REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Mécanique

Sarl Ets. KBS-BOUDIS

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Mécanique

Conception et étude de fabrication desorganes de transmissions

Etude de cas : La Boite de Vitesses CVT

Toufik TAFADJIRA

Sous la direction de :

M. Hamid SEDJAL Maître Assistant - A

M. Belkacem BENNIKOUS PDG

Présenté et soutenue publiquement le 21/06/2017

Composition de Jury:

Président	M. Mohamed BENBRAIKA	Professeur	ENP
Promoteur	M. Hamid SEDJAL	Maître Assistant - A	ENP
Promoteur	M. Belkacem BENNIKOUS	PDG	KBS-BOUDIS
Examinateur	M. Djamel SAIDI	Maître Assistant - A	ENP

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Mécanique

Sarl Ets. KBS-BOUDIS

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Mécanique

Conception et étude de fabrication desorganes de transmissions

Etude de cas : La Boite de Vitesses CVT

Toufik TAFADJIRA

Sous la direction de :

M. Hamid SEDJAL Maître Assistant - A

M. Belkacem BENNIKOUS PDG

Présenté et soutenue publiquement le 21/06/2017

Composition de Jury:

Président	M. Mohamed BENBRAIKA	Professeur	ENP
Promoteur	M. Hamid SEDJAL	Maître Assistant - A	ENP
Promoteur	M. Belkacem BENNIKOUS	PDG	KBS-BOUDIS
Examinateur	M. Djamel SAIDI	Maître Assistant - A	ENP

ENP 2017

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail,

à mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs endurance pour moi,

à mes sœurs, leurs maris et leurs enfants,

à l'équipe KBS-BOUDIS,

à ma source d'inspiration l'ingénieur Aflah ELOUNEG,

à tous mes chers amis du scout et spécialement à mon chef Mustapha ZEBAR,

à tous mes chers amis d'oran,

à tous mes amis et mes collègues de l'école nationale polytechnique.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé à l'école nationale polytechnique d'Alger et à l'entreprise ETS-BOUDIS, sous la direction scientifique et technique du Professeur Hamid SEDJAL, et Mr Belkacem BENNIKOUS.

Louange, au seul et unique Dieu, en premier et en dernier lieu ; pour tout ce dont je suis conscient et tout ce que j'acquis.

Je remercie mes parents pour leur patience, leur innombrables sacrifices et leur incessant soutien depuis ma naissance.

Toutes les personnes, que j'avais l'honneur d'avoir comme enseignants et coach durant toute ma vie, sont respectueusement remerciés pour leur orientations et leur transmission de savoir ; en commençant par mes deux promoteurs Mr Hamid SEDJAL et Mr Belkacem BENNIKOUS pour leur aide, leur disponibilité et leurs conseils au long de ce travail.

Je tiens aussi à remercier Mme ALI ZEGHLADJE pour m'avoir accueilli et me faire visiter l'usine GERMAN des chariots élévateurs à Constantine.

Ma gratitude va également à tous mes amis, sans exception ; d'abord, mon chef Mustapha ZEBAR qui m'a appris comment avoir confiance en soi et vivre avec les moyens de bord, ainsi tous mes amis de scout avec lesquels j'ai partagé des moments inoubliables. Mes amis de Ghardaia, d'Oran et d'Alger ainsi les amis du MIP.

Toutes mes reconnaissances et mes profonds remerciements à tous les clubs et associations qui veillent à aider les élèves et les étudiants dans leur parcours.

RESUME

ملخص،

عرف نظام نقل الحركة في الجرارت تطورا ملحوظا، فمن النظام اليدوي ثم النظام الإلكتروهيدروليكيإلىنظامنقل الحركة باستمرارية.الموضوعالمعالج من خلال هذا المشروعهودراسةتصميموتصنيعنظام نقل الحركة فيجراراتماسيفيرغسون.

وتشملالدراسةاختيارمادة التصنيع، حساب أبعاد

القطعوتحليلمقاومتهامنخلالالمحاكاةعلىبرنامجالسوليدوركسوخياراتعمليةللتصنيعلبعضالأجزاء الميكانيكية.

وقدتموضعخطةعملللتقييموالإستراتيجيةالمنتهجةلتثبيتوحدة الصناعة والتجميعفيالجزائر.

الكلمات الدالة : نقل الحركة، الميكانيكي،الهيدروليكي، السوليدوركس، جراراتماسيفيرغسون، نقل الحركة باستمرارية.

Abstract,

The tractor transmission system has been changed from the single sliding gear type to the electro hydraulic power shift and finally to the CVT types.The subject matter of this project is the design and manufacturing study of this new transmission system in Massey-Ferguson tractors. The study includes the material selection, sizing organs, analysis of their resistance through simulations on SolidWorks and the choices of the machining process for some parts. A business plan has been established to evaluate the cost of manufacturing and finally the strategy to be adopted for installing a transmission manufacturing and assembly unit in Algeria.

Key words: Transmission, mechanic, hydraulic, SOLIDWORKS, Massey-Ferguson,CVT.

Résumé,

Le système de transmission du tracteur a été changé du type d'engrenage coulissant simple au changement de puissance électro-hydraulique et enfin aux types CVT.Le sujet traité dans ce projet est l'étude de conception et de la fabrication de ce nouveau système de transmission dans les tracteurs de Massey-Ferguson. L'étude comporte le choix du matériau, le dimensionnement des organes, l'analyse de leur résistance à travers des simulations faites sous SolidWorks, le choix du procédé d'usinage de certaines pièces. Un business plan a été établi pour contribuer à l'évaluation économique ainsi la stratégie à adopter pour installer une unité de fabrication et de montage des transmissions en Algérie.

Mots clés: Transmission, méchanique, hydraulique, SOLIDWORKS,Masey-Fergson, TVC

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des sigles

Nomenclature

Avant-propos

Introduction générale 14

1 Chapitre 01 : Découverte 17

1.1 Introduction 17

1.2 Historique 18

1.3 Les leaders mondiaux de transmission 19

1.4 L'homologation 21

1.5 Les organes de transmission dans les tracteurs 21

1.5.1 Pont avant et arrière 21

1.5.2 Boite de transfert 23

1.5.3 Arbres de transmission 23

1.5.4 Boite de vitesse 24

1.6 Technologies fonctionnelles des boites de vitesse 25

1.6.1 La boite de vitesse manuelle 25

1.6.2 La boite de vitesses semi-automatique 26

1.6.3 La boite de vitesses automatique 27

1.6.4 CVT 29

1.7 Conclusion 30

2 Chapitre 02 : Conception et dimensionnement 32

2.1 Introduction 32

2.2 Schéma cinématique minimal 32

2.3 Choix de matériaux 35

2.4 Calcul et modélisation de la boite CVT 39

2.4.1 La partie mécanique 39

2.4.2 La partie hydraulique 42

2.4.3 Analyse du fonctionnement de la partie hydraulique 43

2.4.4 Analyse du fonctionnement de la partie mécanique 45

Les différents modes de fonctionnement 47

2.4.5 Analyse de la répartition de la puissance 52

2.4.6 Dimensionnement des arbres 54
2.4.7 Dimensionnement des pignons 55
2.5 Conception par SOLIDWORKS : 60
2.6 Conclusion 63
3 Chapitre 03 : Procédés de fabrication 65
3.1 Introduction 65
3.2 Liste des pièces à fabriquer 65
3.3 La mise en œuvre des pièces 66
3.4 Dessins de définition et d'assemblage 74
3.5 Conclusion 75
4 Chapitre 04 : Unité de montage et de fabrication en Algérie 77
4.1 Introduction 77
4.2 Problématique 78
4.3 Présentation de l'entreprise KBS-BOUDIS 78
4.4 Client 79
4.5 L'originalité du produit 80
4.6 Stratégie de commercialisation 80
4.7 Conclusion 81
5 Conclusion générale 83
Bibliographie 89
Annexe 91

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1 : CLASSEMENT DES PIECES SELON LES CRITERES DE CHOIX DES MATERIAUX 37
TABLEAU 2.2 : LA COMPOSITION DES MATERIAUX PROPOSES PAR CES 37
TABLEAU 2.4 : LA COMPOSITION DES MATERIAUX SELON LA NORME DIN 38
TABLEAU 2.5 : PROPRIETES DE MATERIAU DIN 1.5918 38
TABLEAU 2.6: PROPRIETES DE MATERIAU DIN 1.6587 39
TABLEAU 2.7 : FICHE TECHNIQUE MINIMALE DU TRACTEUR MF-7150 40
TABLEAU 2.8 : LES DIAMETRES PRIMITIFS DE CHAQUE ENGRENAGE 41
TABLEAU 2.9 : VALEUR DU COEFICIENT DE FORME Y POUR UNE DENTURE NORMALE ET A = 20° [9] 57
TABLEAU 2.10 : MODULES NORMALISES USUELS [9] 58
TABLEAU 2.11 : OPTIMISATION DU FACTEUR DE QUALITE 58
TABLEAU 2.12 : LES PARAMETRES COMPLEMENTAIRES DU PIGNON 59
TABLEAU 2.13 : LES PARAMETRES DE TOUS LES PIGNONS 59
TABLEAU 3.1 : DIAMETRE EXTERIEUR DE FRAISE-MERE DFR EN FONCTIONDU MODULE M (ADAPTE DE KOSILOVA ET METSHERJAKOV, 1985B) 71

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1 : SCHEMA DES DIFFERENTS ORGANES DE TRANSMISSION DANS UN TRACTEUR [1] 17
FIGURE 1.2 : LA BOITE DE VITESSES SYNCHRONISEE [1] 18
FIGURE 1.3 : LOGO DE EATON 19
FIGURE 1.4 : LOGO DE DANA 20
FIGURE 1.5 : LOGO DE CARRARO GROUP 20
FIGURE 1.6 : LA DISTANCE PARCOURUE PAR LES DEUX ROUES EST DIFFERENTE 22
FIGURE 1.7 : FONCTIONNEMENT DU DIFFERENTIEL MECANIQUE 22
FIGURE 1.8 : L'EMPLACEMENT DE LA BOITE DE TRANSFERT (BT) DANS UN VEHICULE 23
FIGURE 1.9 : LES COMPOSANTS D'UN ARBRE DE TRANSMISSION 24
FIGURE 1.10 : EXEMPLE DE LA BOITE DE VITESSES 24
FIGURE 1.11 : SCHEMA CINEMATIQUE D'UNE BOITE DE VITESSES A 4 RAPPORTS [5] 26
FIGURE 1.12 : LES FACTEURS INTERVENANTS SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA BV SEMI-AUTOMATIQUE [10] 27
FIGURE 1.13 : CONVERTISSEUR DE COUPLE HYDRAULIQUE [9] 28
FIGURE 1.14 : SCHEMA DE LA CVT PAR COURROIE [5] 29
FIGURE 1.15 : LA BOITE DE VITESSE CVT 30
FIGURE 2.1 : GROUPE CINEMATIQUES DU SYSTEME CVT 33
FIGURE 2.2 : GROUPE CINEMATIQUE DE LA POMPE HYDRAULIQUE 33
FIGURE 2.3 : GRAPHE DE LIAISONS CINEMATIQUES DU SYSTEME 34
FIGURE 2.4 : IDENTIFICATION DES LIAISONS CINEMATIQUES DU SYSTEME 34
FIGURE 2.5 : SCHEMA CINEMATIQUE MINIMAL DU SYSTEME CVT 35
FIGURE 2.6 : LE CHOIX DES MATERIAUX EST DETERMINE PAR LA FONCTION 36
FIGURE 2.7 : DISPONIBILITE DU MATERIAU DANS LE CATALOGUE DES NORMES ALGERIENNES [12] 37
FIGURE 2.8 : LA PARTIE MECANIQUE DE LA BOITE CVT 40
FIGURE 2.9 : IDENTIFICATION DES ORGANES DE LA BOITE DE VITESSE CVT 41
FIGURE 2.10 : FONCTIONNEMENT DE LA POMPE A BARILLES [9] 42
FIGURE 2.11: REPRESENTATION DU CIRCUIT HYDRAULIQUE 43
FIGURE 2.12 : REPARTITION DE VITESSES DANS UN TRAIN EPICYCLOÏDAL [9] 46

FIGURE 2.13 : MOTEUR EN MARCHE, LA BOITE EN POINT MORT [12]..... 47
FIGURE 2.14 : AU DEMARRAGE EN MARCHE AVANT [12] 48
FIGURE 2.15 : LE SYSTEME EN VITESSE MAXIMALE [12] 48
FIGURE 2.16 : LE SYSTEME EN MARCHE ARRIERE [12] 49
FIGURE 2.17 : RAPPORT DE VITESSE INFINI POUR LA CVT 50
FIGURE 2.18: LA COURBE DE VARIATION DE RAPPORT DE TRANSMISSION 51
FIGURE 2.19 : SCHEMA DE TRANSMISSION GLOBALE 51
FIGURE 2.20 : COURBE D'EVOLUTION DE LA VITESSE EN FONCTION DE X ET Y 52
FIGURE 2.21 : REPARTITION DES PUISSANCES HYDRAULIQUES ET MECANIQUES 54
FIGURE 2.22: REPARTITION DE FORCE SUR LE TRAIN EPICYCLOÏDAL 56
FIGURE 2.23 : LA DENTURE EST SOLLICITEE EN FLEXION 59
FIGURE 2.24 : SYSTEME CONÇU PAR SOLIDWORKS 60
FIGURE 2.25 : ACCEDER A L'ANALYSE DE MOUVEMENT..... 61
FIGURE 2.26 : DEFINIR LE MOTEUR D'ALIMENTATION..... 61
FIGURE 2.27 : DEFINIR LES CONTACTS 62
FIGURE 2.28 : LE GRAPHE DE LA FORCE DE CONTACT ENTRE LE SATELLITE ET LE PLANETAIRE 63
FIGURE 3.1 : TAILLAGE A LA FRAISE DISQUE 67
FIGURE 3.2: TAILLAGE A L'OUTIL CREMAILLERE..... 68
FIGURE 3.3 : TAILLAGE PAR REPRODUCTION 68
FIGURE 3.4 : TAILLAGE A LA FRAISE MERE 69
FIGURE 3.5 : (A)FRAISE-MERE (ADAPTE DE SCHEIPERS ET AL.) ; (B) TRANSLATION DE LA FRAISE-MERE [13]..... 70
FIGURE 3.6 : LE PIGNON APRES TAILLAGE 72
FIGURE 3.7 : CHARIOTAGE D'UN ARBRE EN ACIER [13]..... 73
FIGURE 4.1 : DEMARCHES DE BUSINESS PLAN 77
FIGURE 7.1 : DESSIN DE D'ENSEMBLE DU MECANIQME DE LA BOITE CVT.....91
FIGURE 7.2 : DESSIN DE DEFINITION DU PIGNON PLANETAIRE.....93

LISTE DE SIGLES

CVT	*Continuously Variable Transmission*
ATC	*Algerian TractorCompany*
SNVI	*Société Nationale des Véhicules Industriels*
ENMTP	*Entreprise Nationale de Matériels de Travaux Publics*
FEO	*Fabrication des Equipement d'Origine*
OEM	*Original Equipement Manufactorer*
SBA	*Small Business Act*
CNES	*Conseil National Economique et Social*
PME	*Petite et Moyenne Entreprise*
PMI	*Petite et MoyenneIndustrie*
TPE	*Très Petite Entreprise*
MAR	*Marche Arrière*
CES	*Cambridge Engineering Selector*
TE	*Train Epicycloïdal*
CKD	*Complete Knocked Down*
SKD	*Semi Knocked Down*
R&D	*Recherche et Développement*

NOMENCLATURE

A	*Avance de la fraise mère [mm/tour]*
B	*Largeur de la denture [mm]*
C	*Course [mm]*
Ci	*Couple [N.m]*
Cyl	*Cylindrée [m^3/s]*
D_f	*Diamètre de la fraise [mm]*
D_{roue}	*Diamètre de la roue [mm]*
E	*Module de Toung [N.mm^{-2}]*
E	*Epaisseur de saillie [mm]*
F_T	*Force tangentielle [N]*
G	*Module de cisaillement [N.mm$_{-2}$]*
H	*Hauteur total de la denture [mm]*
h_a	*Hauteur de la tète de denture [mm]*
h_f	*Hauteur de creux de denture [mm]*
I_0	*Moment cinétique [N.m]*
K	*Facteur de qualité*
$l_{dég}$	*Dégagement [mm]*
l_{eng}	*Engagement [mm]*
M_t	*Moment [N.m]*
M	*Module [mm]*
N	*Nombre de piston*
P	*Pas [mm]*
P	*Pression [Pa]*
q_i	*Débit algébrique [m^3/s]*
Q	*Débit volumique [m^3/s]*
Ri	*Rapport de transmission*
P_M	*Puissance mécanique*
P_H	*Puissance hydraulique*
R_e	*Limite d'élasticité [MPa]*
S	*Coefficient de sécurité*
t_c	*Temps de coupe [s]*
V_c	*Vitesse de coupe [m/min]*
Y	*Coefficient de forme*
Z	*Nombre de dents d'engrenage*
Z_f	*Nombre de filets de la fraise*
A	*Angle de pression [°]*
α_p	*Angle d'inclinaison de la pompe [°]*
α_m	*Angle d'inclinaison du moteur [°]*
τ	*Contrainte de Cisaillement [MPa]*
σ_p	*Limite d'électricité pratique [MPa]*
Ω	*Fréquence de rotation [Rad/s]*

AVANT-PROPOS

Le « sous-traitant » auto-mécanique local algérien est un entrepreneur qui, sous la direction d'un constructeur (ATC, ETRAG, SNVI, ENMTP etc. …), s'engage envers ce dernier, en tant qu'équipementier, à réaliser en FEO/OEM un travail en sous-œuvre tels que pièce ou équipement constitutif du véhicule projeté en Algérie (Tracteur Massey Fergusson, etc. …). Dans un même modèle de véhicule, il y a nécessairement plusieurs fournisseurs pour un sous-système. En général, ils sont substituables.

Sarl ETS BOUDIS, en tant que Vice-président de l'UPIAM (Union Professionnelle des Industries Automobiles et Mécaniques) et qu'équipementier et intégrateur de solutions complètes livrées clés-en-main à la SNVI, l'ENMTP ETRAG etc. … a décidé dans le cadre de la convention ENP/UPIAM signée il y a plus de dix ans, d'intégrer en Algérie en partenariat avec le département génie-mécanique de l'ENP, la fabrication des systèmes de transmission pour les tracteurs de Massey-Fergusson fabriqué en Algérie à Constantine. L'étude préliminaire se fait dans le cadre du PFE-2017 confié à l'élève-ENP Toufik TAFADJIRA.

Le groupe BOUDIS-KBS milite pour la prise de conscience par le constructeur et par le sous-traitant local algérien, afin qu'ils lancent une « cellule d'ingénierie auto-mécanique FEO/OEM »en partenariat gagnant/gagnant avec le département de génie mécanique de l'ENP. Une telle organisation permettrait à l'Algérie d'avancer à grand pas dans un schéma local algérien de développement auto-mécanique. Les retombées d'un tel schéma local de développement auto-mécanique sont :

1- Une forte crédibilité dans la maitrise de la technologie des transmissions
2- Un élan vers des projets porteurs
3- Un renouveau porté par la qualité
4- Une dynamique auto-mécanique cohérente en Algérie
5- Une équipe génie-mécanique ENP en ébullition
6- Des aménagements industriels auto-mécaniques.

Une loi identique à celle qui a été votée aux Etats-Unis en 1953 « Small Business Act »,a été préconisée pour l'Algérie par le président de la commission nationale de la sous-traitance au CNES . Une telle loisréserverait aux PME/PMI/TPE algériens un développement accéléré de la sous-traitance grâce aux marchés publics. De plus, l'objectif des autorités algériennes est

d’encourager la sous-traitance pour multiplier le nombre d’entreprises PME/PMI/TPE à créer. L’application du SBA encouragera l’innovation locale tout en permettant aux petits acteurs de concurrencer les grandes entreprises pour atteindre eux aussi des tailles internationales.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le groupe BOUDIS-KBS milite pour la prise de conscience par le constructeur et par le sous-traitant local algérien, afin qu'ils lancent une « cellule d'ingénierie auto-mécanique FEO/OEM »en partenariat gagnant/gagnant avec le département de génie mécanique de l'ENP. Une telle organisation permettrait à l'Algérie d'avancer à grands pas dans un schéma local algérien de développement auto-mécanique. Et pour cela KBS/BOUDIS a décidé dans le cadre de la convention ENP/UPIAM signée il y a plus de dix ans, d'intégrer en Algérie en partenariat avec le département génie-mécanique de l'ENP, la fabrication des systèmes de transmission pour les tracteurs de Massey-Fergusson fabriqué en Algérie à Constantine.

Le projet d'intégration en Algérie est en fait, intégrer tous les organes de transmission qui existent dans les tracteurs de ATC-MASSEY-FERGUSON qui sont fabriqués actuellement à Constantine. Mais un tel projet nécessite un sacré paquet de temps. Donc on focalise notre étude sur un seul organe qui est la boite de vitesse. On a choisi ainsi pour l'étude de la boite de vitesses le type de la boite utilisé dans les tracteurs récents de MASSEY-FERGUSON, c'est la boite de vitesse CVT (*Continuously Variable Transmission*). Notre étude portera sur une étude technico-économique. La thèse et réparti en quatre chapitre. Le premier chapitre comprend la recherche bibliographique sur les systèmes de transmissions et les différentes technologie de la boite de vitesses. On entame la partie technique dans le deuxième chapitre, où on a étudié le fonctionnement de la boite de vitesse CVT, l'étude cinématique, le choix des matériaux des éléments constitutifs de la boite et modélisation par le logiciel SOLIDWORKS ainsi on proposera dans le troisième chapitre des procédés de fabrication pour les organes qu'on compte fabriquer en Algérie. Le chapitre quatre comprend la partie économique, c'est un plan business qu'on propose à l'entreprise pour l'évolution dans l'intégration de ce système de transmission et ce à travers une étude du marché (*la problématique, les clients ciblés ...etc.*) puis un plan d'intégration qui consiste à passer par les phases CKD et SKD avant d'aboutir à la phase d'intégration. Et pour conclure, on citera les difficultés affronter dans notre étude et les acquis gagnés ainsi que le projet à accomplir après la soutenance.

Chapitre 01:Découverte

1 Chapitre 01 : Découverte

1.1 Introduction

Les manufacturiers de tracteurs proposent constamment de nouveaux types de transmissions aux producteurs agricoles. Pour ces derniers, il devient compliqué de se faire une idée juste des particularités de « cette pièce maitresse d'équipement » qui aura une incidence directe sur la performance de son tracteur.

Le système de transmission de puissance est un mécanisme de réduction ou de multiplication de vitesse, équipé de plusieurs engrenages. C'est possiblede l'appeler une séquence d'engrenages et d'arbres, à travers laquelle la puissance du moteur est transmise aux roues du tracteur. Le système se compose de divers dispositifs qui provoquent le mouvement avant et arrière du tracteur pour s'adapter à différentes conditions sur le terrain.

