

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie de la construction
Département génie mécanique



MEMOIRE

De Fin D'études

*En vue de l'obtention du diplôme master2 académique en
génie mécanique*

Option : construction mécanique

Thème :

*Redimensionnement d'une carcasse
pour un nouveau moteur électrique*

Dirigé par :

M^r: ZIANI. H

Proposé par :

M^r: IGUER. B

Réalisé par :

M^r: ABBAS HOCINE

M^r: GRABI MASSINISSA

2014/2015

REMERCIEMENTS

Nous remercions et nous rendons grâce tout d'abord à « ALLAH » tout puissant de nous avoir donné la santé et le courage de mener à bon terme ce travail.

Comme nous tenons à adresser tout autres reconnaissances et notre gratitude à :

**Mr. ZIANI .H notre promoteur, de nous avoir encadré, Suivi et orienté tout au long de notre travail.*

** Mr. HAMOUR pour son aide, sa tolérance et ses conseils au cours de notre projet,*

**Mr. IGUER .B notre co-promoteur, pour son aide, sa tolérance et ses conseils au cours de notre projet, ainsi que tous le personnel de l' Electro-Industrie-AZAZGA.*

**Nous remercions d'avance, les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribués de près où de loin à la réalisation de ce travail.

A tous les enseignants qui ont contribués à notre instruction.

Dédicaces

*Pour que ma réussite soit complète, je la partage avec toutes
les personnes que j'aime.*

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes très chers parents pour leur amour et pour le courage et
la volonté qu'ils m'ont inculqués ;*

*A mes adorables frères et sœurs : Salem, Hocine, Ahmed,
Jugurtha, Tunsia, Kahina et Ghania ;*

A toute la famille ;

A tous mes amis et les résidents de la cité universitaire

De Oued Aissi

A mon collègue de travail Hocine;

Mes camarades de la promotion CM 2014/2015

A tous ceux qui m'aiment ; et tous ceux que j'aime.

Massinissa

Dédicaces

*Pour que ma réussite soit complète, je la partage avec toutes
les personnes que j'aime.*

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes très chers parents pour leur amour et pour le courage et
la volonté qu'ils m'ont inculqués ;*

A toute la famille ;

A tous mes amis et collègues sans exception ;

A mes collègues de travail

A tous ceux qui m'aiment ; et tous ceux que j'aime.

Hocine

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de l'entreprise.

I.1 Historique.....	1
I.2 Objectifs	1
I.3 ORGANIGRAMME DE L'EPE/ELECTRO-INDUSTRIES/SPA AZAZGA.....	2
I.4 Présentation de l'unité des moteurs.....	3
I.5 Les différents ateliers de fabrication des moteurs asynchrone.....	3
• Options.....	3
I.6 Performances et applications.....	3
I.7 Gamme de fabrication.....	4
I.8 Caractéristiques générales.....	4
I.9 Normes.....	5

Chapitre II : Moteurs électriques.

II.1 Historique	6
II.2 Présentation des moteurs.....	6
II.2.1 Introduction sur un moteur électrique.....	6
II.2.2 Schéma fonctionnel.....	7
II.2.3 Principe de fonctionnement.....	8
II.2.4 Description interne.....	8
II.3 Les différents types de moteurs.....	10
❖ Classification des moteurs.....	10
II.3.1 Moteur linéaire.....	10
II.3.2 Machine tournants.....	11

II.3. 2.1 Machine à courant continu.....	11
a-Définition d'une machine à courant continu.....	11
b- Constitution de la machine à courant continu.....	12
c- Caractéristique.....	13
c.1- Caractéristiques électriques.....	13
c.2- Caractéristiques mécaniques.....	14
c.2- Variation de vitesse.....	14
d-Avantages et inconvénients.....	14
II.3.2.2 Les moteurs sans balais.....	15
a-Définition des moteurs sans balais.....	15
b-Fonctionnement.....	15
c-Evolutions par rapport à la machine à courant continu.....	16
d-Domain Utilisations.....	17
II.3.2.3 Moteurs pas à pas.....	17
a- Définition d'un moteur pas à pas.....	17
b- Les différent types de moteurs pas à pas.....	18
b.1- Le moteur bipolaire.....	18
b.2- Le moteur unipolaire.....	18
c-La technologie des moteurs pas à pas.....	19
❖ Moteur à aimant permanent.....	19
➤ Caractéristiques.....	19
❖ Moteur à réluctance variable.....	19
➤ Caractéristiques.....	19
❖ Moteurs hybrides combinant l'aimant et la réluctance variable.....	19
d- Domain d'utilisation.....	20
e- Inconvénients et Avantages.....	20
II.3.2.4 Machines à courant alternatif.....	20
II.3.2.4.1 Les moteurs universels.....	20
a-Description.....	21
b-Inconvénients et Avantages.....	21
II.3.2.4.2 Les moteurs synchrones.....	22
a-Avantages et inconvénients.....	22
II.3.2.4.3 Moteurs asynchrone.....	22
a- Introduction.....	22

b- Le stator.....	23
c- Bobinage.....	24
d- Rotor.....	25
• Rotor bobiné.....	25
• Rotor à cage.....	25
• Rotor à double cage.....	26
• Rotor à encoches profondes.....	26
e- Classification des moteurs à cage d'écureuil.....	27
f- Fonctionnement d'un moteur asynchrone.....	27
II.3.2.4.3.1 Les différents type moteur asynchrones.....	28
a- Machines asynchrones monophasées.....	28
b- Machines asynchrones triphasées.....	28
b.1 Constitution Les machines asynchrones triphasées.....	28
b.2 Maintenance.....	30
b.3 La plaque signalétique.....	30
b.4 Formules de calcules.....	30
b.4 a Grandeurs d'entrées.....	30
b.4.2 Grandeurs de sortie.....	31
II.4 Conclusion.....	31

Chapitre III : Conception de la carcasse.

III.1Analyse du produit.....	33
III.1.1 Présentation du produit.....	33
III.1.2 Le rôle de la pièce.....	33
III.2 Choix de matériaux pour la carcasse de moteur.....	33
III.2.1 Fonte GL (graphite lamellaire).....	33
III.2.2 Matière de la pièce.....	34
III.2.3 Discussion et comparaison des deux analyses chimiques.....	35
III.3 Le poids de la pièce.....	35
III.4 Mode d'obtention du brut.....	35
III 4.1 Définition de moulage.....	35
a- Principe de moulage en sable.....	35
b- Les avantages du moulage.....	36

III.5 Conception de la carcasse.....	36
III.5.1 Conception de notre carcasse avec SolidWorks.....	36
III.5.2 Présentation de SolidWorks.....	36
• L'extrusion.....	36
• La révolution.....	36
• Le balayage.....	36
• Les congés et chanfreins.....	36
• Les nervures.....	36
• La coque.....	36
• Les trous normalisés.....	36
• Les plis de tôle.....	36
III.5.3 Conception de la carcasse.....	38
III.5.4 Esquisses.....	38
III.5.5 Fonctions.....	39
III.5.6 Réalisation de l'assemblage.....	41
• Coïncidente.....	41
• Parallèle.....	41
• Perpendiculaire.....	41
• Tangente.....	41
• Coaxiale.....	41
• Blocage.....	41
III.6 La mise en plan de la carcasse.....	43

Chapitre IV : Calcule et vérification.

