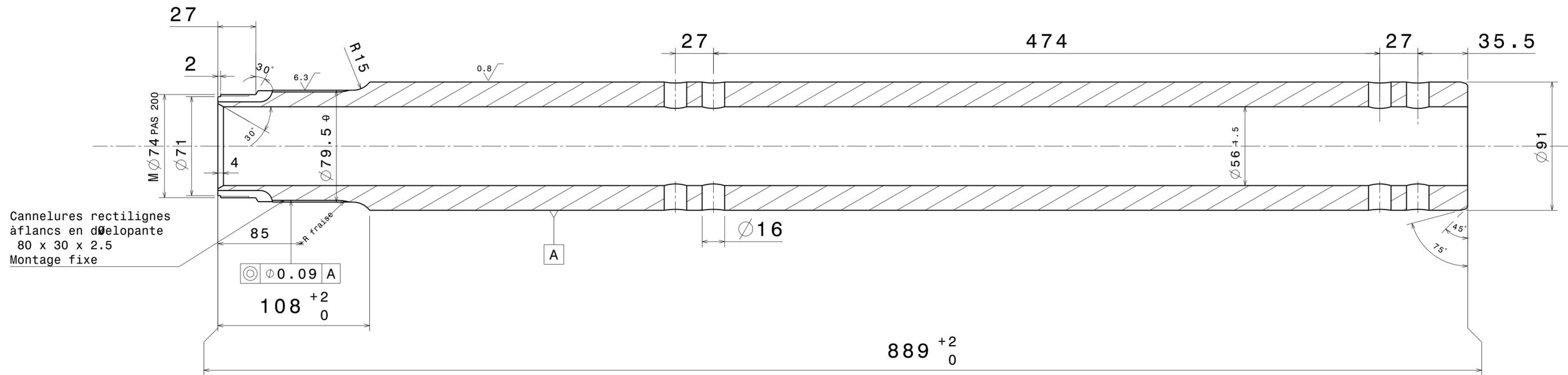


Détail C
Echelle : 2:1

Rédigé Par: BOUKEZZOULA Med HADDADI Cylia		ARBRE DIFFERENTIEL GAUCHE	I	-
DATE: 23/09/2017			H	-
Taille: A2		M2 Gøie Møanique	G	-
Echelle: 1:1			F	-
Materiau: 45SCD6		UMMTO	E	-
Universitè:			D	-
Universitè:		1/1	C	-
Nombre:			B	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			A	-



Réaliser Par:		RALLONGE		I	-
BOUKEZZOULA Med HADDADI Cylia				H	-
DATE:		M2 Gøie Møanique		G	-
23/09/2017				F	-
Taille:		UMMTO		E	-
A2				D	-
Echelle:	Materiau:	Universitè	Nombre:	C	-
1:2	45SCD6		1/1	B	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				A	-



Rédigé Par: BOUKEZZOULA Med HADDADI Cylia		TROMPETTE	I	-
DATE: 23/09/2017			H	-
Taille: A2		M2 Gøie Møanique	G	-
Echelle: 1:2			F	-
Materiau: 45SCD6		UMMTO	E	-
Universitè:			D	-
Nombre: 1/1		C	-	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		B	-	
		A	-	