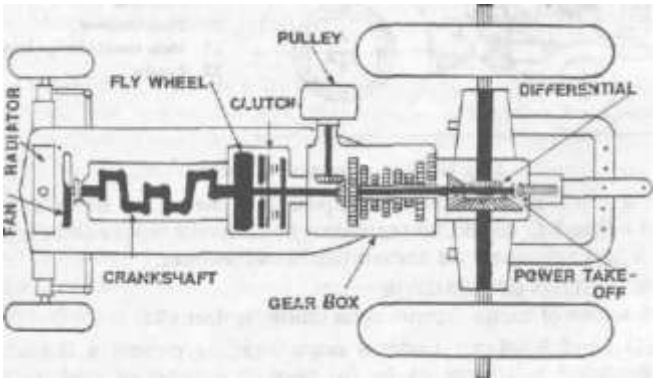


Figure 1.1 : Schéma des différents organes de transmission dans un tracteur [1]

Une transmission est un dispositif mécanique permettant de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Cet élément de la chaine d'énergie a pour fonction l'adaptation du couple et de la vitesse entre l'organe moteur et l'organe entraîné.

La transmission du mouvement est l'une des fonctions les plus courantes des éléments de la mécanique générale, c'est-à-dire des dispositifs mécaniques destinés à remplacer la main de l'homme.

Équilibrer forte puissance et faible maintenance, du fait de leur conception, les transmissions des équipements agricoles fournissent une densité de puissance maximale et entraînent des pertes de puissance minimales - même lorsqu'elles fonctionnent dans des

environnements difficiles. En dépit de ces défis, la clé est d'obtenir un fonctionnement fiable et rentable.[1]

On s'intéresse dans notre étude à la transmission **Dyna-VT** à variation continue de Massey Ferguson.Elle permettre une vitesse maximale de 50 km/h. Le levier Power Control de la Dyna-VT permet une accélération en douceur dans les deux directions.

1.2 Historique

Les boites de vitesses modernes que nous connaissons et dont nous usons aujourd'hui, tiennent leurs origines de celles utilisées depuis les années 1887. En effet, des boites fabriquées par la marque « Benz » apparaissent aux Etats-Unis pendant ces années, elles sont équipées de trains épicycloïdaux avec deux degrés de mobilité ainsi que deux vitesses avant et arrière. Elles ont été ensuite suivies en 1894 d'un autre type de boites développées par « Daimler et Maybach ».

L'évolution de la boite de vitesse se poursuit et connaît en 1928 l'apparition d'un nouveau genre, il s'agit de la boite non synchronisée à trois rapports. En outre, le premier camion « Volvo Trucks Série 1 » de la marque Volvo développant 28 ch. lancé en 1928, était équipé de ce type de boite de vitesses. Ce n'est que des années plus tard (1931) que le constructeur a commencé à doter ses véhicules de boites de vitesse plus robustes, à quatre rapports (Figure 2).

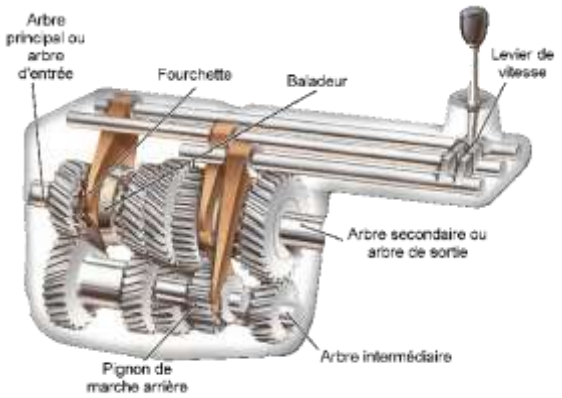


Figure 1.2 : La boite de vitesses synchronisée [1]

Par ailleurs, l'utilisation de ces boites non synchronisées n'était pas des plus simples ni pratiques ! Cela nécessitait un grand effort physique de la part du conducteur qui devait à chaque changement de rapport embrayer deux fois.

D'autre part la transmission dans les tracteurs n'a cessé d'évoluer. Les premiers tracteurs étaient équipés d'une transmission rudimentaire possédant uniquement trois vitesses et la marche arrière. Les changements de vitesse nécessitaient l'arrêt complet du tracteur.

Dans les années 1970 est apparu les boîtes de vitesse synchronisées sur les tracteurs agricoles. Cette évolution technologique a simplifié le changement des rapports de vitesse.

Le tracteur vigneron dispose généralement d'une transmission à boîte de vitesse mécanique offrant (ou pas) la possibilité de passer certains rapport sous charge.[1]

Dans les dernières années quatre-vingt, elle est apparue la technologie des boites de vitesses semi-automatique dans les tracteurs, et en 1995, un second type de boîte de vitesse a vu le jour et c'est dénoncé par le groupe AGCO. Cette boite de vitesses a été développée par les manufacturiers MASSEY-FERGUSON et FENDT… etc.Il s'agit de la transmission à variation continue, ce type de transmission leur a pris trente (30) ans pour que le premier prototype voie le jour.

1.3 Les leaders mondiaux de transmission

Parmi les leaders mondiaux dans le domaine des transmissions dans les engins et les véhicules agricoles et industrielles, on cite :

- EATON

Eaton est une société américaine de gestion de l'énergie avec des ventes de 19,7 milliards de dollars en 2016. Elle fournit des solutions éco-énergétiques. Parmi ces domaines de production, les transmissions. Elle fournie différents système de boites de vitesse pour les véhicules lourds et légers.

Figure 1.3 : Logo de EATON

EATON pourrait faire l'objet d'un autre PFE puisqu'il équipe e tracteur MASSEY-FERGUSON en pont arrière et boite de vitesse en monobloc.

- DANA

DANA est une société américaine fondée en 1904 par Clarence Spicer comme spécialiste dans les systèmes d'articulation. Aujourd'hui, DANA travaille sur tous les organes de transmission dans le secteur des véhicules militaires, industriels et touristiques.

Figure 1.4 : Logo de DANA

- LE GROUPE CARRARO

L'italien Carraro est un groupe international, un leader mondial dans la fabrication de tracteurs vendus en marque blanche à MASSEY-FERGUSSON qui les fait distribuer par AGCO ; C'est d'ailleurs AGCO qui est dans la JV (Société-mixte) avec ETRAG qui a donné le nom de ATC (Algerian TractorsCompany) . CARRARO est également leader dans les systèmes de transmission de puissance hautement efficaces et éco-compatibles. Ces usines sont implantées en Italie, Inde, Argentine, Chine, Afrique du Sud et Brésil. Fondé en 1930 comme un fabricant d'équipement de semis. Aujourd'hui, les ponts et la transmission représentent la majeure partie du chiffre d'affaires du groupe.*Et c'est avec Carraroqu'Ets-KBS/BOUDIS a signé le contrat de distribution en exclusivité sur le marché africaindes produits CARRARO. Concernant les transmissions CARRARO a donné son accord pour un projet d'intégration des transmissions dans les tracteurs d'ATC Massey-Ferguson et ceux des privés qui emploient ces transmissions, les rétro chargeurs de SOFARE,Les chariots élévateurs GERMAN etc..*

Figure 1.5 : Logo de CARRARO GROUP

1.4 L'homologation

L'homologation est la certificationpar le constructeur de la conformité d'un produitpour équiper un tracteur ou un véhicule en général .Ce qui nécessite des essais d'homologation parfois très long avant de prononcer sa conformité. Une fois un sous-traitant homologué et son produit certifié, il est élu à la consultation pour répondre à des demandes d'offres en fonction des besoins du constructeur. Elle a pour finalité de garantir au consommateur que le produit qu'il achète correspond à la qualité totale/excellence, ce qu'il est en droit d'en attendre.

1.5 Les organes de transmission dans les tracteurs

1.5.1 Pont avant et arrière

En mécanique, le pont est un organe assurant la liaison des « deux roues » d'un même essieu. On désigne généralement par « pont » ce qui est en fait un « pont moteur », qui transmet la force motrice aux deux roues d'un même essieu sur un véhicule à moteur. Un pont peut aussi désigner un outil de levage.

Un pont moteur se décompose en :

- Un axe, recevant le couple sortant de la boîte de vitesses. Il entraîne la cage d'un différentiel, soit par une vis sans fin, soit par un engrenage latéral.
- Le différentiel, répartissant ce mouvement aux arbres de sorties, proportionnellement au couple résistant qu'ils rencontrent.

Les sorties, reliées aux roues par l'intermédiaire soit de demi-arbres intégrés au pont (pont rigide et donc essieu rigide), soit par des demi-arbres munis de joints de Cardan (essieu arrière à suspension indépendante et essieu avant).

Le pont arrière comporte le couple conique, le différentiel et les arbres de roues entraînant les roues motrices.

Il comprend aussi les ressorts de suspension et supporte les organes de freinage.Sur les véhicules industriels, il comprend trois pièces en acier coulé ou estampé, avec au centre le carter contenant le différentiel et de part et d'autre du carter, un tube creux ou « trompette », dans lequel tourne l'arbre de roues et sur lequel on fixe le moyeu et les ressorts de suspension.

Le cardan est enfermé dans un tube fixé au pont arrière, pour les voitures. Il se termine par un engrenage conique dit « couple conique » ou « pignon d'attaque », qui engrène avec les couronnes du boitier de différentiel, lequel entraîne les arbres de roues.

Quand l'axe des demi-arbres de sortie est décalé vers le haut des axes de roues, on a affaire à un pont-portique. [2]

Le différentiel est un système mécanique qui a pour fonction de distribuer une vitesse de rotation par répartition de l'effort cinétique, de façon adaptative, immédiate et automatique, aux besoins d'un ensemble mécanique.

Par exemple, il est très utile sur un véhicule automobile où il permet aux roues motrices de tourner à des vitesses différentes lors du passage d'une courbe : les roues situées à l'extérieur du virage tournent plus vite que celles situées à l'intérieur (Figure 6). [3]

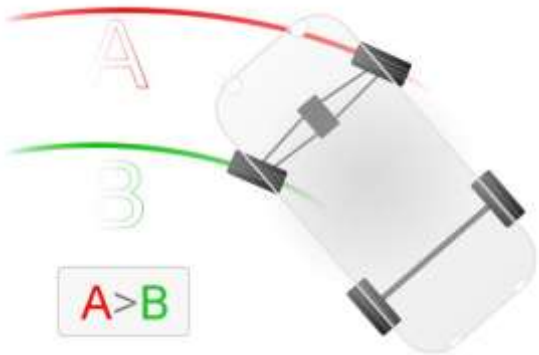


Figure 1.6 : La distance parcourue par les deux roues est différente

Sous sa forme la plus fréquente le différentiel est composé d'un pignon conique (solidaire de l'arbre moteur) entraînant perpendiculairement une couronne dentée conique supportant une cage de pignons satellites, ceux-ci entraînant deux pignons planétaires solidaires des arbres entraînés. On peut voir clairement le fonctionnement du différentiel sur la (Figure 7).

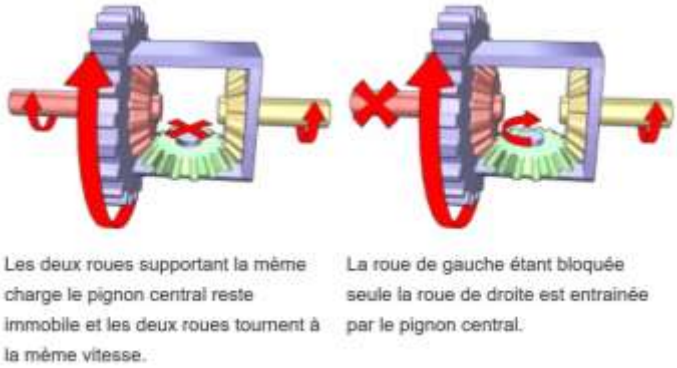


Figure 1.7 : Fonctionnement du différentiel mécanique

1.5.2 Boite de transfert

Réservée aux 4x4, la boîte de transfert est une transmission disposant de deux démultiplications, une "longe" et une "courte". La gamme de rapports courts sert au moment de franchir des pentes raides, ou lors des passages d'obstacles qui nécessitent une faible vitesse, tandis que le rapport long est utilisé pour les trajets routiers. Ce système s'intercale entre la boîte de vitesse et les arbres de transmission. La réduction se fait au travers d'un train épicycloïdal à deux rapports, qu'est commandé par le conducteur, à l'aide d'un petit levier de vitesse supplémentaire ou d'un interrupteur électrique.

Autrement dit, elle sert à: sélectionner la vitesse lente (tout terrain) ou la vitesse rapide (route), sélectionner 2 ou 4 roues motrices, sur certains véhicules sélectionner les fonctions auxiliaires (prise de force pour treuil, hydraulique, ...).Elle est aussi équipée d'un différentiel inter-pont qui gère la différence de vitesse entre les ponts avant et arrière.[4]

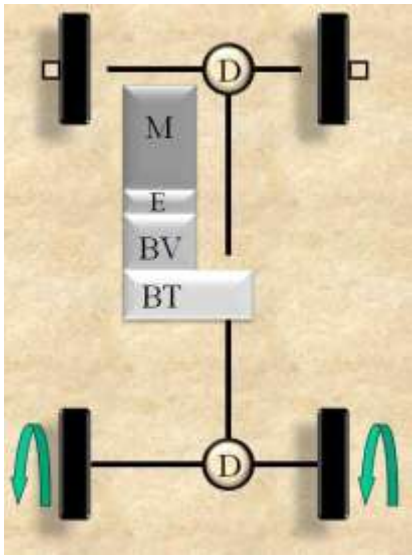


Figure 1.8 : L'emplacement de la boite de transfert (BT) dans un véhicule

1.5.3 Arbres de transmission

Un arbre est un organe mécanique transmettant une puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation. La forme cylindrique de cet organe est à l'origine de son nom.

Il comporte des cardans, ce qu'il offre comme avantage la possibilité de changer l'axe de rotation (Figure 9).

La fonction principale d'un arbre de transmission est de transmettre la puissance entre la boîte de transfert et le pont (avant ou arrière) avec un rendement important (de l'ordre de 98%).

Figure 1.9 : Les composants d'un arbre de transmission

Il y a de nombreuses subtilités dans le montage et le bon fonctionnement d'un arbre de transmission. Ces subtilités peuvent avoir un impact important sur la durée de vie de notre arbre et des composants alentours, sur les vibrations ressenties et sur son aptitude à remplir le cahier des charges pour lequel il est prévu. [1]

1.5.4 Boite de vitesse

Une boîte de vitesses est un dispositif mécanique, ou plus généralement mécatronique, permettant d'adapter la transmission d'un mouvement entre un arbre moteur et un arbre récepteur. Utilisée dans de multiples contextes, son cas d'utilisation la plus fréquente est la transformation et la transmission de la puissance d'un moteur en augmentant le couple reçu du moteur (le couple moteur). Cela fait qu'il fait la démultiplication, les pièces entraînées tournent moins vite que l'axe moteur lui-même et la multiplication du couple transmis à ces pièces.[1]

Figure 1.10 : Exemple de la boite de vitesses

Notion de roue menant et roue menée

Dans cette notion, l'appellation "roue" est utilisé dans son sens mécanique.

La roue menant est la roue sur laquelle on exerce l'effort dît d'entrée.La roue menée est la roue qui subit les efforts de la roue menant.

Formule du rapport de transmission

Le rapport de transmission est le rapport entre la roue menant et la roue menée. Ce rapport est noté **R**

$$R = \frac{D_{menée}}{D_{menante}} = \frac{Z_{menée}}{Z_{menante}} \quad (1.1)$$

$D_{menée}$:Diamètre de la roue menée

$D_{menante}$: Diamètre de la roue menant

Z_{menant}:Nombre de dents de la roue menant

$Z_{menée}$:Nombre de dents de la roue menée

1.6 Technologies fonctionnelles des boites de vitesse

1.6.1 La boite de vitesse manuelle

Le principe d'une boîte manuelle repose sur le choix de plusieurs couples de pignons (ou engrenages) de diamètres différents, offrant ainsi différents rapports de transmission. Chaque couple est constitué d'un pignon fixe sur l'arbre primaire, et d'un pignon fou, en liaison pivot avec l'arbre secondaire par l'intermédiaire de roulements. Un rapport est enclenché lorsque l'un des pignons fous devient solidaire de l'arbre secondaire. Pendant ce temps, les autres pignons tournent librement, d'où le terme « pignon fou », et ne transmettent aucun couple.

Au point mort, aucune roue folle n'est solidarisée avec l'arbre récepteur.Chaque fourchette est actionnée par un axe différent**.**Le déplacement transversal au point mort du levier de vitesse dans l'habitacle, qui sert à se mettre en face de soit la 1-2 ou soit la 3-4 ou soit la 5-

MAR, permet en fait de sélectionner un axe de fourchette, et donc de commander un seul des trois baladeurs. La (Figure 11) illustre le principe exact de fonctionnement.

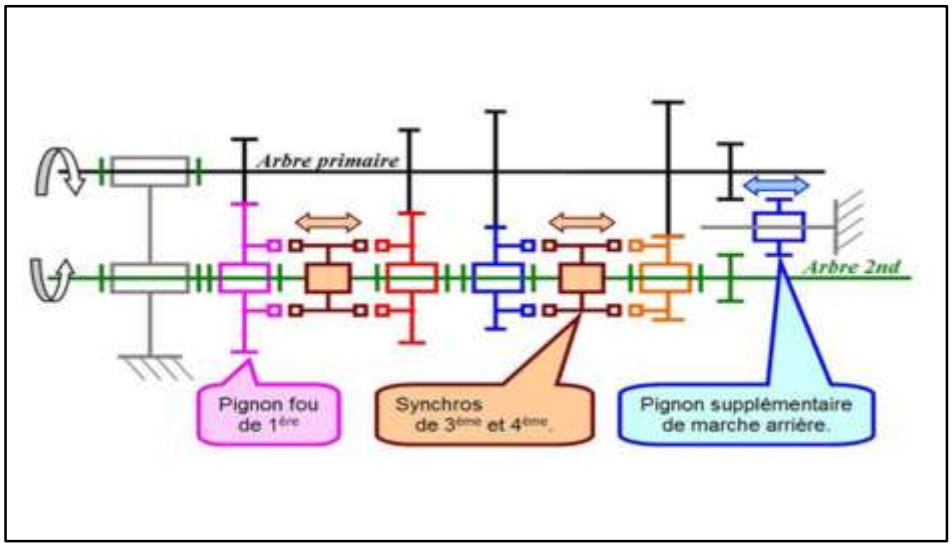


Figure 1.11: Schéma cinématique d'une boite de vitesses à 4 rapports [5]

Le déplacement longitudinal du levier de vitesse dans l'habitacle, qui sert à « passer une vitesse », permet en fait de déplacer la fourchette et son baladeur qui a pour rôle de solidariser une roue folle avec l'arbre récepteur.Avant d'engager un baladeur, il faut nécessairement dégager l'autre, donc ramener le levier de vitesses de l'habitacle au point mort.[5]

1.6.2 La boite de vitesses semi-automatique

Ou une boîte de vitesses robotisée. C'est une boîte de vitesses mécanique à engrenages parallèles à laquelle est greffé un système automatisé électrotechnique (Figure 12), qui pilote les sélecteurs et le ou les embrayages, souvent en association avec un système hydraulique, et qui se comporte :

- Soit en mode automatique, comme une boîte automatique changeant les rapports au moment le plus opportun ;
- Soit en mode manuel, auquel cas le conducteur peut changer de rapport à l'aide de boutons, palettes, ou d'un levier.

Cette boîte de vitesses ne comporte donc pas de pédale d'embrayage visible.On trouve ce type de système chez la plupart des constructeurs sous différentes appellations, mais Renault a choisi EDC (Efficient Dual Clutch). [6]

Le couple et la fréquence de rotation sont adaptés en tenant compte de plusieurs paramètres tel que, la puissance du moteur, commande du conducteur, freinage,…etc. (Figure 12).

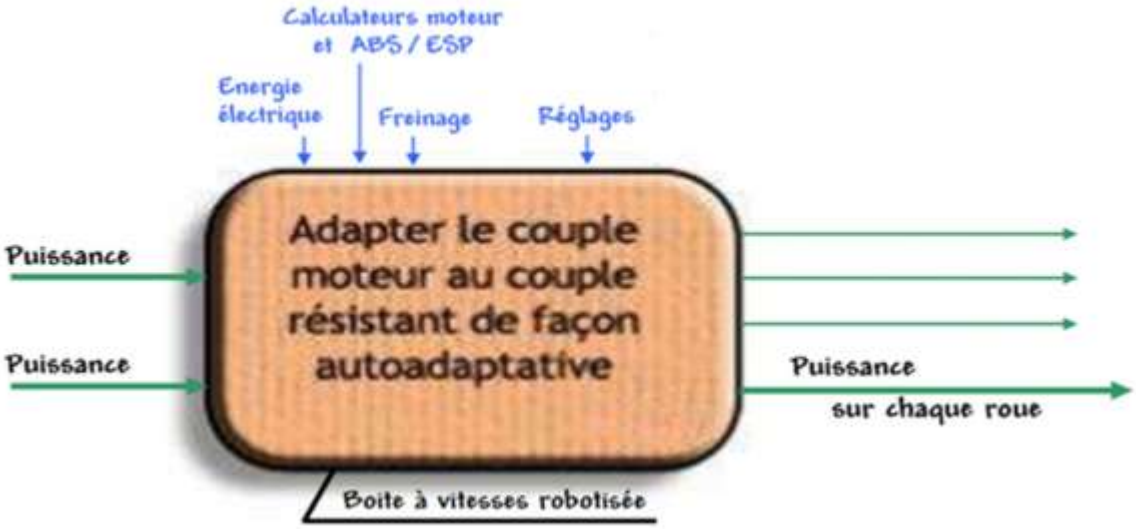


Figure 1.12 : Les facteurs intervenants sur le fonctionnement de la BV semi-automatique [10]

1.6.3 La boite de vitesses automatique

Une boîte de vitesses automatique est constituée de plusieurs éléments comparables à ceux d'une boîte de vitesse manuelle, mais avec une technologie différente qui fait appel aux éléments suivants :

- **Un convertisseur de couple :** c'est l'équivalent de l'embrayage d'une transmission manuelle.Il présente une analogie avec le coupleur hydraulique mais il permet une multiplication du couple de sortie grâce à la présence d'un organe supplémentaire appelé réacteur. (Figure 13). Il est constitué de :

  – d'une roue pompe liée à l'arbre moteur (ou d'entraînement)

  – d'une turbine liée à l'arbre récepteur (ou de sortie)

  – d'un réacteur (ou stator) s'interposant entre les deux roues et lié au carter de la boîte de vitesses par l'intermédiaire d'une roue libre. Celle-ci permet la rotation du réacteur dans le sens moteur mais l'empêche de tourner dans le sens opposé.[9]

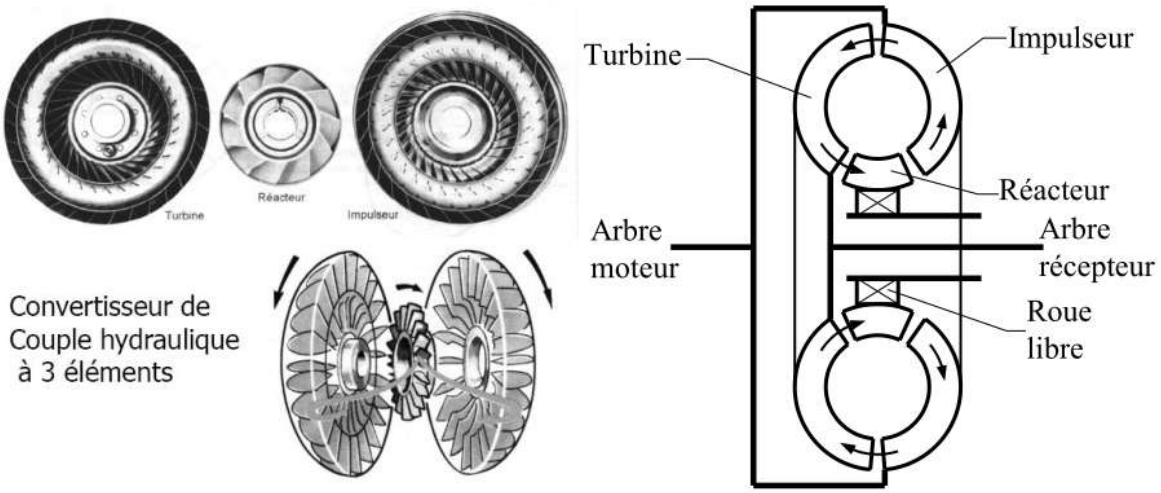


Figure 1.13 : Convertisseur de couple hydraulique [9]

- **Une boîte de vitesses :** Constituée d'un ou plusieurs trains épicycloïdaux. Chaque train épicycloïdal est un ensemble d'engrenages dont chaque élément est associé à un arbre de transmission :
  - le planétaire et l'arbre de planétaire ;
  - les satellites et l'arbre porte-satellites ;
  - la couronne et l'arbre de couronne.