IV.1 Introduction.....	44
IV.2 Tolérances dimensionnelles.....	44
• Principe de l'interchangeabilité.....	44
a- Nécessité des tolérances.....	44
b- Eléments d'une cote tolérance.....	44
IV.3 Normalisation des tolérances.....	44
a- Système ISO.....	44
b- La qualité.....	44

c-La position.....	45
❖ Alésage.....	45
❖ Arbre.....	46
d-Tableaux des principaux écarts en microns.....	47
IV.4 Les ajustements.....	48
a-Description d'un ajustement.....	48
b-Différents types d'ajustements.....	49
c-Ajustement à ALESAGE normal.....	50
d-Ajustements recommandés.....	51
IV.5 Calcul d'ajustement.....	52
IV.6 Calcule emmanchement force.....	52
IV.6 Calcule approché poids du moteur.....	54
➤ Moteur 315M.....	54
➤ moteur 315L.....	54
• Calcule.....	54
IV.7.1 : Simulation 1.....	56
IV.7.1.2 : Type d'analyse: Statique.....	56
a-Informations sur le modèle.....	56
b-Propriétés de l'étude.....	56
c-Unités.....	57
d-Propriétés du matériau.....	57
e-Actions extérieures.....	57
f-Informations sur le maillage.....	58
g-Informations sur le maillage – Détails.....	58
h-Forces résultantes.....	59
h-1.Forces de réaction.....	59
i-Résultats de l'étude.....	60
j-Interprétations des résultats.....	63
IV.7.1.2.Type d'analyse: thermique.....	64
a-Propriétés de l'étude.....	64

b-Unités.....	64
c-Propriétés du matériau	65
d-Actions extérieures	65
e-Informations sur le maillage	66
f-Informations sur le maillage – Détails	66
g-Résultats de l'étude	67
h-Interprétations des résultats	67
IV.7.2 : Simulation 2	68
IV.7.2.1 : Type d'analyse: statique.....	68
a-Information sur le modèle.....	68
b-Propriétés de l'étude.....	68
c-Propriétés du matériau.....	69
d-Unités.....	69
e-Actions extérieures.....	70
f-Informations sur le maillage.....	71
g-Informations sur le maillage – Détails.....	71
h-Forces résultantes.....	72
h.1-Forces de réaction.....	72
i -Résultats de l'étude.....	73
j-Interprétations des résultats.....	76

Conclusion générale

LISTE DES FIGURES

Figure.II.1 : Schéma fonctionnel.....	7
Figure.II.2 : Principe de fonctionnement.....	8
Figure.II.3 : Stator.....	8
Figure.II.4 : rotor.....	9
Figure.II.5 :Balais et Collecteur.....	9
Figure.II.6 : Arbre généalogique des moteurs.....	10
Figure.II.7 : Moteur à courant continu.....	12
Figure.II.8 : Eléments de la machiné à courant continu.....	12
Figure.II.9 : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu.....	13
Figure.II.10 : Moteur sans balais.....	15
Figure.II.11 : Moteur de ventilateur sans le rotor ; on y voit les bobines (moteur diphasé)...	16
Figure.II.12 : Ventilateur d'ordinateur démonté.....	16
Figure.II.13 : Moteur de lecteur de disquette d'ordinateur.....	17
Figure.II.14 : Deux moteurs pas à pas.....	18
Figure.II.15 :Moteur bipolaire.....	18
Figure.II.16 : Moteur unipolaire.....	19
Figure.II.17.1 : Moteur universel.....	21
Figure.II.17.2 : Aspirateur possède un Moteur universel.....	21
Figure.II.18 : Moteurs synchrones.....	22
Figure.II.19 : Moteurs asynchrone.....	23
Figure.II.20 : Stator avec bobinage.....	24
Figure.II.21 : Stator placé.....	24
Figure.II.22 : cage d'écureuil.....	25
Figure.II.23 : Rotor à cage.....	26
Figure.II.24 : Rotor à double cages.....	26
Figure.II.25 : Eléments de la machine asynchrone triphasée.....	29
Figure.II.26 : Grandeurs d'un moteur électriques.....	30
Figure. III. 27 : Fonte grise avec graphite lamellaire, non attaquée.....	33
Figure. III. 28 : Fonte grise avec graphite lamellaire dans matrice perlitique.....	33
Figure. III. 29 : Gestionnaire de commandes.....	38
Figure. III. 30 : Onglet Esquisse.....	38

Figure. III. 31: Esquisse de la carcasse.....	39
Figure .III.32: Ongle Fonctions.....	39
Figure.III.33: Fonction Base/Bossage extrudé de 781mm.....	40
Figure. III. 34: Carcasse finale obtenue.....	40
Figure.III.35: Différents contraintes possibles.....	41
Figure .III.36 : Mise en place des contraintes.....	42
Figure. III. 37: Carcasse final de notre moteur B3 315L.....	42
Figure. III. 38: Créer une mise en plan a partir de la pièce/assemblage.....	43
Figure.III.39 : Taille et format du fond de plan.....	43
Figure.III.40 : Mise en plan de la carcasse.....	43
Figure. IV. 41: Ecarts relatifs de l'alésage	46
Figure. IV. 42 : Ecarts relatifs de l'arbre.....	46
Figure .IV.43 : L'inscription d'un ajustement dans deux pièces.....	49
Figure. IV. 44 : Jeu et serrage d'un ajustement.....	50
Figure. IV. 45 : Différents types d'ajustements.....	50
Figure.IV.46: Emmenchement force avec presse.....	53
Figure. IV.47 : Informations sur le modèle.....	56
Figure. IV.48: Maillage.....	59
Figure. IV.49: contrainte de von Mises.....	60
Figure. IV.50: Déplacement résultant.....	61
Figure. IV.51 : Déformation équivalente.....	62
Figure. IV.52: Coefficient de sécurité.....	63
Figure. IV.53 : Carcasse soumise à la température	64
Figure. IV.54: Carcasse en maillage.....	66
Figure. IV.55 : Résultats thermiques.....	67
Figure. IV.56 : Information sur le modèle.....	68
Figure. IV.57 : Informations sur le maillage.....	72
Figure. IV.58: Simulation des pattes -Etude 1-Déplacements-Déplacements1.....	73
Figure. IV.59: Simulation des pattes -Etude 1-Déformation -Déformation 1.....	74
Figure. IV.60: Simulation des pattes -Etude 1-Contraintes-Contraintes1.....	75
Figure. IV.61 : Coefficient de sécurité.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau .I.1: Représente Moteurs triphasés à une seule vitesse	4
Tableau. I. 2: Représenté un Moteurs triphasés à deux vitesses.....	4
Tableau .I.3: Représente Moteurs monophasés à condensateurs.....	4
Tableau. II. 4: L'ensemble des moteurs électriques	32
Tableau. III. 5: Résultats d'analyse chimique de FGL 150 selon laboratoire turque.....	34
Tableau. III. 6: Composition chimique du FGL150 faite au laboratoire SNVI.....	34
Tableau. IV. 7 : Principales qualités ou tolérance (IT) ISO.....	45
Tableau. IV. 8: Principaux écarts de l'arbre en microns.....	47
Tableau. IV. 9: Principaux écarts de l'alésage en microns.....	48
Tableau.IV.10: Ajustements usuels recommandés: Système de l'alésage normal.....	51
Tableau. IV.11 : Propriétés de l'étude.....	56
Tableau. IV.12: Unités.....	57
Tableau. IV.13 : Propriétés du matériau.....	57
Tableau. IV.14.a : Actions extérieures.....	57
Tableau. IV.14.b : Actions extérieures.....	58
Tableau. IV.15 : Informations sur le maillage.....	58
Tableau. IV.16 : Informations sur le maillage – Détails.....	58
Tableau. IV.17 : Forces de réaction.....	59
Tableau. IV.18 : Propriétés de l'étude.....	64
Tableau. IV.19: Unités.....	64
Tableau. IV.20: Propriétés du matériau.....	65
Tableau. IV.21 : Actions extérieures.....	65
Tableau. IV.22: Informations sur le maillage.....	66
Tableau. IV.23 : Informations sur le maillage – Détails.....	66
Tableau. IV.24 : Propriétés de l'étude.....	68
Tableau. IV.25 : Propriétés du matériau.....	69
Tableau. IV.26: Les unités.....	69
Tableau. IV.27.a: Actions extérieures.....	70
Tableau. IV.27.b: Actions extérieures.....	70
Tableau. IV.27.c: Actions extérieures.....	71
Tableau. IV.28 : Informations sur le maillage.....	71
Tableau. IV.29 : Informations sur le maillage – Détails.....	71
Tableau. IV.30: Forces de réaction.....	72

SYMBOLE ET ABREVIATION

SYMBOLE :

Ω : Vitesse angulaire	[rd /s]
N : Vitesse de rotation	[tr/min]
T : Couple utile	[N.m]
P_u : Puissance utile	[Watt]
P_a : Puissance absorbée	[Watt]
H : Rendement	[—]
U : Tension aux bornes du moteur	[V]
R : Résistance interne du moteur	[Ω]
I : Courant dans l'induit	[A]
E' : Force contre-électromotrice	[V]
P : Nombre de paires de pôles	[—]
a : Nombre de paires de voies d'enroulements	[—]
N : Nombre de conducteurs dans l'induit	[—]
Φ : Flux inducteur	[Wb]
P : Puissance mécanique	[Watt]
ω : Fréquence de rotation angulaire	[rd.s ⁻¹]
k : Constant	[—]
π : Constant	[—]
d : Diamètre nominal	[mm]
l : Longueur de paquée spécifique	[mm]
f : Coefficient de frottement acier/fonte avec une surface sèche	[—]

ABREVIATION :

ENEL: Entreprise nationale des industries électrotechniques

SPA : Société par action

ISO : Nom de l'organisation internationale de normalisation

FG : Fonte graphite

FGL: Fonte graphite lamellaire

Fe : Fer

C : Carbone

Si : Silicium

Mn : Manganèse

P : Phosphore

S: Soufre

Cr: Chrome

Ni: Nickel

Al: Aluminium

Co: Cobalt

Cu: Cuivre

Mg: Magnésium

Nb: Niobium

Ti: Titan

V: Vanadium

Pb: Plomb

Sn: Étain

B: Bore

Zr: Zirconium

As : Arsenic

Ce : Cérium

CAO : Conception assistée par ordinateur

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur



INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

Une machine électrique est un dispositif électromécanique basé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique par exemple en travail ou énergie mécanique. Ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité :

Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont communément appelées des moteurs.

Il est difficile d'imaginer de nos jours, un monde sans moteurs électriques. En commençant par le plus petit moteur d'une montre à quartz au moteur d'un navire de plus d'un million de chevaux. Les moteurs ont trouvé d'innombrables applications dans les domaines les plus divers. Une multitude de moteurs de types différents sont à notre disposition. Chaque type de moteur possède ces propres caractéristiques qui permettent de l'adapter à une application ou à une autre.

Un moteur électrique est une machine utilisée quotidiennement, c'est comme une ampoule électrique ou un téléphone.

Les moteurs électriques sont partout : dans des voitures et dans un grand nombre d'appareils ménagers. Même si beaucoup de gens ne reconnaissent pas entièrement ce que fait le moteur électrique, cette invention est devenue très utile.

Dans cette optique et titre de mémoire de fin d'étude, l'entreprise électro-industries d'Azazga nous a proposé une redimensionnement d'une carcasse pour un nouveau moteur électrique dans le but d'augmenter la puissance de 160KW a 200KW et d'optimiser le coût de la réalisation.

Nous avons commencé en premier lieu par étudier les plans de la carcasse existante en collaboration avec les membres du bureau des études (service moteurs) sur les exigences et les modifications à faire. Au cours de notre travail, nous avons opté a augmenter la longueur de la carcasse existante de 100 mm, de changer les dimensions des ailettes et leurs orientation ainsi que leur nombres, de déplacer aussi la boîte à borgnes pour la mettre sur le cote supérieure de la carcasse, d'ajouter ensuite un emplacement pour l'anneau de levage avant de mettre les pattes de sorte qu'elles seront en un seul bloc.

Pour remédier au problème de la conception de notre carcasse, nous avons recours à l'utilisation du logiciel SolidWorks.

Après une introduction générale, nous avons réparti notre travail en quatre chapitres.

L'entreprise est présentée dans le premier chapitre.

Les machines électriques et le choix de matériaux ont fait l'objet du deuxième chapitre.

Le troisième chapitre traite la conception de la carcasse en utilisant le logiciel Solid Works.

La partie calcul, étude et vérification de la carcasse sur différentes sollicitations ont été traitées dans le quatrième chapitre et enfin on termine notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Présentation de l'entreprise

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I.1 Historique

L'entreprise est issue de la réorganisation de secteur opérée en Algérie entre 1980 et 2000 qui a conduit en 1999 à la restructuration de l'ancienne ENEL (entreprise nationale des industries électrotechniques) en un certain nombre d'entreprise publique économique, société par action (EPE / SPA), parmi lesquelles figure ELECTRO-INDUSTRIE.