- **Une commande hydraulique** associée à une gestion électronique qui contrôle l'engagement des différents rapports de boîte. Cette commande hydraulique agit en fonctions de plusieurs paramètres :
  - la vitesse du véhicule ;
  - la position de la pédale d'accélérateur ;
  - le mode sélectionné par le conducteur s'il en a le choix.

Comme toutes les transmissions utilisées en automobile, la boîte de vitesses automatique doit remplir plusieurs fonctions :permettre à la voiture de stationner tout en conservant son moteur en marche et adapter la vitesse de rotation du moteur à la vitesse du véhicule.

Comme son nom l'indique, la boîte de vitesses automatique doit effectuer ces opérations sans l'aide du conducteur. Ce dernier n'a donc pas besoin d'agir sur un embrayage ni de passer les rapports de la boîte de vitesses. Il peut se concentrer sur l'accélérateur, le freinage et la direction du véhicule.

1.6.4 CVT

CVT (Continuously Variable Transmission) est le nom donné au système de transmission à variation continue. C'est une alternative à la boîte de vitesses automatique où tout est effectué sans l'intervention du conducteur mais en s'affranchissant des traditionnels passages de rapports. Autrement dit, les accélération ou décélérations sont plus fluides que jamais.

Sur une boîte CVT, le nombre de vitesses, et par conséquent le rapport de démultiplication du moteur, n'est pas limité. En clair, le régime et le couple sont régulés en permanence pour répondre de manière optimale à la conduite du pilote. Tout est ainsi plus progressif et les à-coups ou la surconsommation dus aux changements de vitesses sont supprimés.

Le principe est exactement le même avec un vélo, la vitesse sur laquelle on est positionné est définie par le rapport entre la roue dentée de la pédale et celle de la roue arrière. Pour la CVT, au lieu d'avoir plusieurs plateaux de part et d'autre, il n'y en a que deux en tout (on parle plutôt de poulie et non de plateau). La différence est que ces dernières sont dynamiques. Elles peuvent en effet moduler leur diamètre. On a affaire à une poulie à diamètre fixe et une autre à diamètre variable reliés par une courroie de section trapézoïdale. [5]

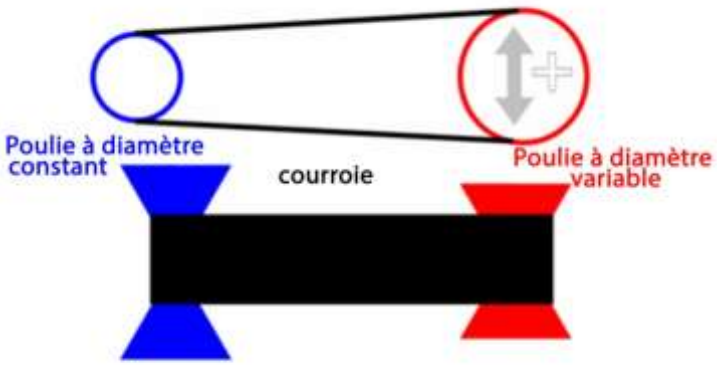


Figure 1.14 : Schéma de la CVT par courroie [5]

Version hydromécanique

Ce procédé assez compliqué à comprendre associe hydraulique et train épicycloïdal. La démultiplication se situe au niveau des engrenages épicycloïdaux. Un système hydraulique alimenté par une pompe (c'est le moteur qui l'entraine) va permettre de moduler la vitesse et le

sens de rotation du train épicycloïdal. En modulant la vitesse et le sens, cela va créer la démultiplication.

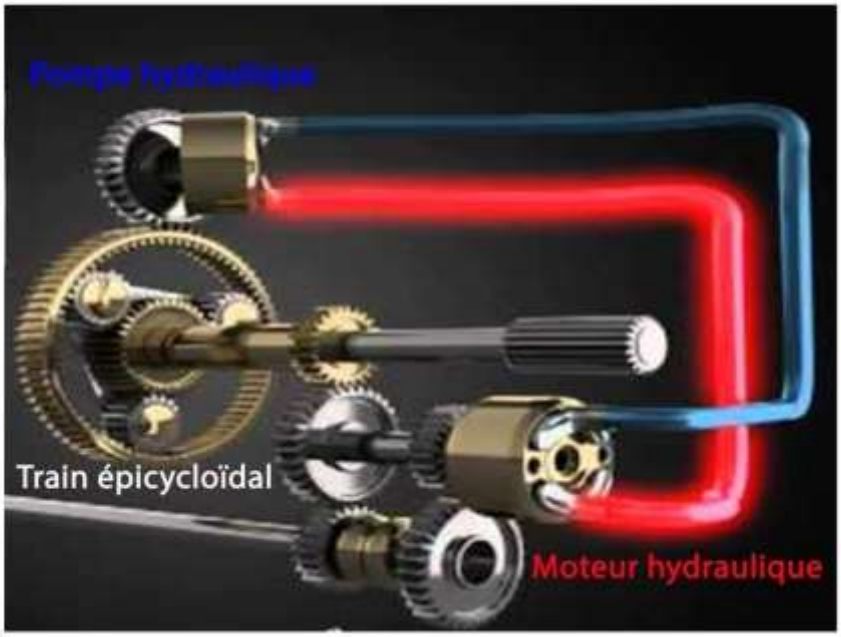


Figure 1.15 : La boite de vitesse CVT

En gros, il s'agit de couper en deux la force du moteur pour les réassocier à un autre endroit dans le but de créer une démultiplication différente. Ceci est le sujet de notre thèse qu'on va la détailler par la suite.

1.7 Conclusion

On remarque bien que la technologie des transmissions évolue sans cesse avec le temps et elle est orientée vers l'automatisation pour simplifier la vie des utilisateurs. Ainsi la technologie des boites de vitesse a pris la voie de transmission d'une façon continue. Dans la suite de notre thèse on focalise notre étude sur la dernière technologie dans les boites de vitesse, la technologie des transmissions à variation continue ou la boite de vitesses CVT.

Chapitre 02: Conception et dimensionnement

2 Chapitre 02 : Conception et dimensionnement

2.1 Introduction

Les travauxprésentés dans ce chapitre concernentla modélisation de la machine et laconception des organes mécanique qui peuvent être intégrée ici en Algérie.

Le parcours à adopter contient, dans l'ordre : L'étude cinématique, choix de matériaux, répartition de puissance et finalement dimensionnement des organes qui peuvent être fabriqués en Algérie. L'ensemble de l'étude aura comme objet « la boite de vitesse CVT à monter dans les tracteurs de ATC-MASSEY-FERGUSSON actuellement fabriqués à Constantine.

2.2 Schéma cinématique minimal

Un mécanisme est un ensemble de pièces mécaniques reliées entre elles par des liaisons. Cet ensemble est conçu pour réaliser une ou plusieurs fonctions.

Notion de classe d'équivalence : C'est un sous-ensemble composé de pièces qui n'ont aucuns mouvements relatifs les unes par rapport aux autres, et que l'on nommera sous-ensemble cinématiquement lié. Ceci impose, pour les solides en liaison encastrement, une association au sein d'un même groupe solidifiant et formant un ensemble indéformable. [11]

L'élaboration d'un schéma cinématique est organisée selon plusieurs étapes :

-Etape 1 : repérer les groupes cinématiques : Un groupe mécanique est un ensemble de pièces solidaires entre elles ou, autrement dit, en liaisons complètes. Par exemple, l'ensemble vis-écrou est un groupe cinématique.

Sur la (Figure 2.1) On distingue les différents groupes cinématique qu'existent dans un mécanisme de boite de vitesse CVT. Ainsi la (Figure 2.2) montre les groupes cinématiques de la pompe ou le moteur hydraulique.

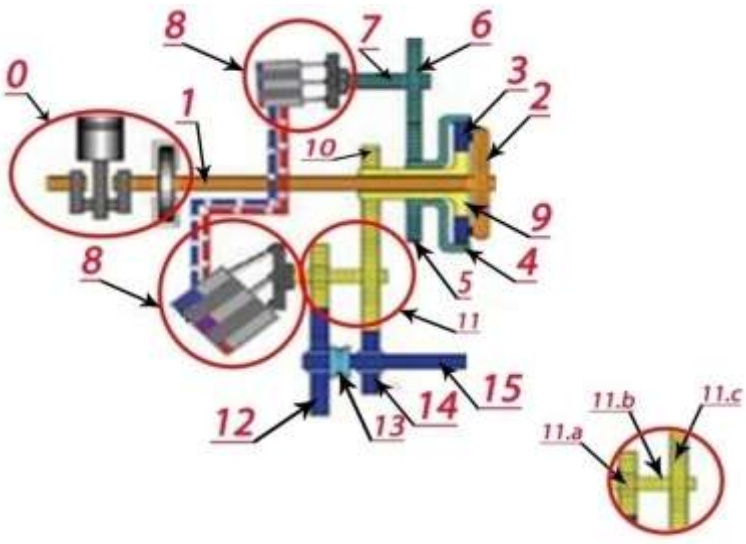


Figure 2.1 : Groupe cinématiques du système CVT

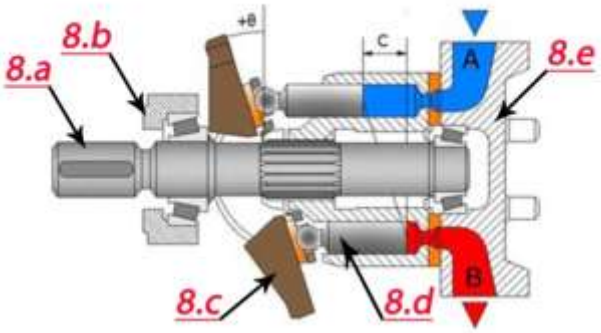


Figure 2.2 : Groupe cinématique de la pompe hydraulique

Les groupes sont :

- Groupe 1 :{0}
- Groupe 2 :{1,2}
- Groupe 3 :{3}
- Groupe 4 :{4,5}
- Groupe 5 :{6,7}
- Groupe 6 :{9,10}
- Groupe 7 :{11.a,11.b,11.c}
- Groupe 8 :{8.a,8.b,8.c,8.d,8.e}
- Groupe 9 : {12,14,15}
- Groupe 10:{13}

0 : Bloc moteur
1 : Arbre moteur
2 : Porte-satellites
3 : Satellites
4 : Couronne
5 : Pignon vers la pompe
6 : Pignon de la pompe
7 : arbre de pompe
8 : Pompe et moteur hydrauliques
9 : Planétaire
10 : Pignon vers l'arbre sommateur
11 : Arbre sommateur
12, 13, 14 et 15 : Sélécteur de plage

-Etape 2 : établir le graphe des liaisons ; Relier par un trait les groupes ayant des contacts quels qu'ils soient. (Figure 2.3).

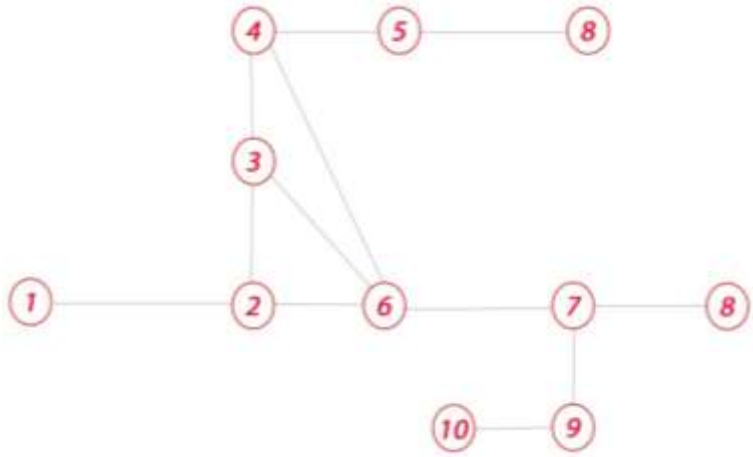


Figure 2.3 : Graphe de liaisons cinématiques du système

-Etape 3 : Identifier les liaisons entre les groupes : Déterminer la nature du ou des contacts entre classe d'équivalence et observer les degrés de liberté entre les groupes concernés. En déduire la liaison normalisée correspondante selon les normes françaises : NF E04-015, AFNOR (NF EN 23952). (Figure 2.4).

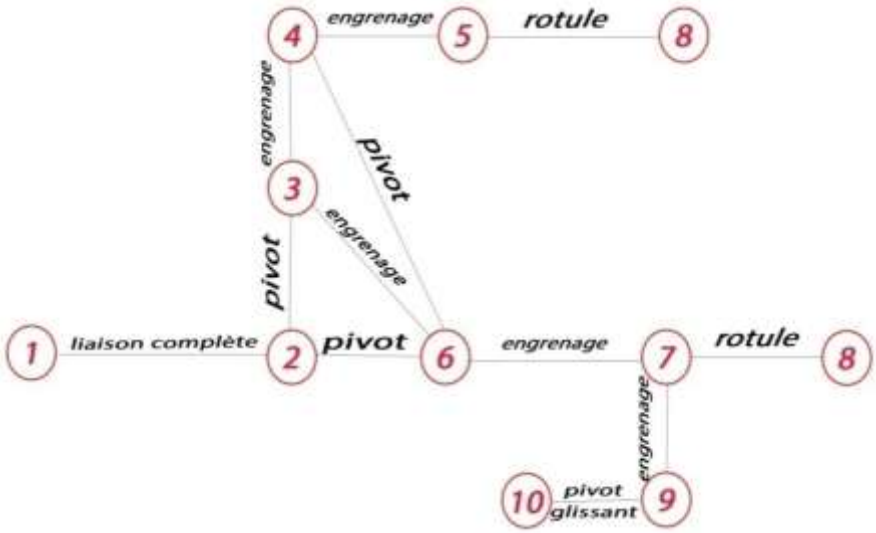


Figure 2.4 : Identification des liaisons cinématiques du système

-Etape 4 : Construire le schéma cinématique minimal : lors de la dernière phase, on remplace les liaisons citées dans la figure précédente par leurs formes normalisées et on termine

l'habillage explicite du schéma cinématique tout en respectant les positions des pièces les unes les autres. (Figure 2.5).

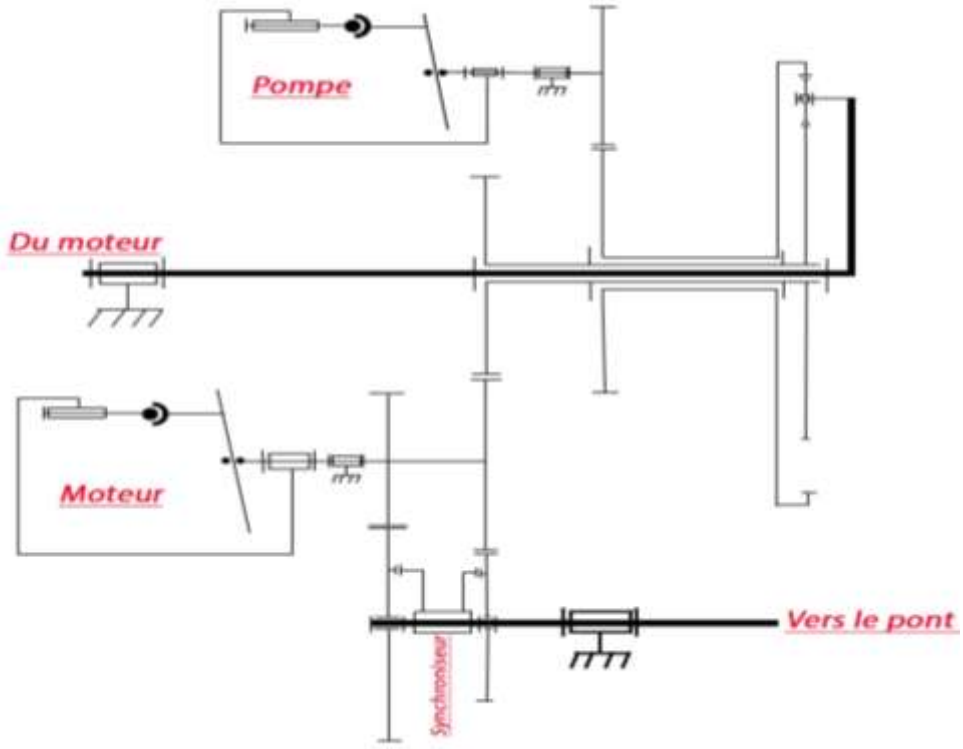


Figure 2.5 : Schéma cinématique minimal du système CVT

2.3 Choix de matériaux

Avant de commencer les calculs de dimensionnement des éléments de transmission de la boite de vitesses, il est nécessaire de choisir quel est le matériau le plus convenable qu'on doit choisir pour ces éléments et qui répond aux conditions de fonctionnement. Chaque matériau possède ses propres caractéristiques tel que le module de « Young ».

Les deux critères de notre choix de matériaux sont :

1- La disponibilité en Algérie, pour des raisons économiques (frais de transport et les taxes relatives à la production/distribution).

2- La résistance des matériaux aux sollicitations mécaniques selon leur type (un matériau dur ne résiste pas aux efforts fléchissant et de torsion).

On adopte la stratégie d'ASHBY pour le choix de matériau qui se résume dans le diagramme suivant (Figure 2.6) :

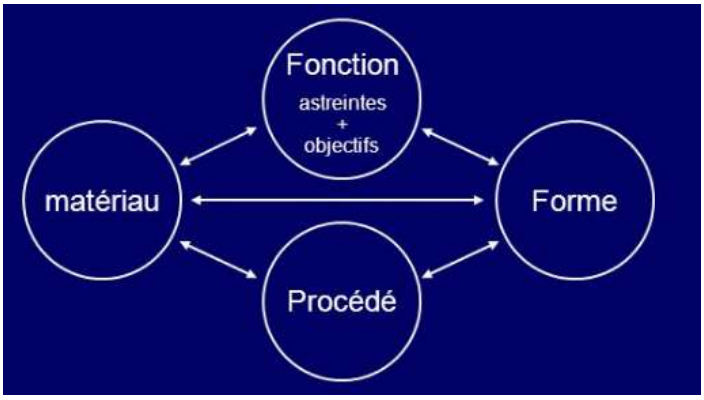


Figure 2.6 : Le choix desmatériauxest déterminé par la fonction

Le choix est déterminé par la fonction remplie par la pièce, puis on examine les matériaux selon leurs propriétés (éliminer ceux qui ne peuvent remplir la fonction) pour en tirer les meilleurs candidats. Le choix final du matériau se limite sur le fait que si le matériau convient aux possibilités à l'expertise locales.

Les principaux organes de transmission dans la boite CVT qu'on compte les fabriquer en Algérie sont (les arbres, les pignons et le porte-satellites).

La principale propriété dans le système est le couple. On doit donc introduire le couple maximal à transmettre par ces organes. En fonction de la géométrie et des propriétés de matériaux, on doit trouver une équation permettant de relier les propriétés, autrement dit, il faut trouver la formulation qu'identifie bien les contributions de la géométrie, des spécifications fonctionnelles et des propriétés matériau de matériaux.

On classe sur le (Tableau 2.1) les organes à concevoir selon les critères de choix des matériaux.

Pour les prochaines étapes de choix de matériaux, on fait appel à logiciel *CES (Cambridge Engineering Selector).* En premier lieu, il faut introduire les caractéristiques citées dans le tableau précédent. Donc il suffit de lui introduire ces caractéristiques, ainsi avec la possibilité d'y introduire certaines limites à prendre en considération dans notre sélection dans le but d'écarter les matériaux n'ayant les caractéristiques requises.

Le logicielle nous propose plusieurs matériaux qui peuvent répondre à nos besoins, mais on en sélection ceux qu'ils sont moins couteux et disponibles en Algérie, il propose ainsi le prix du matériau selon sa dernière mise à jour.

Exemple : Pour le cas de l'arbre : Bonne résistance au fléchissement et limite de prix fixée à 10 €/kg (1290 DA/kg)selon la mise à jour 2013.

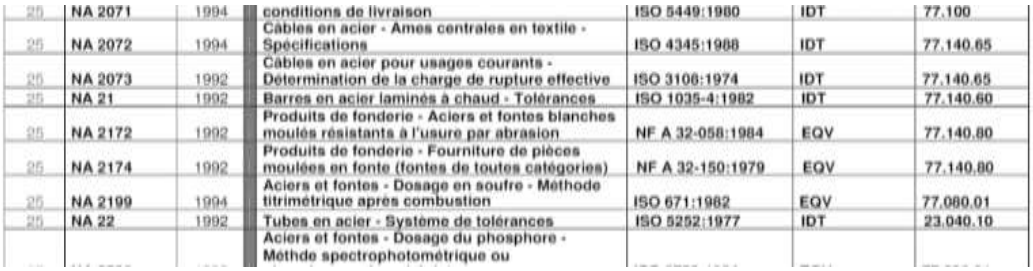
Tableau 2.1 : Classement des pièces selon les critères de choix des matériaux

Organe	Fonction	Objectif	Contraintes	Couple à transmettre
Arbres des pignons	Arbre	Transmission de puissance	*Fléchissement *Torsion	677 N.m
Pignons	Engrenage	Transmission de puissance	*Cisaillement	677 N.m
Porte-satellites	Manivelle	Transmission de puissance	*Cisaillement	677 N.m

CES nous fournis aussi la composition de chaque matériau avec ça norme (Tableau 2.2), on en tire les matériaux qu'existent dans le catalogue des normes algériennes qui contient des matériaux sous la norme AFNOR (Figure 2.7).

Tableau 2.2 : La composition des matériaux proposés par CES

Pièce	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Arbre	0.2-0.25%	0.2-0.4%	0.5-0.8%	-	-	0.3-0.6%	0.4-0.6%	0.15-0.3%
Pignon	0.15-0.18%	0.1-0.4%	0.8%	0.03	0.03	1-1.2%	1-1.4%	-
Porte-satellites	0.2-0.25%	0.2-0.4%	0.5-0.8%	-	-	0.3-0.6%	0.4-0.6%	0.15-0.3%



25	NA 2071	1994	conditions de livraison	ISO 5449:1980	IDT	77.100
25	NA 2072	1994	Câbles en acier - Ames centrales en textile - Spécifications	ISO 4345:1988	IDT	77.140.65
25	NA 2073	1992	Câbles en acier pour usages courants - Détermination de la charge de rupture effective	ISO 3108:1974	IDT	77.140.65
25	NA 21	1992	Barres en acier laminés à chaud - Tolérances	ISO 1035-4:1982	IDT	77.140.60
25	NA 2172	1992	Produits de fonderie - Aciers et fontes blanches moulés résistants à l'usure par abrasion	NF A 32-058:1984	EQV	77.140.80
25	NA 2174	1992	Produits de fonderie - Fourniture de pièces moulées en fonte (fontes de toutes catégories)	NF A 32-150:1979	EQV	77.140.80
25	NA 2199	1994	Aciers et fontes - Dosage en soufre - Méthode titrimétrique après combustion	ISO 671:1982	EQV	77.080.01
25	NA 22	1992	Tubes en acier - Système de tolérances	ISO 5252:1977	IDT	23.040.10
			Aciers et fontes - Dosage du phosphore - Méthde spectrophotométrique ou			

Figure 2.7 : Disponibilité du matériau dans le catalogue des normes Algériennes [14]

Après le choix des matériaux selon la norme algérienne, on doit trouver des matériaux dans SOLIDWORKSdont les compositions sont similaires à ceux trouvés dans le catalogue. Et ceci pour pouvoir faire des simulations par logiciel SOLIDWORKS.

Dans le (Tableau 2.4), on classe les compositions des matériaux trouvés dans logiciel SOLIDWORKS selon la norme allemande DIN. On voit bien que les proportions sont presque les mêmes.

Tableau 2.3 : La composition des matériaux selon la norme DIN

Pièce	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Arbre	0.17-0.23%	0.15-0.40%	0.60-0.90%	-	-	0.35-0.65%	0.35-0.65%	0.15-0.25%
Pignon	0.12-0.17%	0.10-0.40%	0.60-0.90%	0.035%	<0.035%	0.9-1.20%	1.20-1.50%	-
Porte-satellites	0.17-0.23%	0.15-0.40%	0.60-0.90%	-	-	0.35-0.65%	0.35-0.65%	0.15-0.25%

Dans les tableaux suivant on classe les propriétés des matériaux pour la conception des pignons, les arbres et le porte-satellites.

Tableau 2.4 : Propriétés de matériau DIN 1.5918

Propriétés de matériau pour les pignons (DIN 1.5918) 17CrNi6-6		
Propriété	**Valeur**	**Unité**
Module d'élasticité	210000	N/mm^2
Coefficient de Poisson	0.28	S.O.
Module de cisaillement	79000	N/mm^2
Masse volumique	7800	kg/m^3
Limite de traction	600	N/mm^2
Limite d'élasticité	295.59	N/mm^2

Tableau 2.5: Propriétés de matériau DIN 1.6587

Propriétés de matériau pour les arbres et porte-satellites (DIN 1.6587) 18CrNiMo7-6		
Propriété	**Valeur**	**Unité**
Module d'élasticité	210000	N/mm^2
Coefficient de Poisson	0.28	S.O.
Module de cisaillement	79000	N/mm^2
Masse volumique	7800	kg/m^3
Limite de traction	1100.83	N/mm^2
Limite d'élasticité	785.59	N/mm^2

2.4 Calcul et modélisation de la boite CVT

C’est en partant de ce principe qu’on a conçu sa CVT. Le moteur entraîne un train épicycloïdal, composé des satellites, du porte-satellites, de la grande couronne, et du pignon planétaire. Ce dernier est relié à un arbre sommateur, doté d’un moteur hydraulique à son extrémité. C’est là que les puissances mécaniques et hydrauliques sont réunies puis transmises.

Afin d’obtenir toujours le meilleur rendement, les proportions d’hydraulique et de mécanique varient en fonction de la vitesse et du mode d’utilisation. A 0,5 km/h, on est par exemple en tout hydraulique, et à 50 km/h on est en tout mécanique. Moins il y a de composants en mouvement, moins il y a de pertes de puissances.

Afin d’adapter la transmission à la puissance du tracteur, la transmission CVT se compose de deux principales parties, l’une mécanique (train épicycloïdal), l’autre hydraulique (pompe et moteur hydrauliques).

2.4.1 La partie mécanique

L’élément de base de la partie mécanique de cette boîte est un train épicycloïdal (TE). Sur la (Figure 2.8) on voit à droite le train épicycloïdal.

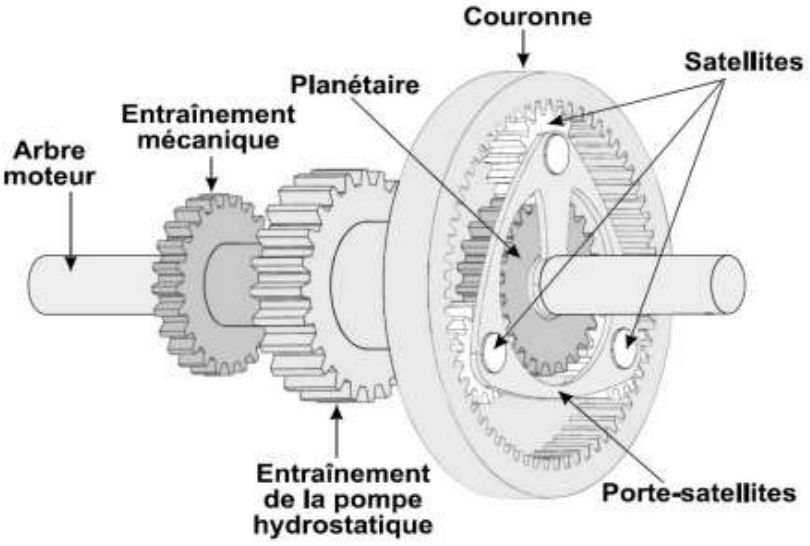


Figure 2.8: La partie mécanique de la boite CVT

Le dimensionnement ne se fait pas du premier coup. Puisque on cherche à concevoir un produit compétitif sur le marché, on doit prendre en considération les deux facteurs qualité/prix. Mais en premier temps, on effectue des opérations et des itérations sous Excel afin d'aboutir à des dimensions optimales des engrenages et avec ces données on va procéder dans la suite du dimensionnement, puis on effectue des analyses de puissance et de résistance des matériaux à l'aide de logiciel SOLIDWORKS, tout en gardant en tête les spécifications du tracteur MASSEY-FERGUSON MF-7150 dans lequel on compte installer cette boite.

Tableau 2.6 : Fiche technique minimale du tracteur MF-7150

Tracteur MASSEY-FERGUSON MF-7150	
Puissance max à 1950 tr/min	160 ch
Puissance nominale	150 ch
Couple max à 1500 tr/min	677 N.m
Gammes de vitesses	
Vitesse min à 1400 tr/min	0.03 km/h
Vitesse max à 1950 tr/min	50 km/h
Au champ	Avant : 0.03 km/h -> 28 km/h Arrière : 0.03 km /h -> 16 km/h

En route	Avant : 0.03 km/h -> 50 km/h Arrière : 0.03 km /h -> 38 km/h

À partir des spécifications de vitesses dans la fiche technique on cherche les dimensions de chaque engrenage. Puisque on a affaire à des engrenages, dans nos calculs de rapport de transmission entre chaque des engrenages, on parlera à priori des diamètres primitifs et par la suite de nombre de dents.

Les dimensions trouvées sont classées dans le tableau suivant (Tableau 2.8) telles que les significations de rayon de chaque pignon est dans la (Figure 2.9).

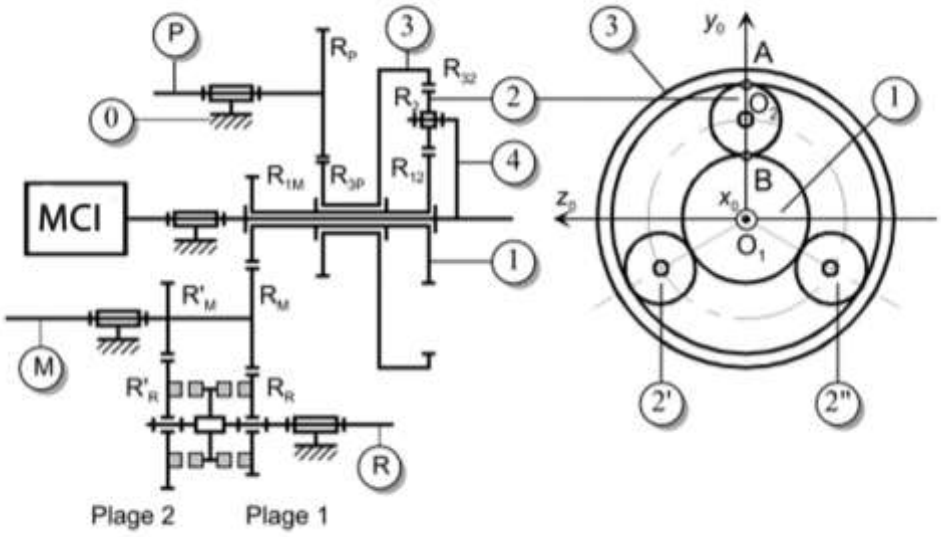


Figure 2.9 : Identification des organes de la boite de vitesse CVT

Tableau 2.7 : Les diamètres primitifs de chaque engrenage

Pièce i	1		2	3		P	M		R	
Désignation	Planétaire		Satellite	Couronne		Arbre de pompe	Arbre sommateur		Arbre de sortie	
Rayons (mm)	R_{12} 60	R_{1M} 33	R_2 30	R_{32} 120	R_{3P} 54	R_P 60	R_M 54	R'_M 48	R_R 42	R'_R 48

2.4.2 La partie hydraulique

Une pompe à cylindrée variable alimente un ou deux moteurs hydrauliques de cylindrées réglables disposés sur un arbre commun. La pompe et les moteurs sont couplés et se régulent en parallèle comme on le montrera par la suite. L'arbre supportant les deux moteurs hydrauliques, appelé arbre sommateur, est relié à la partie mécanique par des roues dentées.

Il s'agit d'une pompe et moteur hydrauliques à débit variable, ou pompes à barillets. Les pistons sont disposés parallèlement à l'axe de rotation principal de la pompe. La course des pistons est provoquée par l'inclinaison d'un plateau par rapport au barillet contenant les pistons. Si l'inclinaison est variable, alors la cylindrée est variable.

Elles sont adaptées à des vitesses relativement élevées, et peuvent être à cylindrée fixe ou variable. La gamme de pressions pouvant aller jusqu'à 450 bars.

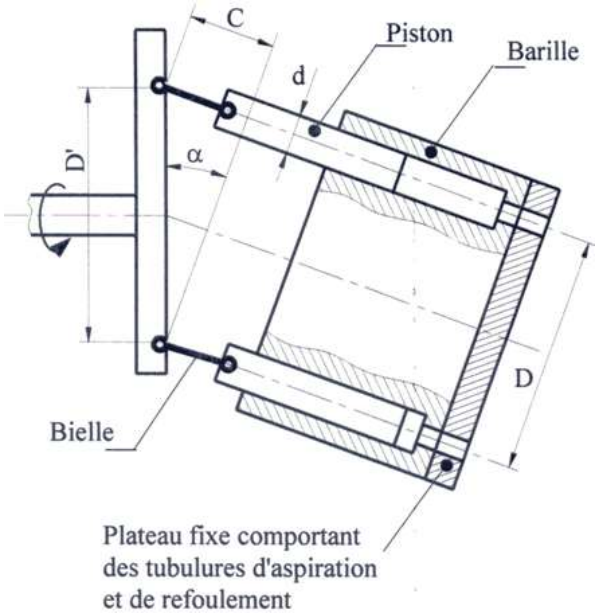


Figure 2.10 : Fonctionnement de la pompe à Barilles [9]

La course des pistons:

$$C = D \cdot tg\alpha = D'\sin\alpha \qquad (2.1)$$

La cylindrée pour Z pistons :

$$Cyl = \frac{\pi d^2}{4} Z \cdot D' \cdot \sin\alpha \qquad (2.2)$$

α peut atteindre 30° (exceptionnellement 45°)

Le débit volumique de la pompe :

$$Q = N.Cyl \qquad (2.3)$$

La puissance :

$$P = Q.\Delta p \qquad (2.4)$$

(P en W ; Δp en Pa ; Q en m3/s)

Le débit s'exprimant en fonction de l'angle α, il suffit donc pour varier ce débit, de varier l'angle α.

Dans notre étude on ne va pas s'intéresser au moteur et à la pompe puisque on n'est pas censé les concevoir, mais il faut juste comprendre le principe de leur fonctionnement.

2.4.3 Analyse du fonctionnement de la partie hydraulique

L'ensemble pompe et moteurs hydrauliques constitue un circuit fermé dont on négligera les fuites et les pertes de charge. Le fluide est supposé incompressible. On considère d'autre part que les deux moteurs sont équivalents à un seul moteur de cylindrée $2V_M$.

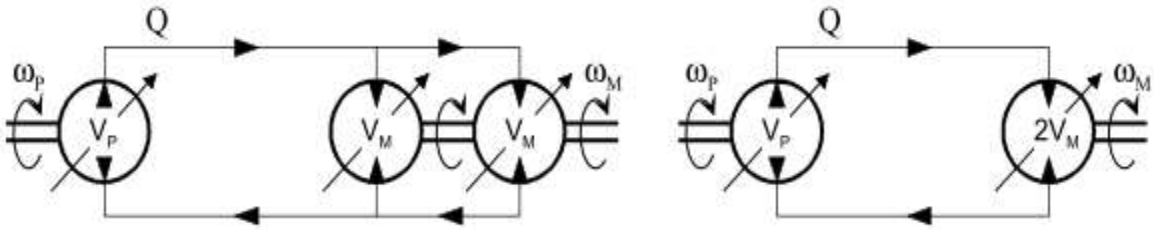


Figure 2.11: Représentation du circuit hydraulique

On appelle cylindrée le volume débité par tour de l'arbre de la pompe ou de chacun des 2 moteurs. La cylindrée maximale s'exprime par la relation suivante pour une pompe ou un moteur :

$$V_i = Z*C*S \qquad (2.5)$$

Avec i = P (Pompe) ou M (Moteur)

Z : Nombre de pistons,

C : Course maximale des pistons,

S : Aire de la section droite d'un piston.

La variation du débit est obtenue par inclinaison des composants hydrauliques. On rappelle que les éléments hydrauliques traditionnels n'autorisent qu'un angle de pivotement de 30°. Actuellement on a développé des composants hydrauliques (pompes et moteurs) pouvant pivoter jusqu'à 45°. Cela offre les avantages suivants :

- Un meilleur rendement,
- La suppression de rapports mécaniques par une couverture plus large de la plage de vitesses.

On étudie les fonctions de la variation du débit de la pompe et du moteur :

*Dans la marche avant :*L'angle d'inclinaison α_p de la pompe varie de 0° à 45° et celui du moteur α_M varie de 45° à 0° .

*Dans la marche arrière :*L'angle d'inclinaison α_p de la pompe varie de 0° à -30° et celui du moteur α_M=45°.

Donc pour la pompe on déduit la plage de variation de l'angle $\alpha_p \in [-30°,45°]$ et $\alpha_M \in [0°,45°]$.

On atteint le débit max quand l'angle d'inclinaison α atteint 45°.

Autrement dit :

* 45° ➔ q= 100% du débit

* 0° ➔ q= 0% du débit

* -30° ➔ q= -67% du débit

Donc, on peut dire que la variation de la course C des pistons permet de faire varier les débits algébriques par tour q_p et q_M respectivement de la pompe et du moteur :

$$q_P=x.V_P \tag{2.6}$$

q_P : Débit algébrique par tour de la pompe avec $x \in [- 0.67 ; 1]$.

$$q_M=2y.V_M \tag{2.7}$$

q_M : Débit algébrique par tour du moteur avec $y \in [0 ;1]$

Et d'après l'équation (2.5), on peut déduire l'expression qui lie les fréquences de rotation de la pompe à celles du moteur :

$$q_P = x.V_P = x.(\omega_P.Cyl) \text{ et } q_M = 2y.V_M = 2y.(\omega_M.Cyl) \text{ ;}$$

En écrivant l'égalité des débits q(m^3/s) entre la sortie de la pompe et l'entrée du moteur, l'expression suivante :

$$\omega_p = \frac{2y}{x}\omega_M \tag{2.8}$$

2.4.4 Analyse du fonctionnement de la partie mécanique

On suppose que le pignon 2 roule sans glisser sur la couronne 3 en A et sur le planétaire 1 en B. On remarquera que, par rapport au porte-satellites 4, les différents axes de rotation sont fixes dans cette pièce.

Le roulement sans glissement en I (Figure 2.12) permet d'écrire :

$$\overrightarrow{V_{3/1}\,(I)} = \overrightarrow{V_3^0\,(I)} - \overrightarrow{V_1^0\,(I)} = 0 \tag{2.9}$$

Tous calculs fait, on obtient :

$$\omega_U r_1 - \omega_3 r_3 - \omega_1 r_1 = 0 \tag{2.10}$$

Il vient donc:

$$\frac{\omega_3}{\omega_1 - \omega_U} = -\frac{r_1}{r_3} \tag{2.11}$$

Le roulement sans glissement en J (Figure 2.12) permet d'écrire :

$$\overrightarrow{V_{3/2}\,(J)} = \overrightarrow{V_3^0\,(J)} - \overrightarrow{V_2^0\,(I)} = 0 \tag{2.12}$$

Ce qui donne

$$\omega_U r_2 + \omega_3 r_3 - \omega_2 r_2 = 0 \tag{2.13}$$

Il vient :

$$\frac{\omega_2 - \omega_U}{\omega_3} = \frac{r_3}{r_2} \tag{2.14}$$

Où finalement d'après les équations (2.11) et (2.14), on déduit l'expression de la raison (λ), ou *la formule de Willis :*

$$\lambda = \frac{\omega_2 - \omega_U}{\omega_1 - \omega_U} = -\frac{r_1}{r_2} \tag{2.15}$$

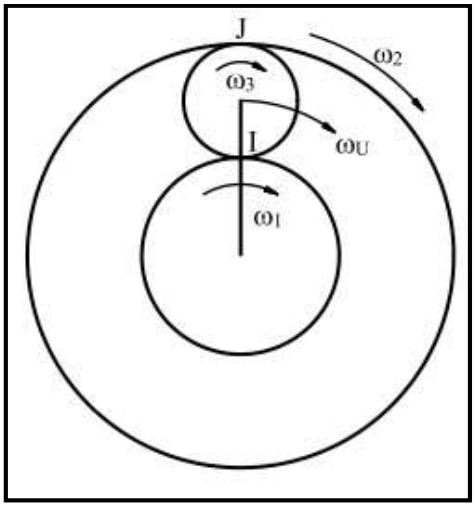


Figure 2.12 : Répartition de vitesses dans un train épicycloïdal [9]

En applique la formule de Willis,pourla détermination de la relation cinématique entre les trois paramètres ω1, ω3 et ω4 se fait en considérant l'arbre qui sort du moteur lié au porte-satellites 4.

Un observateur en rotation synchronisée avec le porte-satellites voit le TE fonctionner comme un train simple. Les vitesses relatives de pignon 1 et 3 valent respectivement ω1-ω4 et ω3– ω4.