Le complexe du matériel électrique industriel MEI d'AZAZGA est la plus grande unité de l'ENEL, le MEI occupe une surface totale de 45 hectares dont 6 hectares de bâtis, il est entré en production en 1985.

L'usine a été réalisée dans le cadre d'un contrat produit en mains avec des partenaires Allemands, en l'occurrence, SIEMENS pour le produit et FRITZ WERNER pour l'engineering et la construction, l'infrastructure est réalisée par les entreprises Algériennes.

I.2 Objectifs

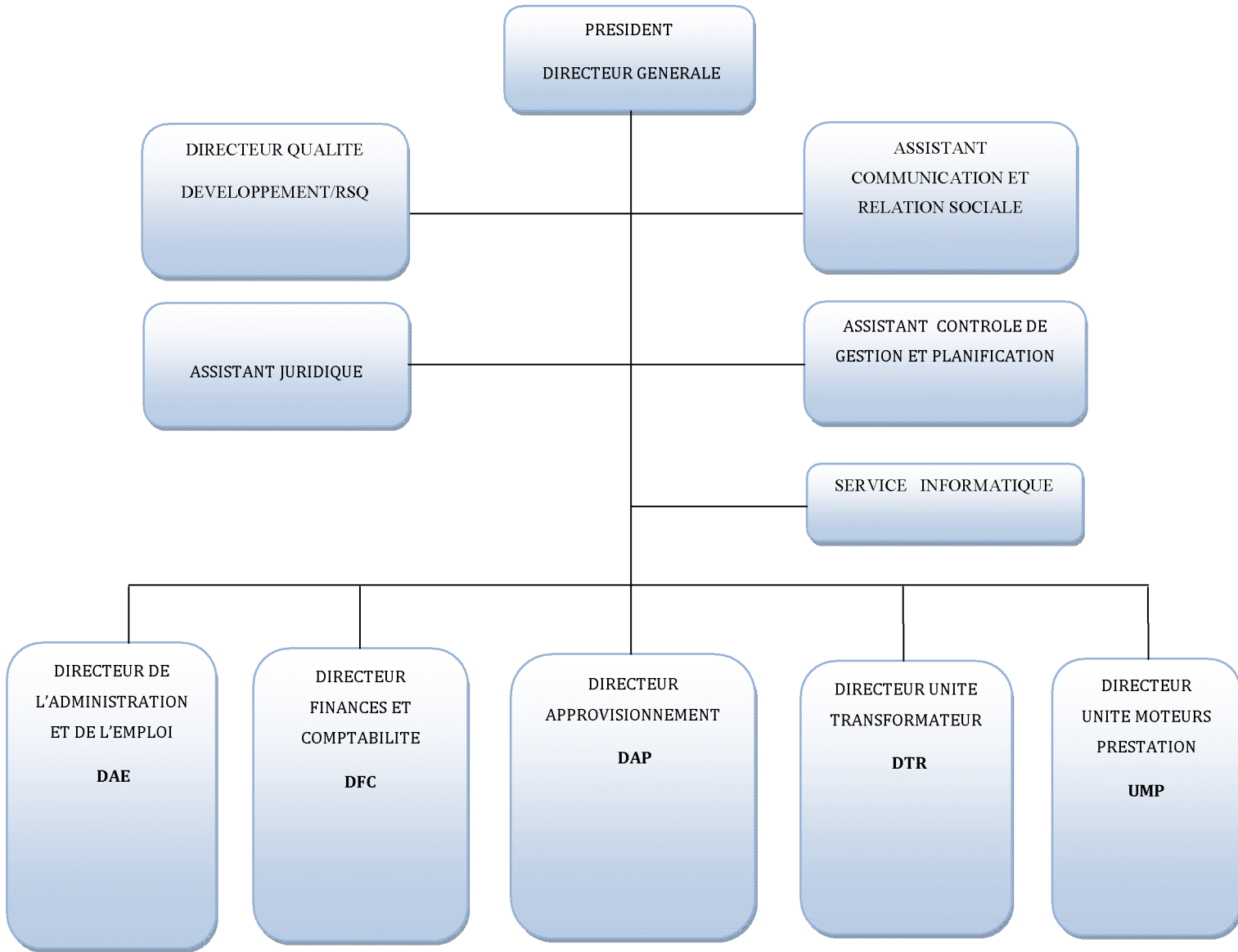
L'ELECTRO-INDUSTRIE est composée de deux unités ; toutes situées sur un même site :

- Unité de fabrication de transformateurs de distribution MT/BT (UTR).
- Unité de fabrication de moteurs électriques et prestations techniques.

Les produits fabriqués par ELECTRO-INDUSTRIE sont conformes aux recommandations CEI et aux normes Allemandes DIN/VDE et certifié ISO 9001/2000.

Il est à signaler qu'ELECTRO-INDUSTRIE est le seul fabricant de ces produits en Algérie.

I.3 ORGANIGRAMME DE L'EPE/ELECTRO-INDUSTRIES/SPA AZAZGA



I.4 Présentation de l'unité des moteurs

L'unité moteur asynchrone : s'occupe de la fabrication des moteurs asynchrones à différentes puissances et à différentes hauteurs d'axes.

Parmi les moteurs électriques fabriqués par ELECTRO-INDUSTRIES d'AZAZGA, on cite le moteur asynchrone triphasé à double cage.

I.5 Les différents ateliers de fabrication des moteurs asynchrone

- Atelier de découpage.
- Atelier de moulage sous pression.
- Atelier d'usinage.
- Atelier de bobinage.
- Atelier de montage.

Options

- Sur demande, les moteurs fabriqués par Electro-industries peuvent être exécutés avec les options suivantes :
- ❖ Option mécanique :
 - Bout d'arbre spécial (long, conique, avec filetage, ...).
 - Deux bouts d'arbres standards ou spéciaux.
 - Bride spéciale (bord de centrage, trous de fixation, ...).
 - Graisseurs pour paliers d'un côté ou des deux côtés.
 - Roulements spéciaux.
 - Sans ventilateur.
 - Capot de protection pour la marche verticale (bout d'arbre vers le bas).
 - Degrés de protection IP56 et IP65.
- ❖ Option électrique :
 - Tension spéciale (jusqu'à 690 V).
 - Isolation classe H.
 - Sonde thermique.
 - Résistance de réchauffage.

I.6 Performances et applications

Les moteurs électriques sont alimentés et pilotés par des variateurs électroniques de puissance permettant d'obtenir les performances suivantes :

- Variation de la vitesse de rotation.
- Démarrage progressif.
- Freinage.

Et de répondre aux applications suivantes :

- Charges mécaniques à couple variable : pompes, ventilateurs, compresseurs, broyeurs, extrudeuses, calandres, etc....

- Charges mécaniques à couple constant : mécanisme de manutention (treuils, élévateur, convoyeurs, etc...), machines outil à force de coupe constante (rectifieuses, raboteuses, cisailles, etc....) et laminoirs ou broyeurs à rouleaux.

I.7 Gamme de fabrication

Les moteurs électriques, basses tensions, fabriqués par électro-industrie d'AZAZGA sont de type asynchrone triphasé à une ou deux vitesses, et monophasé à condensateurs.

De construction fermée, à carcasse ventilée, alliage d'Aluminium et en fonte. Les rotors sont en court-circuit, à cage d'écurueil, en Aluminium pur (petits et moyens moteurs) et en barre de cuivre (grands moteurs), ces gammes sont données sur les tableaux suivants :

Gamme	Aluminium	Fonte	
Hauteur d'axe (mm)	71 à 132	160 à 250	280 à 400
Puissance (KW)	0,25 à 9	11 à 55	75 à 400
Vitesses (Tr /mn)	1000 1500	3000	

Tableau .I.1: Représente Moteurs triphasés à une seule vitesse

Vitesses (tr/mn)	750/1500	1000/1500	1500/3000
Puissances (KW)	0,35/0,65 à 3/4,5	0,48/0,68 à 5,7/7,8	0,48/0,6 à 3,7/ 4,4

Tableau. I.2: Représenté un Moteurs triphasés à deux vitesses

Hauteur d'axe (mm)	71 à 100
Puissances (KW)	0,25 à 2,2
Vitesses (Tr/mn)	1500 - 3000

Tableau. I.3: Représente Moteurs monophasés à condensateurs

I.8 Caractéristiques générales

Les caractéristiques ci-dessous sont relatives aux moteurs standards. Des caractéristiques différentes peuvent être fournies sur demande.

- Tensions nominales à 50 Hz : 220V – 380V – 660V (Tolérance $\pm 0,5\%$).
- Type de service : S₁ continu (Température ambiante 40 °c et altitude 1000 m).
- Classe d'isolation : F (tropicalisée).
- Refroidissement et ventilation : ventilateur externe monté sur l'arbre, protégé par un capot.
- formes de construction : B3 – B5 – B35.
- Equilibrages Dynamique des rotors avec clavettes.
- Degré de protection : IP54 – IP55.
- Paliers des moteurs de HA 71 à 250 mm sont graissés à vie.
- Paliers des moteurs de HA 280 à 400 sont munis d'un dispositif de graissage.
- Peinture standard : Gris pierre RAL 7030.

I.9 Normes

- ❖ Les moteurs sont conformes aux normes suivantes :
 - CEI 34-1 : Machines électriques tournantes – caractéristiques assignées et de fonctionnements.
 - CEI 34-2 : Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement.
 - CEI 34-5 : Classification des degrés de protections (code IC).
 - CEI 34-6 : Modes de refroidissement (code IC).
 - CEI 34-7 : Classification des formes de construction des dispositions de montage (code IM).
 - CEI 34-8 : Marque d'extrémité et sens de rotation.
 - CEI 34-9 : limite des bruits.
 - CEI 34- 11 : Protection thermique incorporée.
 - CEI 34-12 : Caractéristiques de démarrage des moteurs à induction à cage, à une seule vitesse, pour des tensions d'alimentations inférieures ou égales à 660V-50 Hz.
 - CEI 34 -14 : Vibrations mécaniques des machines à partir de la hauteur d'axe 56 mm
 - CEI 72 : Dimensions et séries de puissance des machines électriques tournantes.
 - VDE 0530 : Règlements relatifs aux machines électriques tournantes.

Chapitre II

Moteurs électriques

MOTEURS ELECTRIQUES

II.1 Historique

En 1821, après la découverte du phénomène du lien entre électricité et magnétisme, l'électromagnétisme, par le chimiste danois orsted, le physicien anglais Michael Faraday construit deux appareils pour produire ce qu'il appela une « rotation électromagnétique » : le mouvement circulaire continu d'une force magnétique autour d'un fil, en fait la démonstration du premier moteur électrique

En 1822, Peter Barlow construit ce qui peut être considéré comme le premier moteur électrique de l'histoire : la « roue de Barlow » qui est un simple disque métallique découpé en étoile et dont les extrémités plongent dans un godet contenant du mercure qui assure le passage du courant. Elle ne produit cependant qu'une force juste capable de la faire tourner, ne lui permettant pas d'application pratique.

Le premier brevet du moteur électrique actuel, à courant alternatif, est déposé par le physicien d'origine serbe Nikola Tesla en 1887.

La paternité de la machine asynchrone est controversée entre trois inventeurs : en 1887, le physicien Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone, puis en mai de l'année suivante cinq autres brevets. Pendant la même période Galileo Ferraris publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur le moteur asynchrone en avril 1888. En 1889, Michail Ossipowitsch Doliwo-Dobrowolski, électricien allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construit industriellement à partir de 1891. [1]

II.2 Présentation des moteurs

II.2.1 Introduction sur un moteur électrique

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique basé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique par exemple en travail ou éniemécanique. Ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité :

- Les machines électriques produisant de l'énergie électrique à partir d'une énergie mécanique sont communément appelées des génératrices, dynamos ou alternateurs suivant la technologie utilisée.
- Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont communément appelées des moteurs.

Les moteurs rotatifs produisent une énergie correspondant au produit d'un couple par un déplacement angulaire (rotation) tandis que les moteurs linéaires produisent une énergie correspondant au produit d'une force par un déplacement linéaire.

En dehors des machines électriques fonctionnant grâce à l'électromagnétisme il existe aussi des machines électrostatiques.

Les transformateurs sont aussi classifiés comme des machines électriques. Ils permettent de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.[3]

II.2.2 Schéma fonctionnel

Les moteurs électriques assure la fonction convertir de la chaine d'énergie. Ils convertissent l'énergieélectrique en énergiemécanique, à ce titre, un moteur électrique doit être aborde selon deux points de vue énergétiques:[3.5]

- L'énergiemécanique fournie.
- L'énergie électrique consommée.