On identifie la formule de Willis (2.14) avec notre système, on trouve:

$$\lambda = \frac{\omega 3 - \omega 4}{\omega 1 - \omega 4} \tag{2.16}$$

Ce qui s'écrit aussi sous une forme plus linéaire :

$$\omega 3 - \lambda\, \omega 1 + (\lambda - 1)\, \omega 4 = 0 \tag{2.17}$$

Les différents modes de fonctionnement

CAS 1 : Lorsque le moteur est en marche mais on est à l'état neutre

La pompe hydrostatique étant à l'état neutre (α=0) donc on n'a pas de résistance du coté pompe mais on en a du coté mécanique donc le planétaire (1) est fixe le mouvement est transmis vers la couronne (3), autrement dit $\omega 1 = 0$. (Figure 2.13).

$$i = \frac{\omega 3}{\omega 4} = \lambda + 1 \tag{2.18}$$

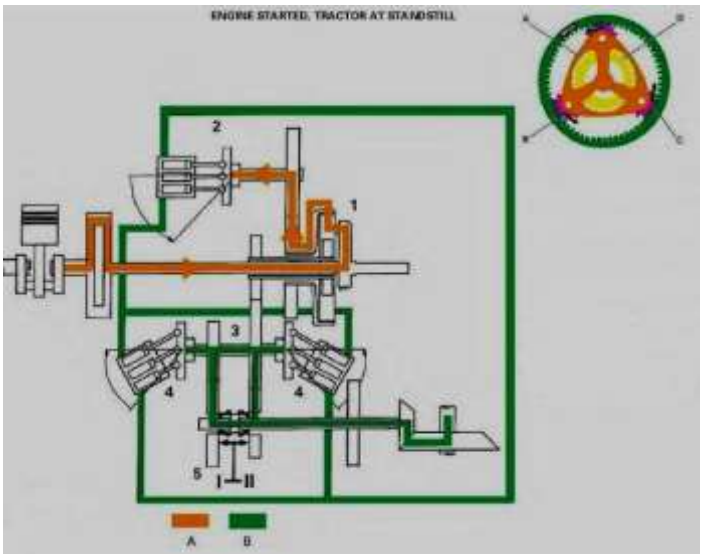


Figure 2.13 : Moteur en marche, la boite en point mort [12]

CAS 2 : Au démarrage, la pompe hydrostatique commence à s'incliner tout en créant une résistance sur la couronne, ce qui diminue la résistance sur la partie mécanique qui à son tour laisse le planétaire tourne. (Figure 2.14).

$$\frac{\omega 3 - \omega 4.}{\omega 1 - \omega 4} = \lambda \tag{2.19}$$

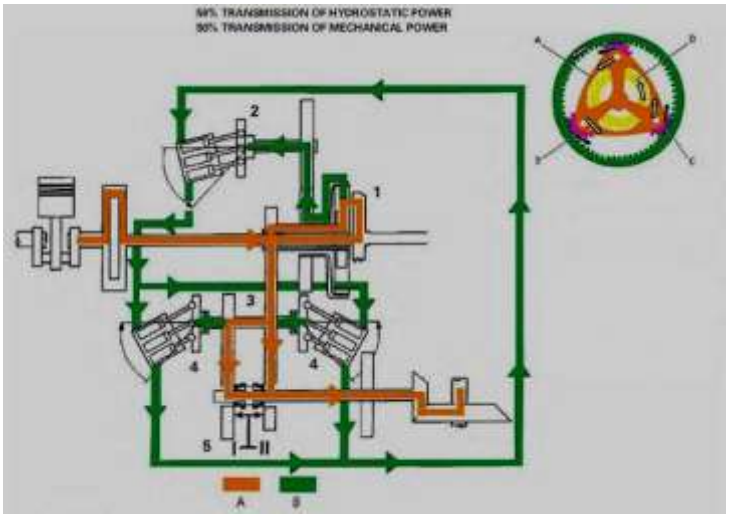


Figure 2.14 : Au démarrage en marche avant [12]

CAS 3 : En augmentant la vitesse la pompe hydro atteint son angle d'inclinaison maxi, c'est là où le moteur hydro commence à tendre vers une position neutre ce qui fait diminuer la résistance dans la partie mécanique, et étant la pompe est sous résistance, la courant se bloque et le planétaire reçois tout le couple provenant du moteur, autrement dit$\omega 3 = 0$. (Figure 2.15)

$$\frac{\omega 1.}{\omega 4} = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \tag{2.20}$$

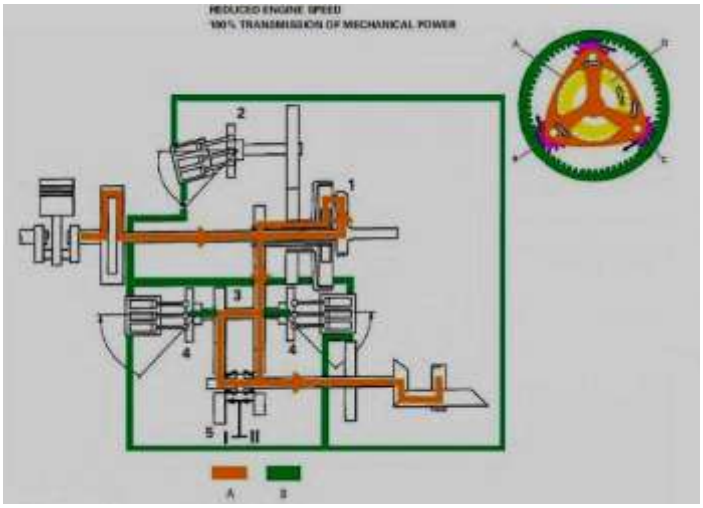


Figure 2.15 : Le système en vitesse maximale [12]

CAS 4 : Et pour inverser le mouvement (marche arrière), la pompe peut pivoter suivant un angle positif ou négatif. Si, à partir de la position 0°, la pompe prend un angle négatif, le sens de rotation du moteur hydro s'inverse et le planétaire tourne dans le sens inverse. (Figure2.16)

$$\frac{\omega 3 - \omega 4.}{\omega 1 - \omega 4} = \lambda \tag{2.21}$$

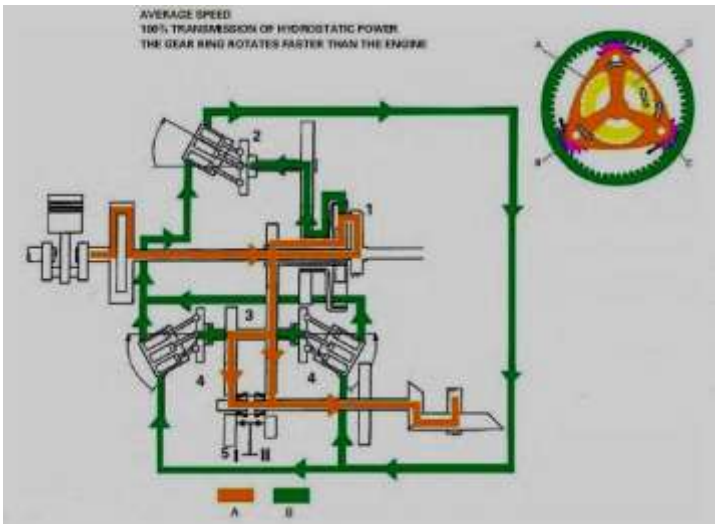


Figure 2.16 : Le système en marche arrière [12]

C'est à partir de ces relations qu'on détermine l'expression du rapport du train épicycloïdal en associant l'équation (2.8).

$\omega_p = \frac{2y}{x}\omega_M$;

$\frac{\omega_M}{\omega_1} = -\frac{R_{1M}}{R_M}$;

$\frac{\omega_P}{\omega_e} = \frac{2y}{x} * \frac{\omega_M}{\omega_e}$;

$\omega_p = \frac{-R_{3p}}{R_p} * \omega_{3p}$;

$\omega_{3p} = \omega_p$;

$\omega_4 = \frac{\omega_3 R_3 - \omega_2 R_2}{R_3}$;

$\omega_2 = \frac{2 * R_1 R_3}{R_3^2 - R_1^2}(\omega_3 - \omega_1)$;

On aura :

$$\frac{\omega_P}{\omega_e} = \frac{-R_{3p}}{R_p} * \frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{-R_{3p}}{R_p}\left[1 - \lambda + \frac{\omega_1}{\omega_4}\lambda\right] \tag{2.22}$$

D'autre part on aura :

$$\frac{\omega_M}{\omega_e} = \frac{-R_{3p}}{R_p} * \frac{x}{2y}\left[1 - \lambda + \frac{\lambda}{\omega_e} * \frac{-R_M * \omega_M}{R_{1M}}\right] \tag{2.23}$$

On injecte l'équation (2.22) dans l'équation (2.23), et après simplifications et application numérique, on aboutit à :

$$\frac{\omega_M}{\omega_e} = \frac{\omega_M}{\omega_m} = \frac{0.675x}{y + 0.37x} \tag{2.24}$$

C'est l'équation du rapport de vitesses de notre boite de vitesse CVT.

Comme en remarque la transmission par la boite de vitesse CVT et différente des autre transmissions qu'ils ont un rapport de vitesse limité, par contre, la boite de vitesse CVT offre des rapports de vitesse infinis, comme le montre la (Figure 2.17)

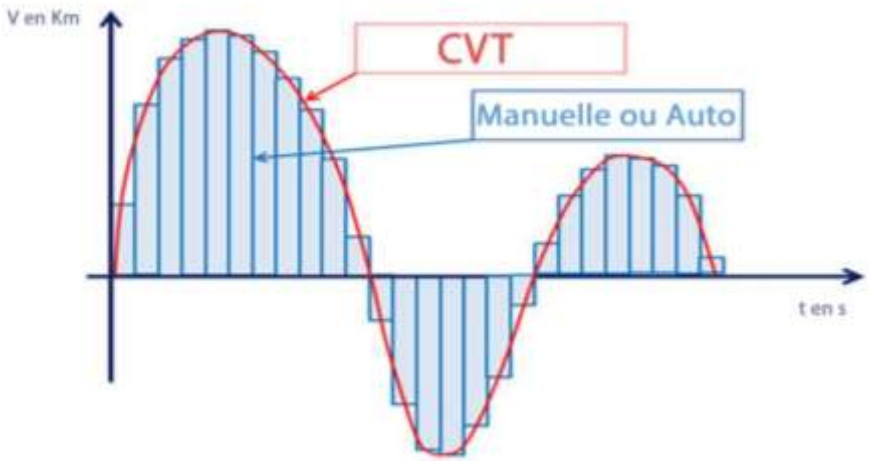


Figure 2.17 : Rapport de vitesse infini pour la CVT

À partir de l'équation (2.24) on trace la courbe de variation de rapport de vitesses, suivant les modes de fonctionnement.

Commençant par accélération en la marche avant : de x = 0 et y = 1 jusqu'à x = 1 et y = 0

Puis décélérer jusqu'à le point mort : de x = 1 et y = 0 jusqu'à x = 0 et y = 1

Puis accélérer en marche arrière : de x = 0 et y = 1 jusqu'à x = -0.67 et y = 1

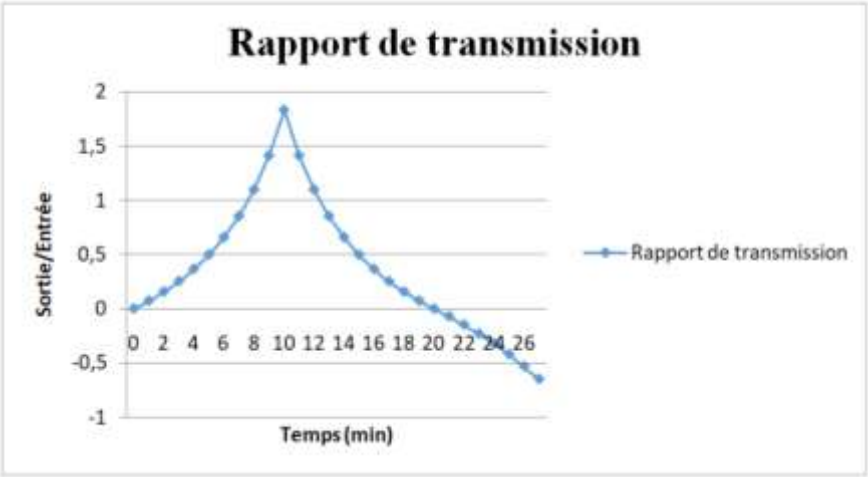


Figure 2.18: La courbe de variation de rapport de transmission

Pour vérifier si le système est adapté aux exigences de vitesses du tracteur MF-7150, en plus de l'expression de rapport de transmission(2.24), on doit connaitre le rapport de transmission du pont arrière (R_{pont}= 3.14) et le diamètre de la roue et (D_{roue}=1.4m).Il s'agit d'un tracteur à traction 4x2 donc le calcul est simple (Figure 2.19).

$$\frac{\omega_s}{\omega_m} = \frac{\omega_M}{\omega_m} * \frac{\omega_s}{\omega_M} = \frac{0.675x}{y+0.37x} * \frac{\omega_s}{\omega_M} = \frac{0.675x}{y+0.37x} * R_{pont} \quad (2.25)$$

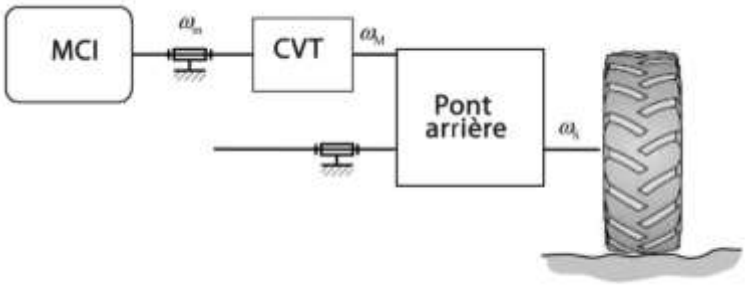


Figure 2.19 : Schéma de transmission globale

On tien compte ainsi de l'évolution de vitesse, sur la (Figure 2.20) :

- Courbe (1) : 1 = y , x variant de -0,71 à 1.
- Courbe (2) : 1 = x , y variant de 0 à 1.

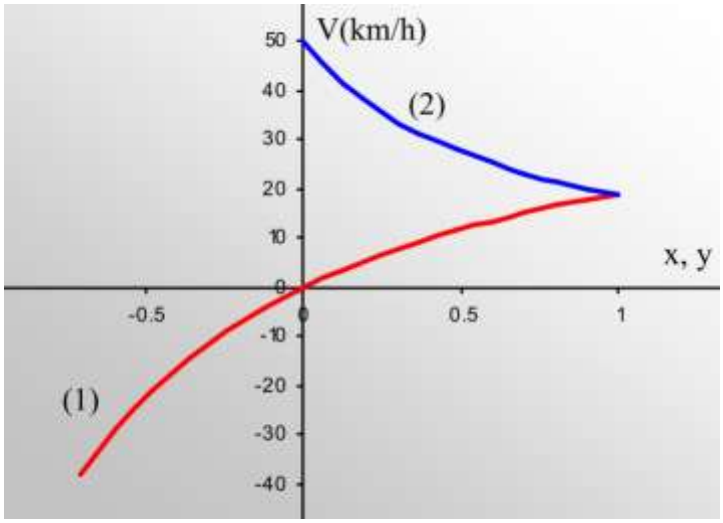


Figure 2.20 : Courbe d'évolution de la vitesse en fonction de x et y

Dans le cas où les exigences ne sont pas satisfaites, on joue sur le diamètre des pignons dans la boite CVT, ou on propose un autre pont arrière qui vérifie les conditions.

2.4.5 Analyse de la répartition de la puissance

Si on appelle C1, C3 et C4 les couples appliqués par l'extérieur sur le TE sur les pignons 1, 3 et 4, l'équilibre nous donne :

$C3 + C1 + C4 = 0$ (1)

Si on considère l'hypothèse que le rendement est conservé, on a :

$C3\omega3 + C1\omega1 + C4\omega4 = 0$ (2)

Ce qui donne, associé à la relation de Willis :

$\omega3 - \lambda\,\omega1 + (\lambda - 1)\,\omega4 = 0$

Ces trois relations sont liées, puisque le théorème de l'énergie-puissance est une combinaison du PFD et de la cinématique. [10] En exprimant que les relations (2) et (3) sont proportionnelles, on déduit rapidement que les couples sont liés entre eux, si le rendement vaut 1, par :

$$C3 = \frac{-C1}{\lambda} = \frac{C4}{\lambda - 1} \tag{2.26}$$

On note :

*$P_m = C_m\omega_m = C_4\omega_4$ la puissance fournie par le moteur thermique.

*$P_H = C_p\omega_p = C_3\omega_3$ la puissance transmise à la pompe ou puissance hydraulique.

*$P_M = C_1\omega_1$ la puissance migrant par le planétaire 1 ou puissance mécanique.

$\omega_p = \frac{2y}{x}\omega_M$;

$\frac{\omega_M}{\omega_1} = -\frac{R_{1M}}{R_M}$;

$\frac{\omega_P}{\omega_e} = \frac{2y}{x} * \frac{\omega_M}{\omega_e}$;

On a la relation suivante qui lie P_m, P_H et P_M :

$$P_m = P_H + P_M \tag{2.27}$$

Après calculs et simplifications, on obtient l'expression de la puissance hydraulique $P_H$en fonction de la puissance mécanique.

$$P_H = \frac{135y}{325y + 265x} * P_m \tag{2.28}$$

C'est l'équation qu'explique le fait de cette boite qui associe les deux systèmes hydraulique et mécanique. La démultiplication se situe au niveau des engrenages épicycloïdaux.

En gros, il s'agit de couper en deux la force du moteur pour les réassocier à un autre endroit dans le but de créer une démultiplication différente.

La courbe sur la (Figure 2.21) montre, à titre indicatif, l'évolutiondu rapport P_H/P_Men fonction de la vitesse d'avancement du tracteur.

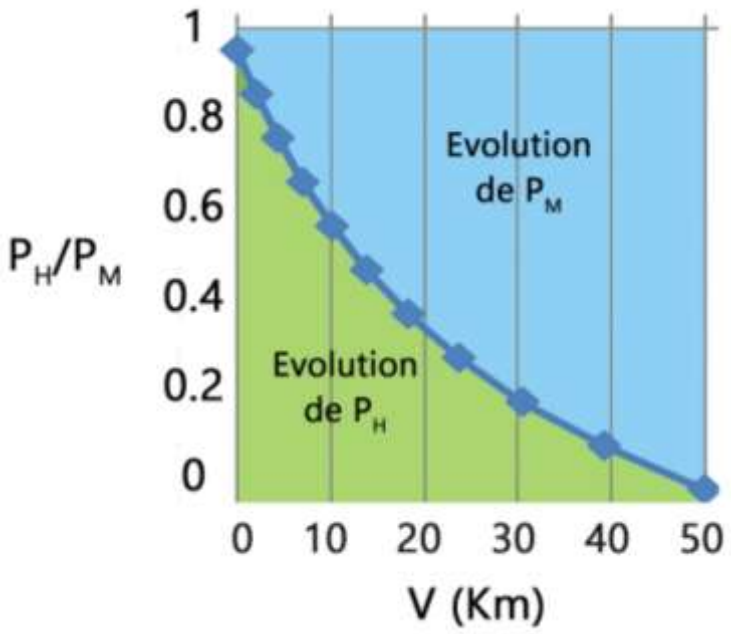


Figure 2.21 : Répartition des puissances hydrauliques et mécaniques

2.4.6 Dimensionnement des arbres

$$\tau = \frac{M_t * \frac{d}{2}}{I_0} < R_p \tag{2.29}$$

Avec $I_0 = \frac{\pi * d^4}{32}$, $R_p = \frac{0.5\ R_e}{k}$ et $M_t = C\ (couple)$

⇨ $\frac{16*C}{\pi*d^3} < R_p$

⇨ $d^3 > \frac{16*C}{\pi*R_p}$

On déduit l'expression de diamètre de l'arbre :

$$d > \sqrt[3]{\frac{16 * C}{\pi * R_p}} \tag{2.30}$$

$R_p = \frac{0.5\ R_e}{k}$(Re=785.59 MPa : limite d'élasticité de l'arbre, k = 2 : Coefficient de sécurité)

⇨ $R_p = \frac{0.5*785.59}{2} = 196\ MPa$

⇨ D'où : $d > \sqrt[3]{\frac{16*C}{\pi*R_p}} = \sqrt[3]{\frac{16*677}{\pi*196}} = 25\ mm$

2.4.7 Dimensionnement des pignons

On présente la méthode de calcul pour le pignon planétaire, puis on structure le résultat des autres pignons dans un tableau.

Module réel du pignon :

La détermination du module n'a jamais été un calcul facile. Il existe plusieurs modèle pour déterminer un tel paramètre : le modèle de Lewis simplifié ou encore le modèle de Lewis simplifié amélioré.

L'adoption du modèle de Lewis simplifié doit vérifier certaines hypothèses qui sont bien présent pour notre cas d'étude :

- La dent est une poutre encastrée.

- Un seul couple de dent en prise.

- L'effort radial est négligeable.

- Le contact est linéique rectiligne et la répartition des efforts, par unité de longueur, est uniforme.[11]

La formule de Lewis simplifiée

$$m \geq 2.34\sqrt{\frac{F_T}{K.\sigma_P}} \tag{2.31}$$

$$\begin{cases} F_T : Efforttangentiel \\ \sigma_P = \dfrac{\sigma_e}{s} : Contraintepratiqueàl'extension \\ K = \dfrac{b}{m} : Coefficientdelargeurdelaroue \end{cases}$$

On ignore le comportement du matériau lors de la sollicitation et on prend le coefficient de sécurité **s=4**, et la contrainte pratique à l'extension est $\boldsymbol{\sigma_p = 470}$. Le coefficient K varie de (8 à 12) plus il est important plus le largeur de dent est grande et plus le système est encombré. Donc on choisiK=9**.**.

Calculons maintenant l'effort tangentiel que subit la dent du planétaire :

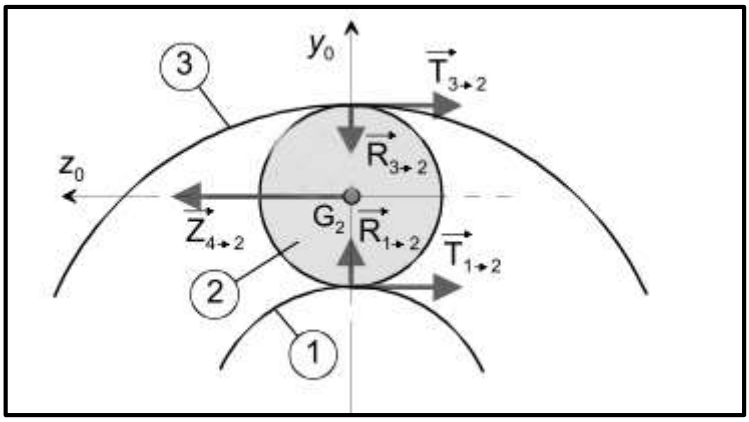


Figure 2.22: Répartition de force sur le train épicycloïdal

Pour obtenir l'effort tangentiel appliqué sur le planétaire il faut faire un bilan de force sur un satellite. Les efforts appliqués sur un satellite sont : La force appliqué des satellites sur le planétaire (puisqu'ils sont radiales et le fait d'avoir trois satellites, les forces s'annulent entre eux), et les efforts radiales de 3sur2 et de 1sur2 s'annulent entre eux. Donc ce qu'il reste : La force appliquée par le porte-satellites$\overrightarrow{Z_{4\to2}}$, la force appliquée par la couronne $\overrightarrow{T_{3\to2}}$ et la force appliqué par le planétaire $\overrightarrow{T_{1\to2}}$.

$$\overrightarrow{Z_{4\to2}} + \overrightarrow{T_{3\to2}} + \overrightarrow{T_{1\to2}} = 0 \tag{2.32}$$

$$Z_{4\to2} = 2 * T \qquad ==> T = \frac{Z_{4\to2}}{2} \tag{2.33}$$

Avec$T_{1\to2} = T_{3\to2} = T$

On a :

$$C_m = C_4 = n * (Z_{4\to2} * R_4) = n * [Z_{4\to2} * (R_{12} + R_2)] \tag{2.34}$$

Avec : n=nombre de satellites

$$==> Z_{4\to2} = \frac{C_m}{n * (R_{12} + R_2)} = \frac{677}{3 * (0.06 + 0.03)} = 2507{,}40\ N$$

$$==> \boldsymbol{T} = \frac{\boldsymbol{Z_{4\to2}}}{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{2507.40}}{\mathbf{2}} = \mathbf{1253.70}\boldsymbol{N}$$

On revient pour calculer le module du planétaire :

$$m \geq 2.34\sqrt{\frac{F_T}{K.\sigma_P}}$$

$$==> m \geq 2.34\sqrt{\frac{1253.70}{9*150}}$$

$$==> m \geq 2.225$$

À partir du tableau des modules normalisés, on trouve la valeur proche du module, **m=2.5mm**.