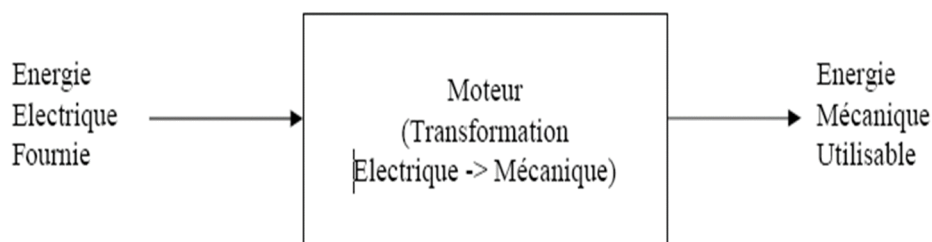
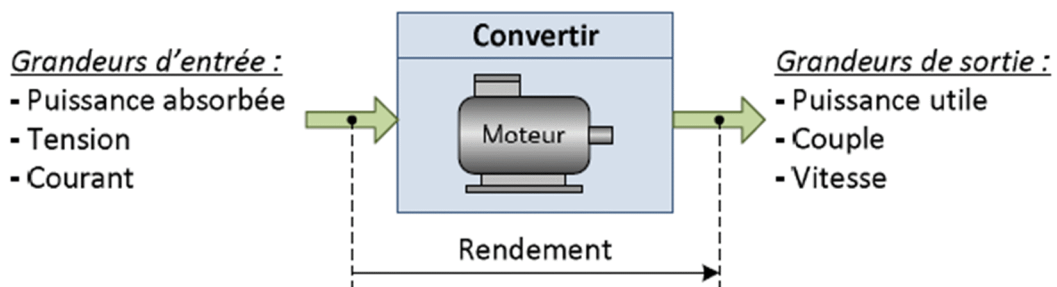


Figure. II.1: Schéma fonctionnel

II.2.3 Principe de fonctionnement

On place une spire de fil de cuivre dans le champ d'un aimant. Lorsque les conducteurs sont parcourus par un courant, ils sont soumis à des forces F_1 et F_2 qui tendent à faire tourner la spire.

Le collecteur permet d'inverser le sens du courant dans les conducteurs lorsque ceux-ci passent le plan vertical. Ainsi le sens du couple des forces F_1 et F_2 et donc le sens de rotation du moteur est conservé.

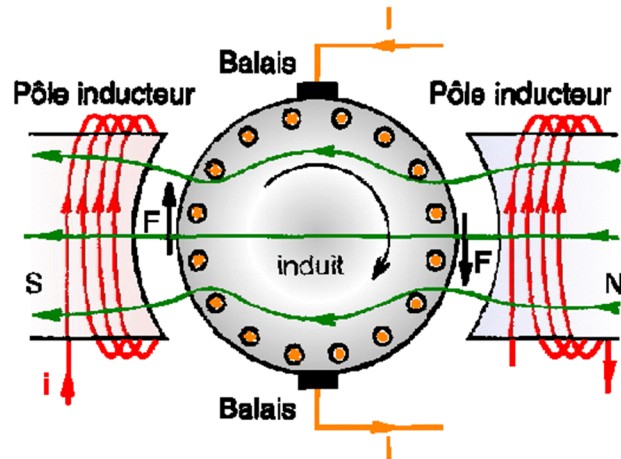


Figure. II.2: Principe de fonctionnement [6]

II.2.4 Description interne

Le stator est la partie fixe ("statique") du moteur: il est constitué d'un électro-aimant alimenté en courant continu, dont le rôle est de produire un champ magnétique. Le stator, fixé sur la carcasse cylindrique du moteur, entoure le rotor. Le stator est aussi appelé "inducteur".

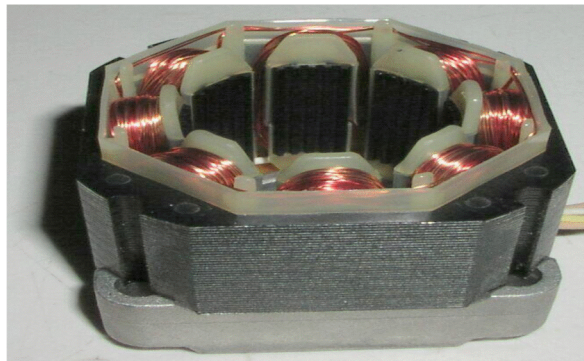


Figure. II.3: Stator

Le rotor, placé à l'intérieur du stator, est la partie tournante ("rotative") du moteur. Il est constitué d'un cylindre portant des bobinages (conducteurs), disposés latéralement sur sa surface. Les extrémités des fils de ces bobinages sont reliées au collecteur, qui entoure l'arbre moteur. Le rotor est aussi appelé "induit".

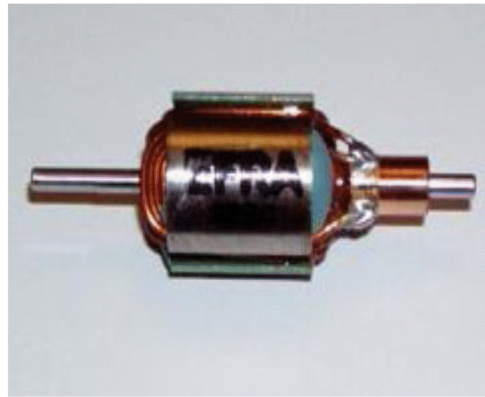


Figure. II.4: rotor

Le collecteur, monté sur l'arbre du moteur, ressemble à une couronne. Il comporte des contacts métalliques isolés les uns des autres, qui assurent la distribution du courant continu aux bobinages du rotor par l'intermédiaire de deux "balais" (contacts glissants). Ces balais, parfois appelés "charbons", sont reliés à la source de tension continue. L'ensemble collecteur-balais, est la partie la plus fragile d'un moteur.

On alimente à la fois le stator, qui crée un champ magnétique, et les bobinages du rotor, qui sont donc parcourus par un courant électrique. Or, un conducteur placé perpendiculairement à un champ magnétique et parcouru par un courant est soumis à une force électromagnétique : il se déplace en "fauchant" le champ magnétique. Ce conducteur (ou bobinage) étant solidaire du rotor, celui-ci tourne autour de son axe, ou arbre: il peut alors entraîner une roue, une poulie, une hélice, etc..

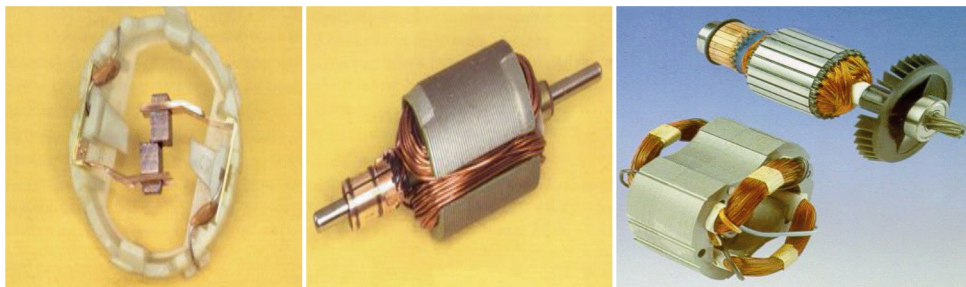


Figure. II.5: Balais et Collecteur

II.3 Les différents types de moteurs

❖ Classification des moteurs

Un moteur électrique sert à transformer l'énergie électrique en énergie mécanique (c'est-à-dire en mouvement). La plupart des moteurs décrits dans ce guide tournent autour d'un axe; mais il existe des moteurs spéciaux qui se déplacent de façon linéaire. Tous les moteurs fonctionnent soit en courant alternatif soit en courant continu, mais quelques-uns peuvent fonctionner sur les deux modes (voir la Figure. II. 6).