On en déduit le nombre de dents du planétaire : $Z_1 = \frac{D_1}{m} = \frac{2*60}{2.5} = 48$

Donc $\boldsymbol{Z_1 = 48dents}$

Pour être plus précis et en connaissant le nombre de dent, on recalcule le module plus précisément avec la méthode de Lewis simplifiée amélioré :

$$m \geq \sqrt{\frac{F_T}{K.y.\sigma_P}}$$

Pour un angle de pression α = 20°, le tableau suivant donne les valeurs du coefficient de forme y pour une denture normale en fonction du nombre de dents.

Tableau 2.8 : Valeur du coeficient de forme y pour une denture normale et α = 20° [9]

Z	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24
y	0,230	0,243	0,255	0,266	0,276	0,285	0,293	0,301	0,308	0,314	0,320	0.331
Z	26	28	30	34	38	45	50	60	75	100	150	300
y	0.340	0,348	0,355	0,367	0,377	0,391	0,399	0,410	0,423	0,436	0,449	0,464

On effectue une interpolation pour déduire le facteur y pour 48 dents :

On trouve $y = (0.391 - 0.399) * \frac{50-48}{50-45} + 0.399 \quad ==> \boldsymbol{y = 0.396}$

$$m \geq \sqrt{\frac{1253.70}{9*0.396*150}} = 2.33\,mm$$

Les modules normalisés vont de 0,5 à 50 mm et sont subdivisés en trois séries :

Principale, secondaire et exceptionnelle. Il est recommandé de choisir de préférence les modules de la série principale et d'éviter l'emploi des modules de la série exceptionnelle. Le tableau suivant donne les valeurs des modules normalisés usuels.

Tableau 2.9 : Modules normalisés usuels [9]

Modules normalisés usuels	
Série principale	1 ; 1,25 ; 1,5 ; 2 ; 2.5 ; 3 ; 3,5 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 16 ; 20
Série secondaire	1,125 ; 1,375 ; 1,75 ; 2,25 ; 2,75 ; 3,50; 4,50; 5,50 ; 7; 9 ; 11; 14 ; 18
Série exceptionnelle	0,75 ; 3,25 ; 3,75 ; 6,50

Donc le module est : **m=2.5mm**

Ce qui implique : $\boldsymbol{Z_1 = 48dents}$

Largeur du pignon

Elle est déduite techniquement de la relation suivante

$$\boldsymbol{b = K * m\ , k \in [8\ ; 12]} \qquad (2.35)$$

On a fixé précédemment le facteur de qualité **K=9,** donc la largeur de denture estimée est :

b= k*m =9*2.5 ➔ b=22.5

Une telle valeur parait faible, et pour s'assurer que notre pignon de largeur 22.5mm résiste bien à l'effort tangentiel, on le teste dans le simulateur SolidWorks. Pour chaque valeur du facteur de qualité (8, 9, 10, 11 et 12) on associe le coefficient de sécurité proposé par le simulateur, et on décidera par la suite quel facteur de qualité doit-on prendre.

Tableau 2.10 : Optimisation du facteur de qualité

Facteur K	8	9	10	11	12
Largeur b	20	22.5	25	27.5	30
Coef. de sécurité s	2	2.7	3	3.2	3.3

En effectuons une étude de résistance de la dent pour chaque facteur (Figure 2.23), on constate que la valeur optimale de k est **k=10** avec un coefficient de sécurité **s=3** et le module **m=2.5mm.**

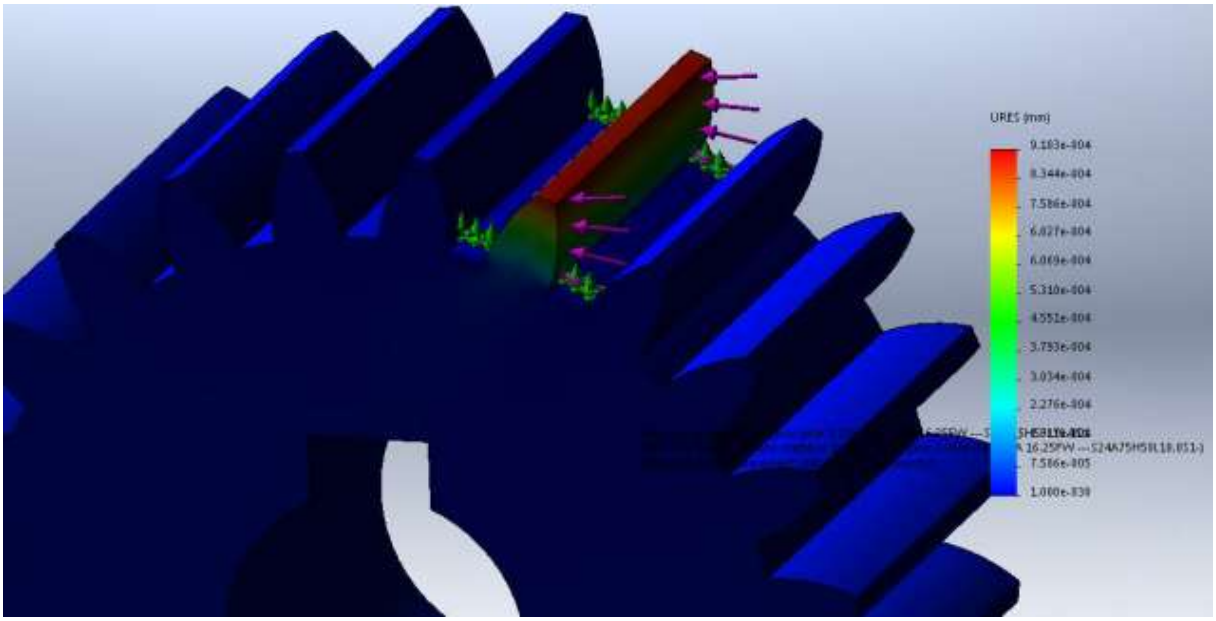


Figure 2.23 : La denture est sollicitée en flexion

Il reste à déterminer les autres paramètres :

Tableau 2.11 : Les paramètres complémentaires du pignon

Paramètre	**Formule**	**Valeur (mm)**
Hauteur de saillie	h_a=1*m	2.5
Hauteur de creux	h_f=1.25*m	3.125
Pas	p=π.m	7.875

On refait la même méthode et les mêmes démarches pour déterminer les paramètres des autres pignons, on présente ces paramètres dans le tableau suivant :

Tableau 2.12 : Les paramètres de tous les pignons

Pignon / Paramètre	P_{12}	P_{1M}	P_2	P_{32}	P_{3P}	P_P	P_M	$P_{M'}$	P_R	$P_{R'}$
d_p(mm)	120	66	60	240	108	120	108	96	84	96
m (mm)	2,5	2,25	2,5	2,5	2	2	2,25	2,25	2,25	2,25
Z	48	29	24	96	54	60	48	43	37	43
b (mm)	25	20,25	25	25	20,4	20,4	20,25	22,5	20,25	22,5
h_a (mm)	2,5	2,25	2,5	2,5	2	2	2,25	2,25	2,25	2,25
h_f (mm)	3,125	2,8125	3,125	3,125	2,5	2,5	2,8125	2,8125	2,8125	2,8125
p (mm)	7,85	7,065	7,85	7,85	6,28	6,28	7,065	7,065	7,065	7,065

2.5 Conception par SOLIDWORKS :

Après avoir calculé tous les dimensions on peut maintenant concevoir notre système sous le logiciel SOLIDWORKS, pour qu'on puisse effectuer des simulations de mouvement et de résistance de matériaux ainsi vérifier la cinématique du système.

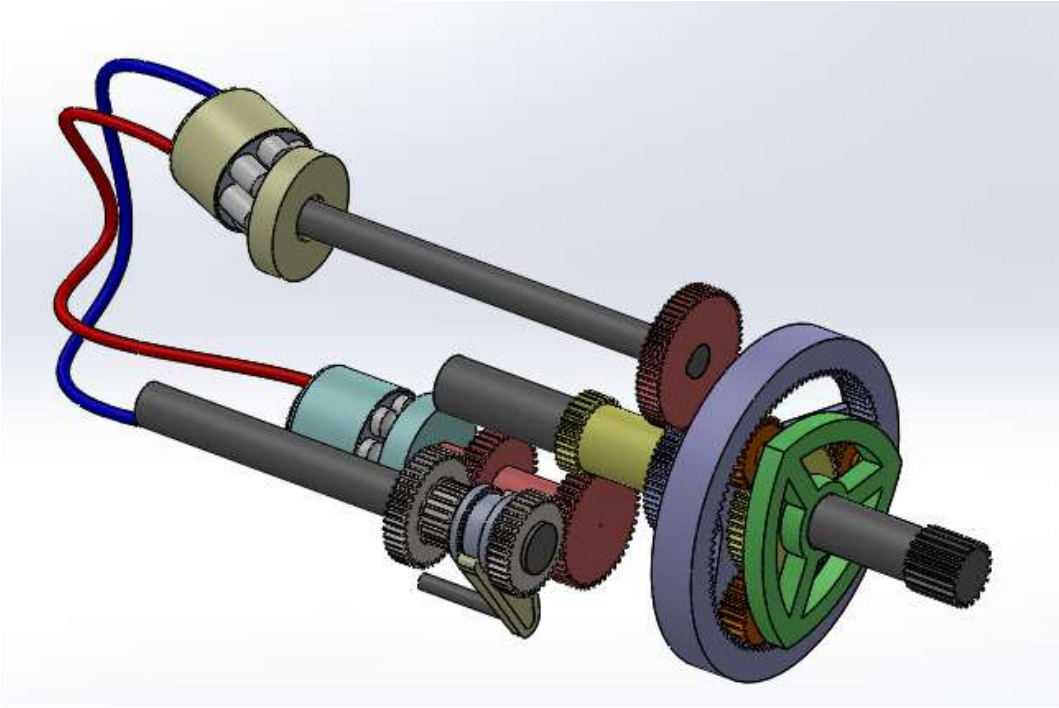


Figure 2.24 : Système conçu par SOLIDWORKS

Après la conception de tout le système, on effectue :

1- Une analyse de mouvement (Figure 2.25)
2- Définir le moteur d'alimentation (MCI) dans notre système (Figure 2.26)
3- Définir les corps qui doivent être en contact pour éviter l'entrée dans la matière (Figure 2.27). Il faut faire attention ! on ne doit pas définir les contraintes des pignons, puisqu'en les ajoutant comme des corps, et s'ils sont bien conçus, ils vont rentrer en contact et le système fonctionnera.

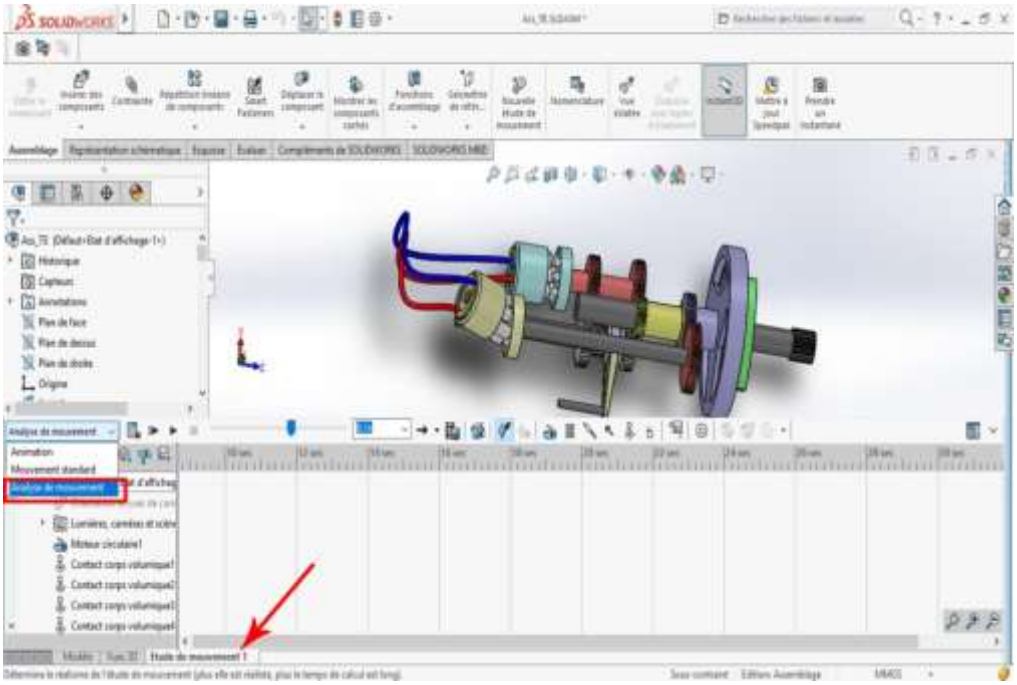


Figure 2.25 : Accéder à l'analyse de mouvement

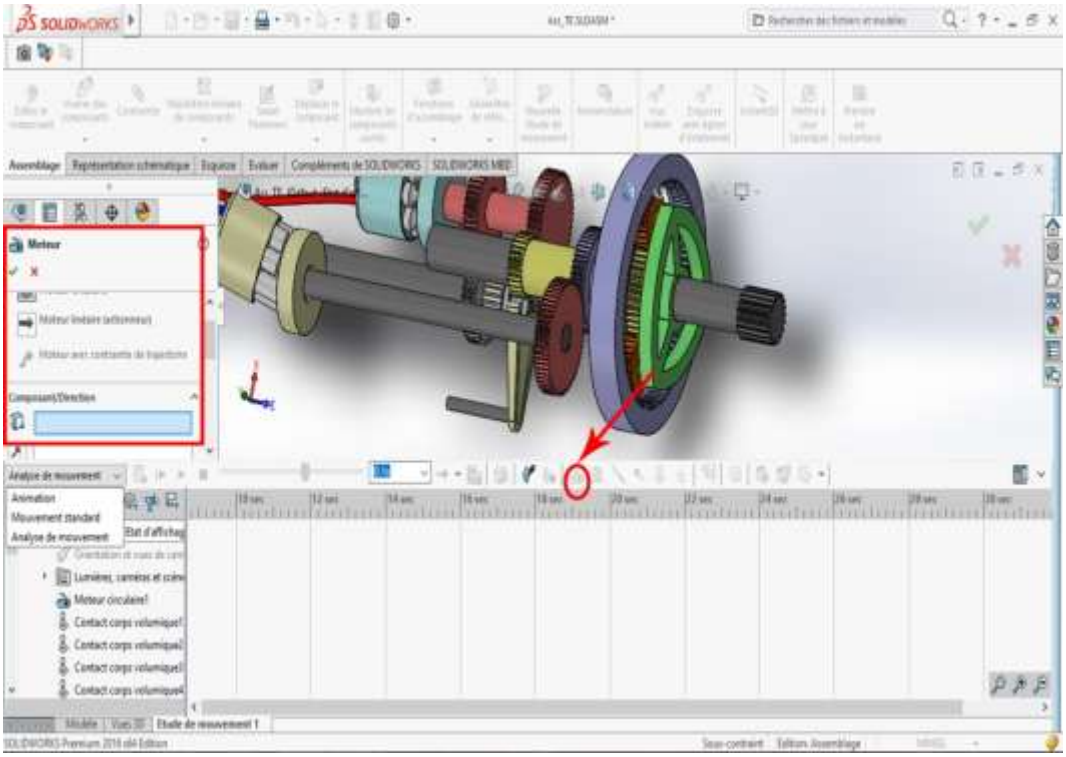


Figure 2.26 : Définir le moteur d'alimentation

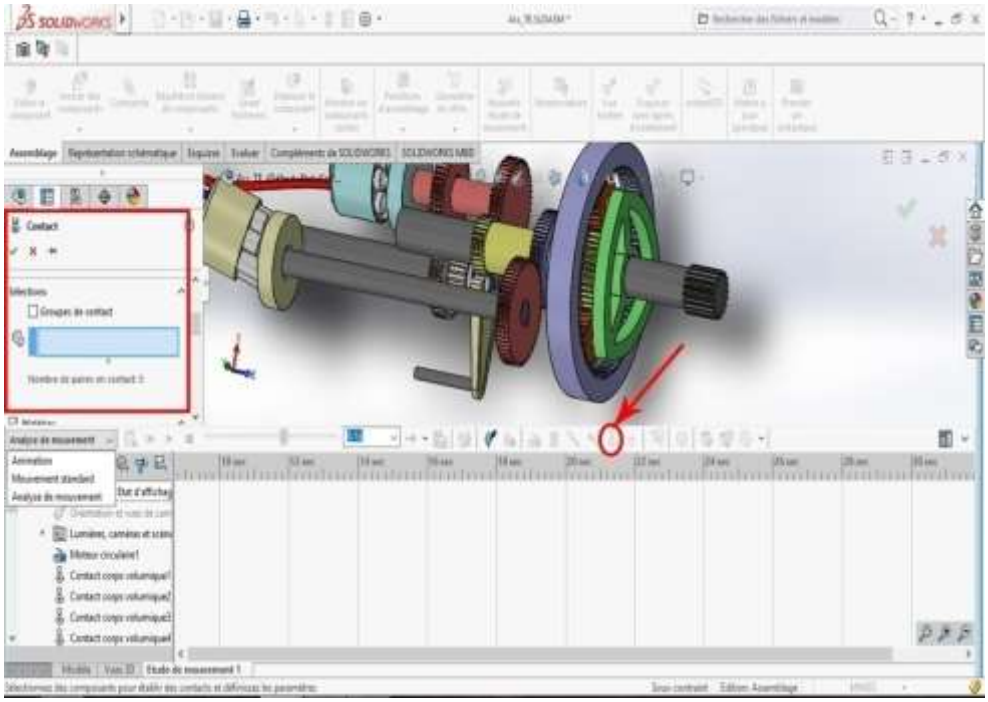


Figure 2.27 : Définir les contacts

Exemple de force de contact :

On peut grâce au système conçu par SOLIDWORKS, prélever n'importe qu'elle valeur dynamique ou cinématique.

- Force de contact
- Puissance du moteur requise pour faire fonctionner un tel système
- La fréquence de rotation de chaque élément
- La résistance du matériau à n'importe quel moment …

Par exemple on prélève la grandeur de la force de contact entre le pignon satellite et le pignon planétaire :

1- On clique sur l'icon de génération des graphs
2- On sélectionne les deux faces de chaque pignon qui vont rentrer en contact.
3- On choisit comme options : Force →Force de contact →Amplitude
4- Le graphe sur la (Figure 2.28).

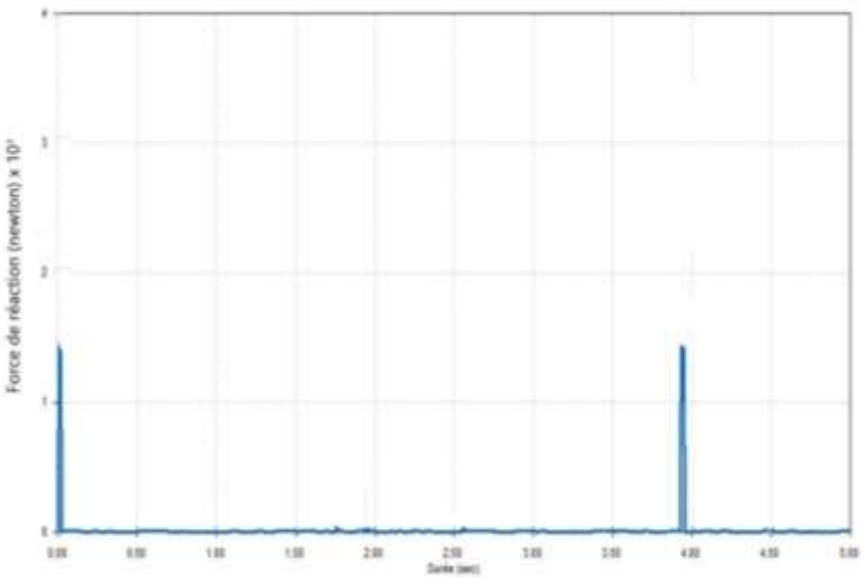


Figure 2.28 : Le graphe de la force de contact entre le satellite et le planétaire

2.6 Conclusion

Après cette étude, on constate que la boite de vitesse CVT est une boite compliquée premièrement dans son fonctionnement, on trouve que pour chaque mode de fonctionnement, les angles d'inclinaison doivent avoir une certaine valeur. Ainsi pour le choix du matériau doit se faire d'une façon itérative, on fait notre choix, on effectue des simulations puis on refait le choix jusqu'à arriver au matériau optimal.

Chapitre 03: Procédés de fabrication

3 Chapitre 03 : Procédés de fabrication

3.1 Introduction

Ce présent projet est, non seulement, destiné à concevoir une machine mécanique à intégrer dans une voiture particulière, mais aussi à étudier sa réalisation réelle et en faire le bilan économique.

L'étude de réalisation comporte l'ensemble du mécanisme (en excluant les petits éléments, comme : les vis, les écrous, colliers, joints d'étanchéité…etc). On déterminera les meilleurs procédés de fabrication en termes de qualité, prix et temps nécessaire pour effectuer les opérations désignées.

Le travail présenté ici concerne le domaine de la conception et l'intégration de produits mécaniques en grande série. La démarche de conception - fabrication concerne ici des familles de produits connus, pour lesquels on souhaite améliorer les performances. Les principaux objectifs sont l'amélioration de la qualité des produits ainsi que la réduction de la durée du cycle de conception, fabrication et contrôle. Ceci sera rendu possible ici par une meilleure formalisation et intégration des connaissances en conception et fabrication.

3.2 Liste des pièces à fabriquer

Nous avons vu dans le chapitre 02 l'ensemble des trois éléments à concevoir et qui sont : Les arbres (arbre moteur, arbre de pompe hydraulique et arbre du moteur hydraulique), le porte-satellites (à trois satellites) et les pignons (dix pignons).

Des pièces qui n'ont pas été traitées dans le chapitre 02 auront leur part dans l'étude de fabrication :

- Le socle de la boite
- Le carter
- Autres éventuelles pièces complémentaires

On rappelle que toutes les pièces citées ci-dessus doivent être fabriquées en Algérie, Et celles qui n'ont pas été citées seront importées de l'étranger, éventuellement de Chine, de l'inde et de la Turquie. On doit savoir que le sens de l'expression « intégrer en Algérie » ne veut pas dire fabriquer tout dans notre usine mais on peut s'aider des constructeurs algériens pour la fabrication de quelques pièces pour gagner en terme de temps et d'argent ainsi conserver le but d'intégration. La sous-traitance fait gagner beaucoup de temps et d'argent aux constructeurs même à grand échelle. On peut citer l'exemple du constructeur d'avion AIRBUS qui intègre des pièces partielles comme l'aileron et qui sont fabriquées dans des pays voisins. En Algérie en trouve comme exemple l'entreprise GERMAN qui fabrique les chariots élévateurs qui sous-traite toutes les pièces moulées avec la fonderie ALFET de Tiaret. A l'heure actuelle il n'existe pas d'entreprise productrice à 100%, la fabrication totale nécessite un très grand investissement et qui engendre un grand risque, et de plus ça prive des dizaines de milliers de chômeurs de décrocher des jobs.