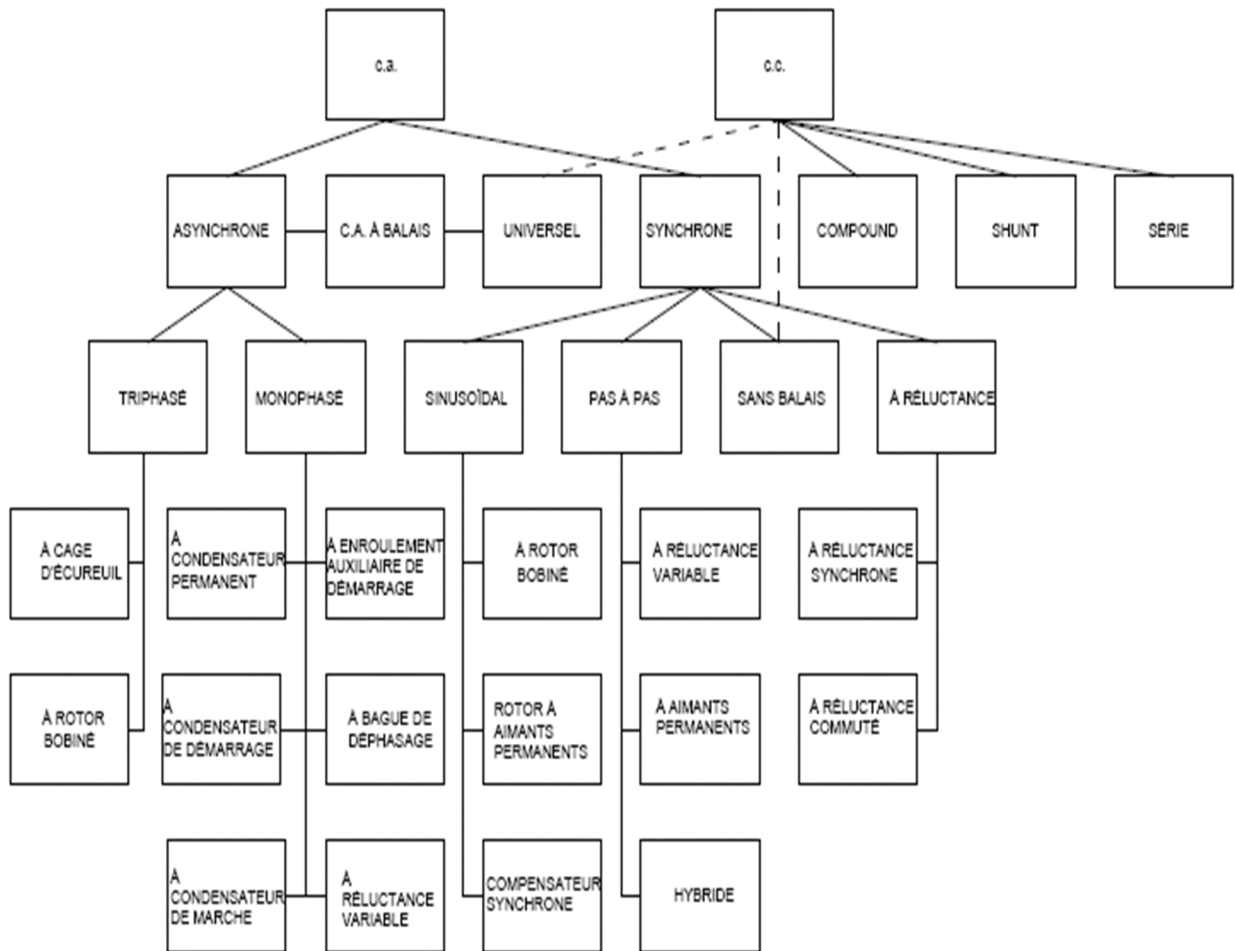


Figure. II.6 : Arbre généalogique des moteurs

Le schéma ci-dessous présente les moteurs le plus couramment utilisés à l'heure actuelle. Chaque type de moteur possède ses caractéristiques propres qui le rendent adapté à des applications particulières.

II.3.1 Moteur linéaire

Un moteur linéaire est un moteur électrique de type synchrone dont le « rotor » a été « déroulé ». Alors qu'un moteur rotatif classique produit un couple (rotation), le moteur linéaire produit une force.

Lorsqu'une tension est appliquée aux bornes du moteur, un courant traverse la ou les bobines du moteur. Celles-ci génèrent un flux magnétique autour d'un ou plusieurs aimants (ou électro-aimants). Il en résulte une force produite par les bobines sur les aimants.

Ces moteurs se divisent en deux grands groupes :

- les moteurs à grande course :
 - ceux à accélération faible utilisés dans le transport
 - ceux à accélération rapide dans les armes comme le canon magnétique et les engins spatiaux.
- les moteurs à course limitée (appelés actionneurs linéaires)

Dans la même catégorie figurent les pompes électromagnétiques à induction qui permettent de véhiculer un fluide conducteur [7]

II.3.2 Machine tournants

Toute évidence la famille de convertisseurs électromécaniques ayant bénéficié des plus larges développements, tant du point de vue des applications concernées, que des architectures électromécaniques exploitées et des choix technologiques associés. Face aux diverses solutions en présence pour transformer, à l'aide de sources magnétiques interagissant au sein d'une structure rotative de l'énergie électrique en énergie mécanique (fonctionnement en moteur) ou, réciproquement, de l'énergie mécanique en énergie électrique (fonctionnement en générateur), il est clair que le concept de « champ magnétique tournant » joue un rôle primordial. Aussi bien que cette notion ne permette pas à elle seule une présentation exhaustive et détaillée de toutes les structures exploitées à ce jour [9]

II.3.2.1 Machine à courant continu

a-Définition d'une machine à courant continu

Une machine à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique ; selon la source d'énergie.

- En fonctionnement moteur, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique.
- En fonctionnement générateur, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (elle peut se comporter comme un frein). Dans ce cas elle est aussi appelée dynamo.

Cependant, la machine à courant continu étant réversible et susceptible de se comporter soit en « moteur » soit en « générateur » dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse, la distinction moteur/générateur se fait « communément » par rapport à l'usage final de la machine. L'avantage principal des moteurs à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation. L'alimentation principale se faisant par le rotor, il en résulte une usure au niveau de balais. Les moteurs à courant continu possèdent des caractéristiques qui les rendent intéressants pour certaines applications. Par exemple, un couple très élevé aux faibles vitesses font que le moteur série à courant continu convient bien aux applications de traction et de démarrage de machines.