3.3 La mise en œuvre des pièces

Pour chaque pièce à fabriquer, on illustre le procédé total de sa fabrication en démarrant de la pièce brute jusqu'à avoir le produit final. Il est à savoir que la quantité annule à fabriquer est 500 unités (500 pour MF-7150), on peut ainsi élargir le marcher avec d'autres fabricants de tracteurs en Algérie tels que : ETRAG, CIRTA et LANDINI …etc. avec un volume potentielle annuelle estimé de 500 unité, en additionnant les pièces de rechange, avec un pourcentage de 10% de la pièce d'origine, cela devient 1100 unités par an. La cadence de la fabrication apparait petite, mais on doit oublier qu'on ne va pas consacrer toute une usine pour la fabrication des boites de vitesses, mais on aura aussi à intégrer les ponts avant, arrière et éventuellement la boite de transfère. Donc on doit s'intéresser en premier lieu au paramètre de temps.

I- Usinage des pignons :

Les procédés de taillage des engrenages :

Les stratégies d'industrialisation des dentures sont directement lies à la cadence de production, ainsi qu'à la classe de précision pour l'application. Les stratégies développées par les fabricants de boîtes de vitesses dépendent des critères suivants :

- Prix de revient des dentures finies.

- Précision macro et micro-géométrique.
- Acoustique des engrenages en fonctionnement.

Les techniques d'ébauche des dentures sont multiples. Elles vont de la méthode artisanale à la méthode de production de masse, car cette phase est commune à toutes les gammes de fabrication de dentures. Il est possible de distinguer les techniques suivantes :

A- Fraise module.

B- Taillage à l'outil crémaillère.

C- Taillage par reproduction.

D- Taillage à la fraise-mère.

Ces techniques permettent d'atteindre des classes de tolérance de l'ordre de 9 à 10. Ces 4 techniques de génération de dentures ne sont donc pas en mesure de réaliser des dentures finies. Chacune de ces techniques est décrite brièvement dans les paragraphes suivants.

A- Fraisage à la fraise module [13]

Cette technique fait partie des techniques les plus simples. Elle fait appel à des fraises de formes spécifiques en acier rapide ou en carbure de tungstène. Les dentures sont réalisées sur des fraiseuses manuelles ou occasionnellement sur un centre d'usinage 5 axes. Il s'agit d'une technique de production de dentures en très petite série, facile à mettre en œuvre, mais présentant une productivité très faible, ainsi qu'un coût machine et un coût outil très élevés.

Son avantage : Elle est facile à mettre en œuvre.

- Ces inconvénients :
- Très faible productivité ;
- Coût machine élevée ;
- Coût outil élevé.

Figure 3.1 : Taillage à la fraise disque

B- Taillage à l'outil crémaillère [13]

Cette technique, développée par l'ancienne société MAAG, autorise le taillage de dentures en utilisant le principe d'engrènement d'une crémaillère et d'une roue dentée. Cette technique, dite de génération, utilise des peignes en acier rapide munis d'un mouvement alterné permettant de couper la matière. Cette technique très lente nécessite des machines spécifiques et mises en œuvre par des opérateurs hautement qualifiés. Elle est donc réservée à des applications de très petites séries à haute valeur ajoutée (roues de très gros diamètres). Elle présente cependant un avantage intéressant, car les outils étant de géométries très simples, ils sont facilement et rapidement réalisables. Cela permet la fabrication de dentures prototypes.

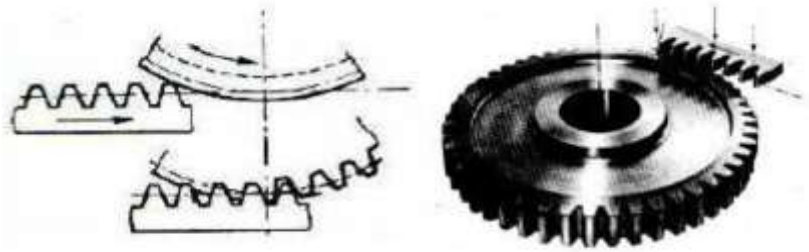


Figure 3.2: Taillage à l'outil crémaillère

C- Taillage par reproduction [13]

Ce procédé est basé sur l'emploi d'une fraise disque confectionnée d'après les profils des dents. Son profil tranchant épouse la forme de l'entre dent. La fraise tourne et se déplace en translation suivant la génératrice latérale de la dent. A chaque passe de la fraise le long de l'axe de la roue on obtient un entre dent. Ayant parcouru toute la largeur de l'entre dent, la fraise revient à sa position initiale; après quoi la roue à tailler tourne d'un angle $\gamma = \frac{2\pi}{Z}$ où Z est le nombre de dents de la roue à tailler et l'opération reprend pour tailler la dent suivante.

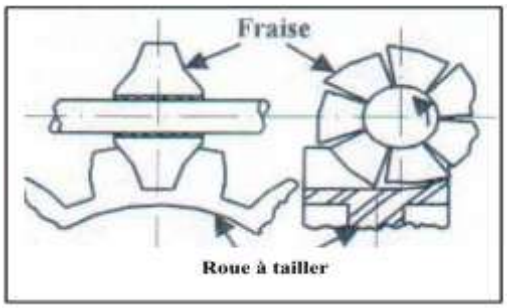


Figure 3.3 : Taillage par reproduction

D- Taillage par fraise-mère [13]

Le taillage par outil fraise-mère est de loin le plus utilisé des procédés de génération de dentures à développante de cercle. Le taillage à la fraise-mère utilise le principe du système roue et vis-sans fin (fig. II.6). La pièce à tailler étant la roue et la fraise-mère étant la vis-sans-fin. La fraise-mère est une vis-sans-fin, munie de goujures créant des dents. Pour un tour de fraise-mère, la roue s'est déplacée d'un pas circulaire. Si par exemple la fraise est une vis à un filet et que la roue à tailler doit avoir z dents, la fraise devra faire z tours pendant que la roue à tailler ne fera qu'un seul tour.

Si la fraise est à Z_o filets, elle devra faire Z/Z_o tours pendant que la roue à tailler ne fera qu'un seul tour. Lors du taillage, les deux objets sont en rotation à vitesse constante selon un rapport :

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{Z}{Z_0} \tag{3.1}$$

Avecω:Vitesse de rotation de la pièce à tailler (tr/min),

ω_0 :Vitesse de rotation de la fraise-mère (tr/min).

Les dents possèdent une dépouille (un détalonnage) afin de ne pas frotter sur les surfaces usinées.

La fraise-mère est munie d'un mouvement d'avance selon la génératrice de la denture à tailler.

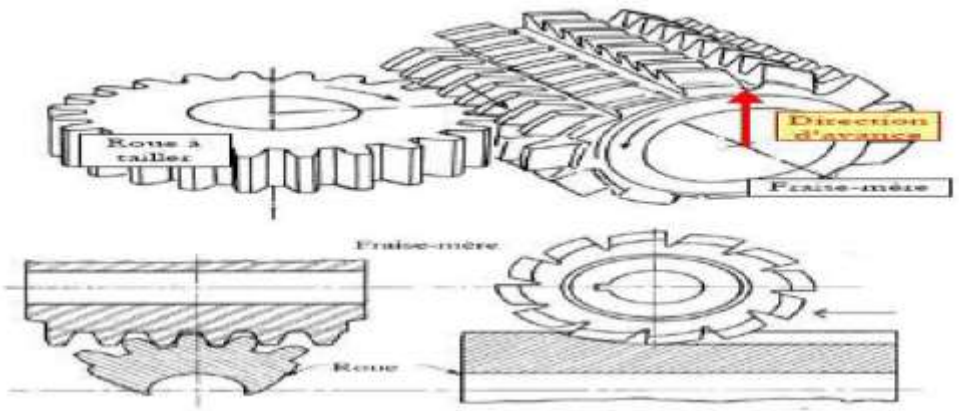


Figure 3.4 : Taillage à la fraise mère

On constate que la meilleure solution demeure de loin le taillage par fraise mère.

Abordons à présent le calcul du temps de coupe pour les procédés de taillage des engrenages par fraise mère. On exprime le temps de coupe t_c (Kapoustin et al. 1989) à l'aide de l'équation suivante :

$$t_c = \frac{(j * b_p + l_{eng} + l_{dég})}{n * f_{ax} * z'_{fr}} z \qquad (3.2)$$

Où :

j = nombre de roues taillées simultanément lors du contact de leurs faces.

b_p = largeur de la roue à tailler (mm).

z = nombre de dents de la roue à tailler.

n = fréquence de rotation de la fraise-mère (tr/min).

f_{ax} = avance axiale de la fraise (mm/tr).

z'_{af} = nombre de filets de la fraise (pour les roues à denture hélicoïdales).

En se référant à Kosilova et Metsherjakov (1985), on trouve l_{eng}, pour le taillage des engrenages à dents droites, comme suit :

$$l_{eng} \geq \sqrt{D_f * \square - h^2} \qquad (3.3)$$

Où, D_{fr}= diamètre extérieur de la fraise-mère(mm).

h = hauteur de la dent de la roue à tailler (mm).

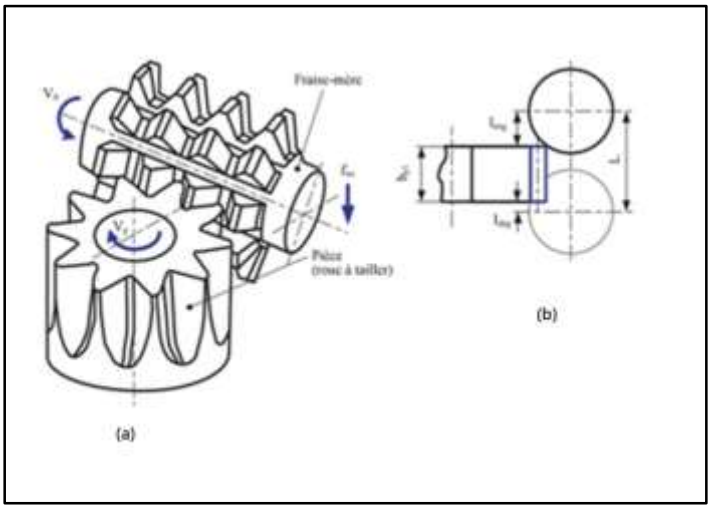


Figure 3.5 : (a) Fraise-mère (adapté de Scheipers et al.) ; (b) Translation de la fraise-mère [13]

Tableau 3.1 : Diamètre extérieur de fraise-mère Dfr en fonctiondu module m (adapté de Kosilova et Metsherjakov, 1985b)

Module m (mm)	D_{fr} (mm)	Module m (mm)	D_{fr} (mm)	Module m (mm)	D_{fr} (mm)
1	40	1,5 1,75 2,0	63	8	125
1,125 1,25 1,375	50	2,25 2,5 2,75	71	20	250

$l_{dég}$ prend la valeur 2 à 3 mm pour le taillage des engrenages cylindriques droits.

Pour le pignon planétaire P_{12},on a un module m=2.5 mm, on pose les conditions de coupe suivantes :

Ebauchage ===> f_{ax}= 2mm/tr et V= 50 m/min

La hauteur de la dent est égale à : h= 2.25 x m = 2.25 x 2.5 =5.625 mm

On tire la valeur du diamètre extérieur de la fraise-mère à partir du tableau, D_{fr}=71 mm

D'après l'équation :$leng \geq \sqrt{71 * 5.625 - 5.625^2} = 19.17mm$

On calcule la fréquence de rotation n de la fraise :

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * 63} = \frac{1000 * 50}{\pi * 63} = 252 \ \ tr/min$$

En posant $l_{dég}$= 2 mm on détermine t_c d'après l'équation :

$$t_c = \frac{(1 * 25 + 19.20 + 2) * 48}{252 * 2 * 1} = 4.4 \ min$$

Le temps nécessaire pour tailler un seul pignon planétaire en ébauche est de : 4.4 minutes. Celle de la finition est plus rapide et elle vaut 2 minutes (en augmentant la vitesse de coupe et d'avance verticale de la fraise-mère). Le temps total pour usiner complètement le pignon planétaire est de 6.4 minutes.

Puisqu'on a 11 différents pignons dont la dimension moyenne est égale à celle du pignon planétaire, on peut estimer le temps total pour usiner tout les pignons qui est 72 minutes, avec un temps moyen pour un seul pignon égale à 6.5minutes.

La prochaine équation permet d'estimer approximativement le nombre de machine à taillage par fraise-mère à commande numérique si l'on veut fabriquer annuellement 1100 unités, autrement dit 12100 engrenages par an :

$$N_M = \frac{12100\ pièces}{230\ jours * N_{PJ}} \tag{3.4}$$

Avec N_{PJ}, le nombre de pièces réalisés par jour et i vaut :

$$N_{PJ} = \frac{6\ \square eures * 60\ minutes}{6.5\ minutes} = 55\ pièces \tag{3.5}$$

Remplaçons le nombre de pièce dans la relation de N_M on aboutit à N_M =0.95. Si on inclue le temps secondaire (le temps de changement de l'outil et de fixation), les pièces défectueuses et les éventuelles pannes on aura le nombre de machine égale à 2, qui peuvent fonctionnées en parallèle ou une en marche et l'autre en stand-by.

Pièces brutes :

La pièce finale est illustrée dans la (Figure 3.6). Il est clair que la pièce brute est une barre cylindrique pleine, et qui doit être usinée dans le premier temps dans un tour (à commande numérique évidemment) puis taillée par la fraise-mère comme expliqué précédemment.

Afin de satisfaire la cadence de la production des pignons pour le pré-taillage et qui est de 55 pièces/jour, on doit effectuer l'usinage des pièces brutes dans 2 machines de tournage MOCN. La procédure d'usinage comporte ces différentes étapes : dressage (2 faces), chariotage (le long de l'épaisseur), chanfrein et perçage.

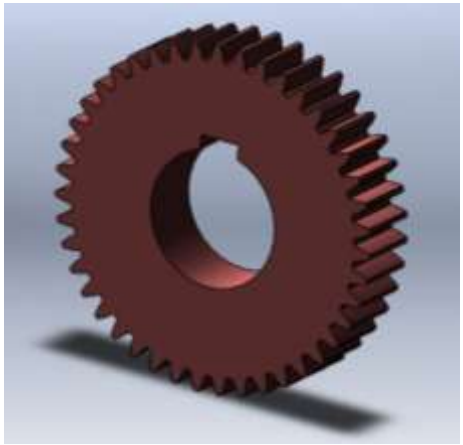


Figure 3.6 : Le pignon après taillage

II- Usinage des arbres

En tournage il existe plusieurs dizaines de types de pièces réalisables. On est amené à usiner des pièces dont la longueur est supérieure à 3 fois le diamètre, qu'on les appelle assez communément un arbre. La pièce terminée sera très souvent soumise à des contraintes mécaniques sévères et à des fréquences de rotation élevées.Pour usiner ce type de pièce, il y a une seule méthode vous permettant d'obtenir un arbre dont les différentes portées sont rigoureusement concentriques. [13]

Dans notre système on distingue quatre différents arbre (Arbre relié au moteur, arbre relié à la pompe, l'arbre sommateur et l'arbre de sortie).Il s'agit des pièces de conception relativement simple mais nécessitant un soin tout particulier lors de la fabrication : sur les extrémités seront montés des roulements nécessitant un alignement et une concentricité parfaite. On note qu'il existe de principales phases pour l'usinage de ces arbres qui sont : le chariotage et la finition.

Le temps de coupe t_c pour le chariotage est donné par cette relation :

$$t_c = \frac{\pi * d_p * L}{1000V * f} \tag{3.6}$$

Où

L= Longueur de la passe (mm).

f= Avance de l'outil (mm).

d_p= diamètre de la pièce (mm).

V= Vitesse d'avance (m/min)

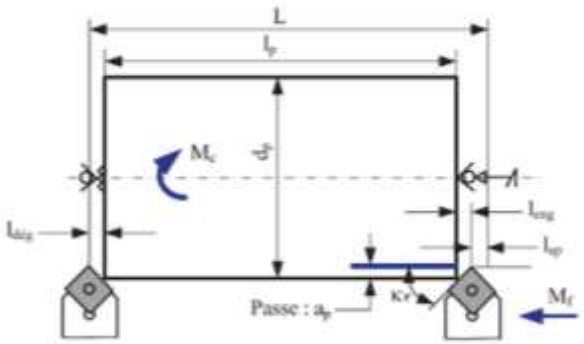


Figure 3.7 : Chariotage d'un arbre en acier [13]

Les paramètres qui apparaissent sur la figure sont :

Kr : Angle de direction d'arrêt ; a_p= Profondeur de passe ; d_p= diamètre de la pièce ; l_{ap}= distance d'approche de l'outil afin d'éviter le choc ; $l_{dég}$= longueur de dégagement de l'outil ; l_{eng}= longueur d'engagement de l'outil ; lp=longueur de la pièce à usiner ; M_c= mouvement de coupe ; M_f= mouvement d'avance.

Pour l'acier**18CrNiMo7-6,** on prend les paramètres suivants:

l_p=100mm ; Kr=30° ; a_p= 3mm; f=0.4 mm/tr et un vitesse de coupe V=105mm/min.

Pour une langueur moyenne des quatre arbres L= 0.7m et un diamètre dp=60mm, on calcule le temps estimer pour le chariotage :

$$t_c = \frac{\pi * 60 * 700}{1000 * 105 * 0.4}$$

Pour une seule passe on trouve le temps de coupe 3.14 min, si on prévoit une dizaine de passes on aura besoin de 35min pour finir la phase du chariotage, en additionnant 10min pour la finition (en augmentant la vitesse de coupe et d'avance). Le temps total pour usiner complètement un seul arbre est de 45min.

On revient toujours aux équations (3.4) et (3.5) pour le calcul de machines nécessaire pour réaliser les quatre arbres pour 1100 unités en une année. Donc on trouve que l'usinage des arbres ne nécessite pas plus de deux machines de tournage (une pour le chariotage et l'autre pour la finition).

Il reste le porte-satellites qu'on lui réserve une seule fraise, mais le corps de la boite ou le socle, il doit être moulé dans une fonderie en Algérie, c'est ce qu'on appelle la sous-traitance, mais on reste toujours dans le cadre d'intégration en Algérie.

3.4 Dessins de définition et d'assemblage

Vu la différence de langue entre les humains dans le monde, on a adopté une technique pour ce communiquer entre le client et le fournisseur, c'est le langage de dessin technique. En dessin industriel, le dessin de définition représente une pièce ou une partie d'objet projeté sur un plan avec tous ses détails comme les dimensions en cotations normalisées et les usinages. Les dessins de la boite de vitesses CVT sont en ANNEXE. Les règles du dessin technique sont établies par de normes internationales :

- ISO 216 (formats normalisés).
- ISO 7200 (cartouche).
- ISO 6433/ ISO 7573 (nomenclature).
- ISO 123-24 (traits et vues).

3.5 Conclusion

Dans une chaine de production, après avoir calculé le nombre de machines nécessaires pour cette chaine, on doit prévoir une technique pour assurer la fiabilité de notre chaine de production. Donc c'est la mise en parallèle, ou doubler les machines pour mettre un active et l'autre en standby. Et ce pour assurer la production en cas de défaillance ou des interventions de maintenance des machines. Dans notre proposition de machines, on doit ajouter certaines machines pour les phases de finitions de la pièce.

Chapitre 04: Unité de montage et de fabrication en Algérie

4 Chapitre 04 : Unité de montage et de fabrication en Algérie

4.1 Introduction

Il est nécessaire d'élaborer une étude technico-économique et faire un plan business pour l'actuel projet qui a pour objectif de convaincre les investisseurs à s'engager dans son financement. Ce plan généralement accompagne un autre document appelé « Business Model ». Ce dernier document explique la conception totale d'une entreprise quelconque qui produit un service ou un produit physique. Mais pour notre présent cas d'étude, on ne s'intéresse pas à la conception de l'entreprise mais à l'étude économique d'un unique produit « boite de vitesse CVT ».

Le plan business aide à mieux évaluer les chances de la commercialisation du produit étudié, et à détecter ses points faibles qui le rendent faillible devant le même type de produit appartenant à d'autres fabricants, ce qui est bien connu sous le terme « concurrence ».

Elaborer un plan est synonyme de trier les meilleurs éléments et les classer selon un ordre précis (chronologique, logique, par pertinence …), tout en répondant à ces questions (Figure 4.1).

Figure 4.1 : Démarches de Business Plan

4.2 Problématique

L'Algérie s'est pris une gifle en plein visage quand on avait annoncé que le prix d'un baril de pétrole a chuté. Depuis ce temps, le ministère de finance ne cesse de tirer la sonnette d'alarme d'une éventuellefaillite. La faillite serait due à la masse colossale de la facture d'importation contrairement au chiffre d'affaire fait par l'exportation des produits algériens. Une telle crise, que certains qualifient de bénéfique, booste les différents acteurs producteurs à agir, parce qu'on ne devra plus compter sur le pétrole pour sauverl'économie du pays mais il faut s'orienter au secteur agricole qui représente une forte richesse de ce pays, on doit booster ainsi les industries de matériels agricoles.

KBS-BOUDIS, sous traitant dans le domaine de la mécanique, et qui approvisionne le marché avec des produits importés de l'étranger, veut à son tour contribuer à détourner le sens de l'évolution des histogrammes de l'économie algérienne dans le sens positif. A travers ce projet fin d'étude, elle s'engagera à produire les organes de transmission et les intégrer dans les tracteurs d'ATC-MASSEY-FERGUSON produit localement. Le choix du produit s'est fait selon l'expérience acquise par l'entreprise dans le domaine des transmissions et la simplicité de la mise en œuvre ainsi sa demande accrue sur le marché algérien.

Ainsi la problématique se résume en une seule phrase : l'Algérie ne produit pas ce qui est productible et qui crée de la richesse.

4.3 Présentation de l'entreprise KBS-BOUDIS

Avec plus de 26 ans d'expérience dans le domaine de la sous-traitance en mécanique, KBS, dont le siège social se situe à Paris, propose des solutions sur terrain pour plusieurs constructeurs de véhicules utilitaires et industriels. Le sigle KBS veut dire : Knowledge, Business, Solutions, tandis que BOUDIS, c'est une entreprise filiale de KBS et qui se situe actuellement à Alger. Le groupe ETS KBS a plus de 300 références homologuées à SNVI, et également d'autres références homologuées chez des constructeurs actifs sur le territoire algérien.

Son actuel président directeur-général et aussi fondateur de ce groupe est Mr Belkacem BENNIKOUS. J'ai eu l'honneur de l'avoir comme encadreur pour ce présent PFE.

Les différents types de produits que fournit KBS-BOUDIS sont :

- électrique (projecteur, tableau de bord, feux arrières …)
- Carrosserie (kit déflecteur, kit essuyage …)
- Direction (Biellette de rotule de direction)
- Pour les grands engins (Nacelle élévatrice, benne-tasseuse …)
- Transmission (Pont avant, arbre de transmission …)

Et les principaux pays qui fournissent le produit de première main à KBS-BOUDIS sont : la Chine, la Turquie, l'Italie et l'inde.[11]

4.4 Client

Acheteur effectif ou potentiel de biens proposés par l'entreprise. Sans lui, aucune production ne sera faite. Il est à noter les nombreuses lacunes auquel ce client fait face pour savoir s'il est sage de commencer à lui fournir des solutions ou on doit s'occuper d'autres choses. Le client principal est le constructeur des tracteurs ATC-MASSEY-FERGUSON, et pour cela on a pris la boite de vitesses CVT qui se monte sur les tracteurs de MASSEY-FERGUSON fabriqués à l'étranger mais elles n'existent pas encore en Algérie. On a effectué des études préliminaires de conception et de fabrication de ce produit. Son taux de fabrication annuel est de 5000 tracteurs (4000 pour MF-440, 500 pour MF-425 et 500 pour MF-7150). D'autres clients potentiels pourront bénéficier du service crée par ce produit une fois il est adapté à leur véhicules. L'Algérie connait actuellement une intrusion de constructeur de tracteurs dans le marché algérien. Les clients effectifs et potentiels en Algérie sont :

- ATC-MASSEY-FERGUSON de Constantine, c'est notre client effectif et les transmissions dans ses trois types de tracteur (MF-440, MF-425 et MF-7150)sont en cours d'homologation, avec un volume de 5000 tracteurs/an.

- SOFARE de l'ENMTP de Constantine, est aussi un client effectif dont une partie de transmission est déjà homologuée sur leurs Rétro-chargeurs (jusqu'à 200 Rétro-chargeurs par an).

- Les clients potentiels en Algérie avec qui on peut homologuer les transmissions sont :

1- GERMAN à Constantine (de 100 à 200 chariots-élévateurs par an)

2- ETRAG à Constantine (Tracteurs Cirta).
3- DEUTZ-FARHA à Tlemcen (Tracteurs).
4- CMA-SAMPO à Sidi-Bel-Abbès (Moissonneuses batteuses).
5- SOMABE-ENMTP à El-Harrach (Dumpers).
6- LANDINI-ALGERIE à Annaba (Tracteurs).

4.5 L'originalité du produit

Pour persuader les entrepreneurs à investir dans la production d'une quelconque fourniture qui fait l'objet d'une concurrence atroce, il est primordial de citer les points forts du sujet et montrer en quoi il est original. Les facteurs ayant un fort impact sur l'attirance du client ne sont pas nombreux, le plus fort d'entre eux c'est bien le prix. Un produit qui coute cher a toutes ses chances d'être élu si et seulement s'il possède des qualités innovantes et permet de satisfaire un besoin très commun et qui demeure non résolu. Mais dès que cette nouvelle faculté est assurée par un 2ème producteur, le prix redevient concurrentiel et donc il reprend son rôle de facteur déterminant.

Exemple : Le Smartphone, qui a bouleversé la Hi-Tech avec ses options très originales couterait à sa sortie le triple d'un simple cellulaire. Il a connu une large demande malgré son prix infernal. Aujourd'hui, le Smartphone le moins cher est le plus vendu.

Afin de s'assurer que nos transmissions vont être choisies par le client, on doit le produire à cout très bas pour le vendre moins cher que les autres fournisseurs. Et en parallèle, on effectue des travaux de recherche pour développer le produit et l'innover dans le département R&D. D'ailleurs le fait d'être le seul constructeur algérien qui fournie la boite de vitesse CVT avec la garantie du service après vente est un point fort qui donne la chance pour l'entreprise pour qu'elle soit élu d'être le fournisseur numéro un en Algérie dans le secteur des transmissions.

4.6 Stratégie de commercialisation

La quasi-totalité des pièces mécaniques est produite à l'étranger et importée de l'extérieure. La transition vers l'industrialisation locale se fait continument. On peut citer l'exemple des pays : Chine, Inde et Turque qui à une certaine époque, se sentaient dépassé par la technologie des occidentaux. La première démarche qu'ils ont adopté c'est le « Reverse

Engineering », c'est-à-dire, ils recopient des autres constructeurs. Ça permet de transférer le savoir-faire et de maitriser cette nouvelle technologie.

La stratégie qu'on recommande à l'établissement BOUDIS d'adopter, et qui est la plus répandu dans le territoire nationale, c'est de signer des contrats de partenariat avec les fabricants des systèmes de transmission à durée moyenne (6 ans) ; le business entre les deux parties est ainsi planifier :

1* Le partenaire fabrique le produit selon les plans de BOUDIS pendant 3 ans.

2* Le partenaire fournie le produit en SKD pendant 1 année.

3* Le partenaire fournit le produit en CKD pendant 2 ans.

4* BOUDIS se détache de son partenaire et fabrique son propre produit.

La fabrication des systèmes de transmission requière un lourd investissement de l'ordre centaines de millions de Dollar. Il serait trop dangereux de s'aventurer dans fabrication d'une technologie non maitrisée avec un tel capital. L'astuce absolue serait de réduire au maximum les frais de dédouanement pour agrandir sa marge de gain, à travers les techniques CKD et SKD. 6 ans de partenariat sont suffisants pour gagner la confiance de son client, et ça ne poserait pas de difficulté lors de l'homologation de son propre produit fait local. On peut demander un programme de formation des ingénieurs chez le constructeur durant les trois ans d'importation selon un programme bien détailler pour permettre l'exploitation et la maintenance des machine, afin d'assurer une base solide sur la fabrication des organes de transmission.

4.7 Conclusion

La stratégie adoptée par chaque constructeur automobile dans le monde pour qu'il puisse arriver à l'intégration est la stratégie de CKD et SKD, mais la duré de ces deux phases se diffère d'un constructeur à un autre. Il faut garder en tête qu'avant d'entamer un projet d'intégration en Algérie il faut veiller à ce que le produit final à un taux d'intégration en Algérie de plus de quarante pourcent (40%), et si on parle d'intégration ça ne veut pas dire que la totalité de 40% doit se faire en même usine mais on peut avoir un pourcentage de pièces sous-traitées en Algérie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but principal de ce présent projet consiste à étudier la fabrication des différents organes de la boite de vitesses CVT à intégrer dans les tracteurs d'ATC-MASSEY-FERGUSON produits en Algérie. L'étude technologique et conceptrice traitée dans les chapitre 2 et 3 va permettre à l'entreprise de sous-traitance mécanique ETS-KBS-BOUDIS de surtout bien comprendre le fonctionnement de cette boite de vitesse et avoir en main une méthodologie de conception pour élargir le marché à d'autres engins produits en Algérie : GERMAN, SOFARE, LANDINI-ALGERIE… etc. De plus, l'étude de fabrication va leur permettre d'évaluer le capital pour lancer la fabrication et les gains à en récolter.

De ma part, ce PFE m'a été précieusement utile pour mettre en valeur mes compétences de conception acquises pendant ma formation d'ingénieur au sein de l'école polytechnique d'Alger. Et aussi, apprendre davantage sur le monde de l'économie industrielle et sur l'impact de la sous-traitance dans le développement de la technologie. J'ai appris également sur les astuces et les procédures à faire pour gagner sa place dans le marché de l'industrie. Et je ne manquerais pas d'occasion de confesser que mon séjour de stage au sein de l'entreprise ETS-BOUDIS a élargi mes horizons et m'as appris tant de connaissances sur le domaine de la fabrication automobile et ce à travers les problématiques qu'on a soulevé ensemble avec le staff technique de l'entreprise.

J'aurai voulu avoir plus de temps pour entamer l'étude des ponts avant et arrière, mais c'est ce que je compte faire après ma soutenance. Je vais aborder l'étude des ponts entant qu'ingénieur au sein de l'entreprise ETS-BOUDIS avec Mr. Belkacem BENNIKOUS.

Je souhaite qu'à travers ce projet, l'entreprise KBS-BOUDIS entame les démarches d'homologation et je suis prêt à collaborer avec eux dans le futur pour développer d'autres produits mécaniques car le projet de fin d'étude est une phase de transition entre la fin d'étude et le début de carrière.

Bibliographie

Bibliographie

[1] http://www.euro4x4parts.com/fr/mecanique_ob_transmission.html

[2] https://cambouis.com/

[3] Laurent Berviller, Integrated design and manufacturing of ”net shape”forged products: application on forged diff erentials, ECOLE DOCTORALE de l’ENSAM (ED-432), Juin 2005

[4] Gaston Nicolet , Conception Et Calcul Des Éléments De Machines , VOLUME 3Version, 1 juin 2006.

[5] DjebbarNadira, Automatisation Du Calcul Des Dents D’engrenage Dans Une Transmission Composée, Mémoire de fin d’études de master en génie mécanique Université Mentouri-Constantine, 2005.

[6]

[7] M. Aublin, Systèmes mécaniques (Théorie et dimensionnement), EditionDunod, 1998.

[8] G. Henriot, Traité Pratique et Théorique des engrenages, tome 2, Edition Dunod

[9] BOUAZIZ Mohamed, Cours d’Eléments Machine, génie mécanique, ENP,Alger

[10] G. Henriot, Traité Pratique et Théorique des engrenages, tome 2, Edition Dunod

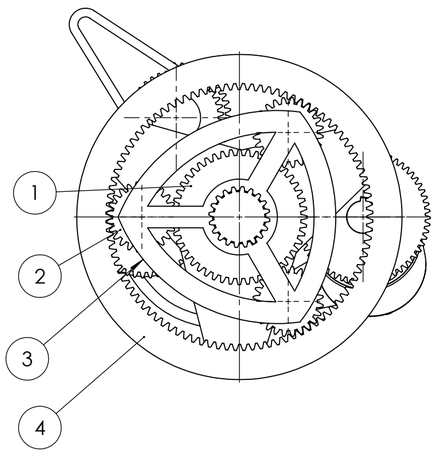
[11] ELOUNEG Aflah, Conception et étude de fabrication du système de direction, Mémoire de fin d’études d’ingénieurengénie mécanique,ENP,Alger, juin2016

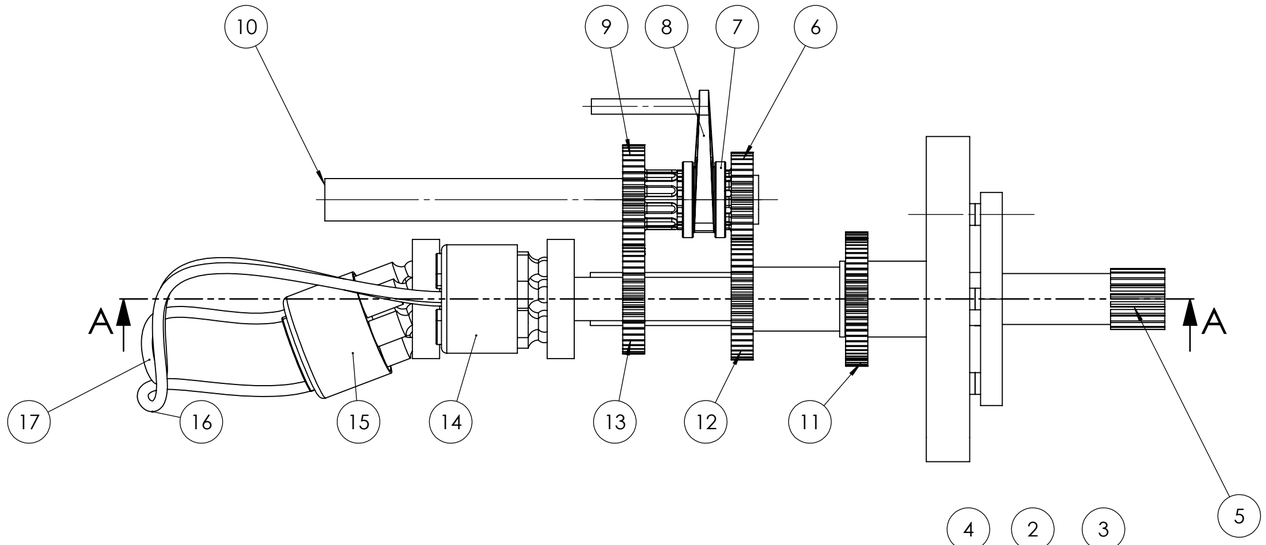
[12] http://www.guideautoweb.com/articles/5720/transmissionavariationscontinue-ou-cvt/

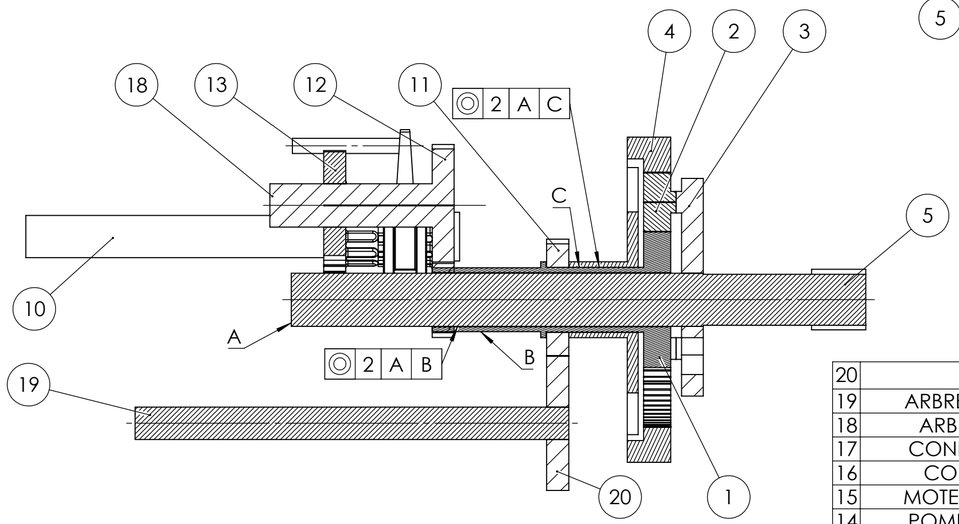
[13] Christian Mascle, WaleryWygowski, Fabrication avancée et méthodes industrielles – Du dossier produit au dossier fabrication, tome 1, Presses Internationales Polytechnique, 2012

[14] Catalogue de normes algériennes

Annexes

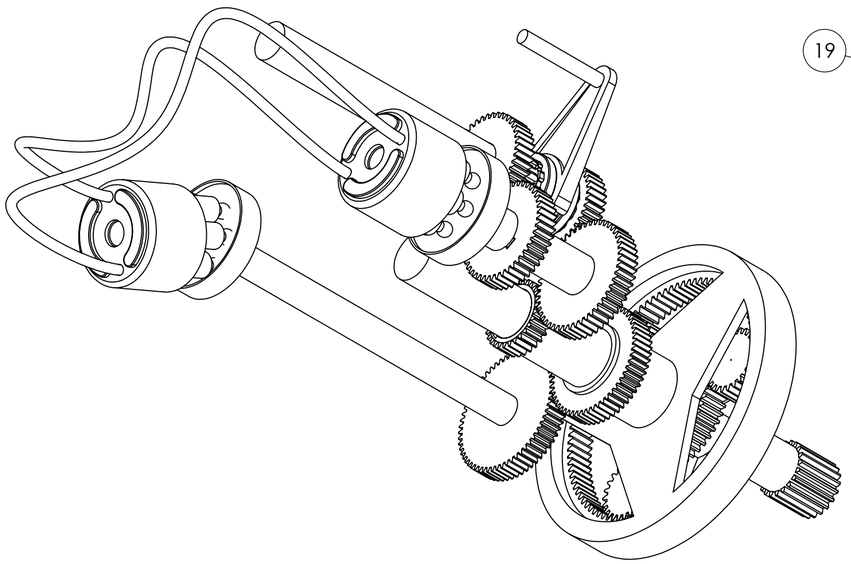






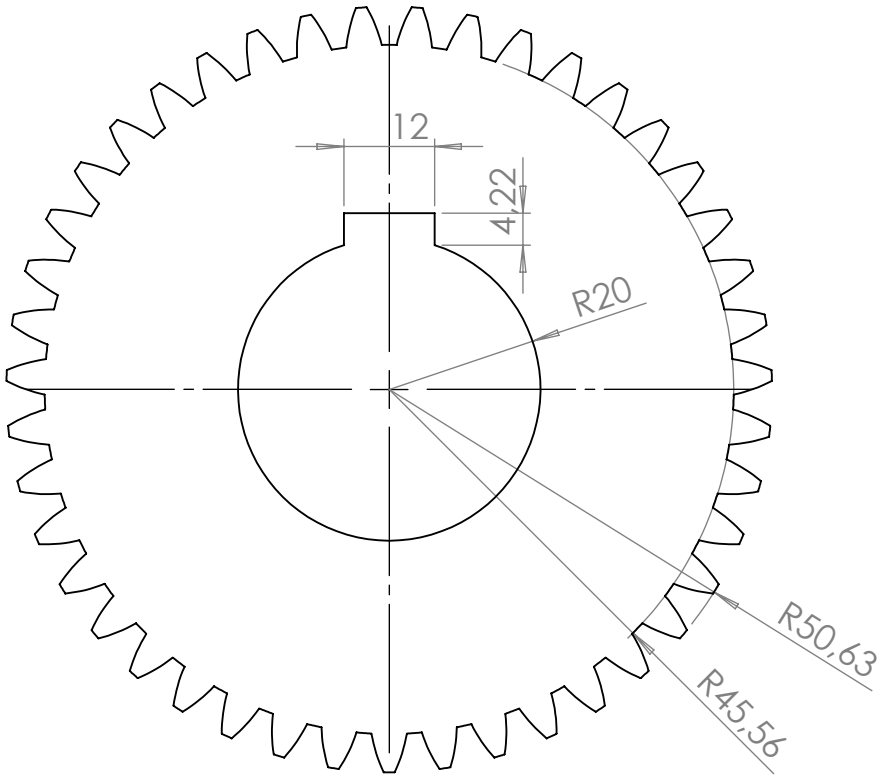
COUPE A-A

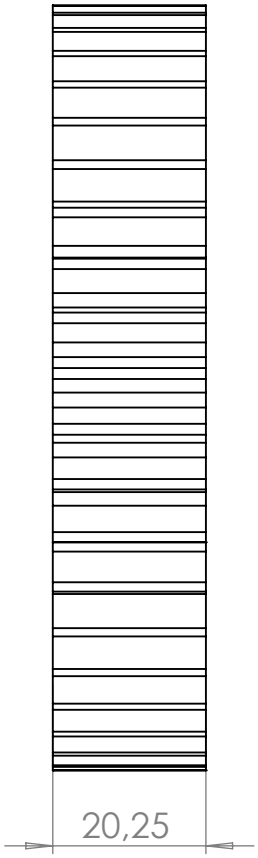
ECHELLE 1 : 4

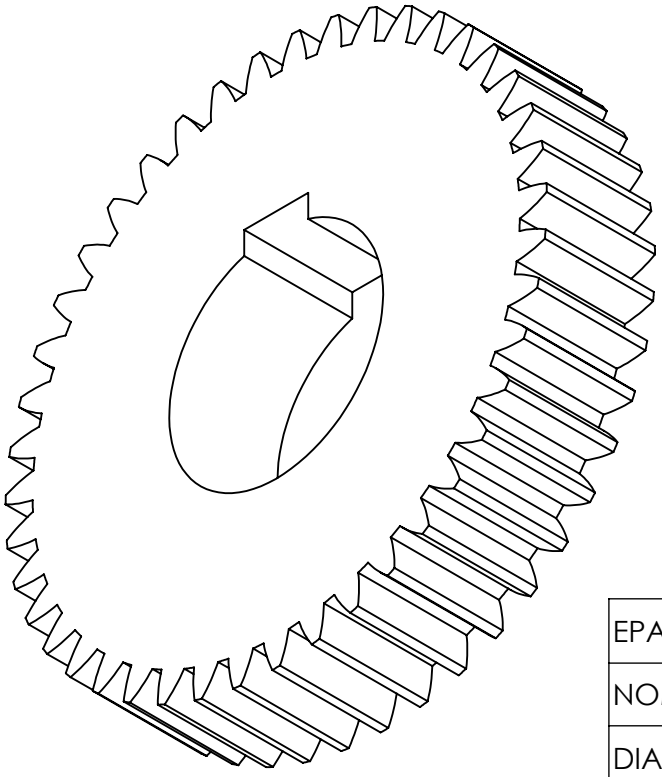


N°	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION	COEF.
20	PIGNON Pp	ACIER 17CrNi6-6	∅120	1
19	ARBRE VERS LA POMPE	ACIER 18CrNiMo7-6	∅40	1
18	ARBRE SOMMATEUR	ACIER 18CrNiMo7-6	∅60	1
17	CONDUITE DE RETOUR	/	/	1
16	CONDUITE D'ALLER	/	/	1
15	MOTEUR HYDRAULIQUE	/	/	1
14	POMPE HYDRAULIQUE	/	/	1
13	PIGNON P P'm	ACIER 17CrNi6-6	∅96	1
12	PIGNON Pm	ACIER 17CrNi6-6	∅108	1
11	PIGNON 3P	ACIER 17CrNi6-6	∅108	1
10	ARBRE DE SORTIE	ACIER 18CrNiMo7-6	∅50	1
9	PIGNON FOU P'r	ACIER 17CrNi6-6	∅96	1
8	FOURCHETTE	ACIER	/	1
7	BALADEUR	ACIER	/	1
6	PIGNON FOU Pr	ACIER 17CrNi6-6	∅84	1
5	ARBRE MOTEUR	ACIER 18CrNiMo7-6	∅50	1
4	COURONNE P32	ACIER 17CrNi6-6	∅240	1
3	PORTE SATELLITE	ACIER 18CrNiMo7-6	/	1
2	PIGNON SATELLITE P2	ACIER 17CrNi6-6	∅60	3
1	PIGNON PLANETAIRE P1	ACIER 17CrNi6-6	∅120	1

DATE : **17/06/2017**	DESSINÉ PAR : **Toufik TAFADJIRA**	REFERENCE BOUDIS : **Ref.M.BV.CVT**
DOSSIER: **LA BOITE DE VITESSE CVT**	DESIGNATION : **FIGURE 7.1 : MECANISME DE BOITE DE VITESSE CVT**	
SARL ETS BOUDIS	MATIERE : / ; ECHELLE : **1 :4**	FORMAT : **A2**







EPAISSEUR DE LA DENT (b)	20.25 mm
NOMBRE DE DENTS (Z)	43
DIAMETRE PREMITIF (Dp)	96 mm
MODULE (m)	2.25 mm
PROPRIETES DE L'ENGRENAGE	

DATE : **17/06/2017**	DESSINÉ PAR : **Toufik TAFADJIRA**	REFERENCE BOUDIS : **Ref.PP.BV.CVT**
DOSSIER: **LA BOITE DE VITESSE CVT**	DESIGNATION : **FIGURE 7.2** **LE PIGNON PLANETAIRE**	
شذم بوديس SARL ETS BOUDIS	MATIERE : ACIER (18CrNiMo7-6)	
	ECHELLE : **1 : 1**	FORMAT : **A4**

Ecole Nationale Polytechnique