La vitesse de ces moteurs se règle facilement en faisant varier la tension d'alimentation.[8]

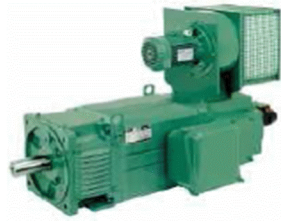


Figure. II.7: Moteur à courant continu

b- Constitution de la machine à courant continu

Cette machine est constituée :

- d'une partie fixe le stator ou inducteur (1) et une partie tournante, le rotor ou induit (2) séparées par un entrefer (3). Le stator et le rotor sont constitués par un assemblage de tôles afin de limiter les pertes par courants de Foucault et par hystérésis ;
- d'un circuit inducteur, qui est la source de champ magnétique. Il peut être formé soit par des aimants en ferrite (4), soit par des bobines inductrices (5) en série (électroaimants). Les bobines sont placées autour de noyaux polaires (6). La machine est dite bipolaire si elle ne comporte qu'un pôle Nord et un pôle Sud ;
- d'un circuit induit au rotor. Il est formé de conducteurs logés dans des encoches (7)
- d'un collecteur (8) qui, associé aux balais (9), permet de relier le circuit électrique rotorique de l'induit à un circuit électrique extérieur à la machine. Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre isolées latéralement les unes des autres, réunies aux conducteurs de l'induit en certains points. Les balais, portés par le stator, frottent sur les lames du collecteur, et permettent d'établir une liaison électrique entre l'induit qui tourne et l'extérieur de la machine qui est fixe [11]

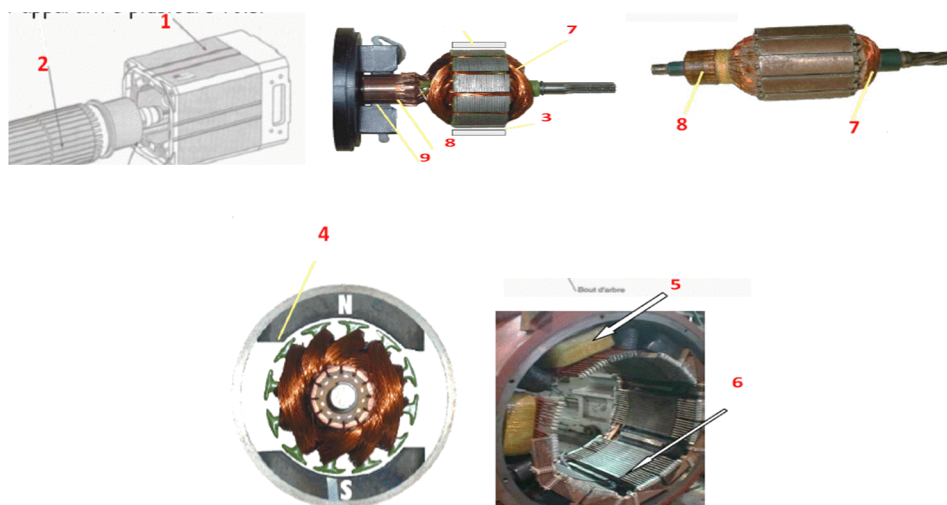


Figure. II.8: Eléments de la machine à courant continu

c- CARACTÉRISTIQUES

c.1- Caractéristiques électriques

Considérons le schéma équivalent d'un moteur à courant continu dans la figure 8

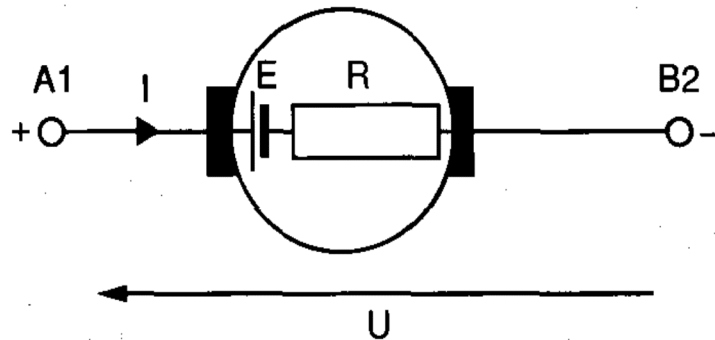


Figure. II.9: Schéma équivalent d'un moteur à courant continu

En fonctionnement, un moteur à courant continu présente une force contre électromotrice :

$$E' = (P/a) \cdot N \cdot n \cdot \Phi \quad (2.1)$$

E' = force contre-électromotrice (V)

p = nombre de paires de pôles

a = nombre de paires de voies d'enroulements

N = nombre de conducteurs dans l'induit

n = vitesse de rotation (tr. s-1)

Φ = flux inducteur (Wb)

- Machine bipolaire : 2 pôles à $p = 1$
2 voies d'enroulements à $a = 1$
- Machine tétrapolaire à 4 balais : 4 pôles à $p = 2$
4 voies d'enroulements à $a = 2$
- Machine tétrapolaire à 2 balais : 4 pôles à $p = 2$
2 voies d'enroulements à $a = 1$

❖ Loi d'Ohm appliqué aux générateurs :

$$U = E' + R \cdot I$$

U = tension aux bornes du moteur

R = résistance interne du moteur (O)

I = courant absorbé (A)

Puissance électrique utile : $P_u = E' \cdot I$

[watt]

Puissance électrique absorbée : $P_a = U \cdot I$

[watt]

c .2- Caractéristiques mécaniques

Puissance mécanique :

$$P = T \cdot \omega \quad [\text{watt}]$$

P = puissance mécanique (Watt)

T = couple moteur (N.m)

ω = fréquence de rotation angulaire (rd.s-1)

Couple moteur :

$$T = k \cdot \Phi \cdot I \quad [\text{N.m}]$$

$k = (P/a) \cdot (n / 2 \cdot \pi) = \text{constant}$

Φ = flux produit par les inducteurs (Wb)

I = courant dans l'induit (A)

c .2- Variation de vitesse

Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu, on peut agir sur deux grandeurs :

- la tension(U) aux bornes de l'induit : la tension d'induit est directement proportionnelle à la vitesse de rotation. La puissance varie mais le couple reste constant. On dit alors que l'on fait de la variation de vitesse à couple constant.

- le flux produit par l'inducteur (Φ) : lorsque le flux d'excitation (produit par l'inducteur) diminue, le moteur accélère mais le couple diminue. On dit alors que l'on fait de la variation de vitesse à puissance constante. [11]

d-Avantages et inconvénients

L'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation : les variateurs de vitesse, voire leur raccordement direct à la source d'énergie : batteries d'accumulateur, piles, etc.

Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou « charbons » et le collecteur rotatif. Ainsi que le collecteur lui-même comme indiqué plus haut et la complexité de sa réalisation. De plus il faut signaler que :

- plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important
- aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement
- le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement.

Un autre problème limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque le rotor est bobiné, c'est le phénomène de « défretage », la force centrifuge finissant par casser les liens assurant la tenue des ensembles de spires (le fretage).

La température est limitée au niveau du collecteur par l'alliage utilisé pour braser les conducteurs du rotor aux lames du collecteur.

Un certain nombre de ces inconvénients ont partiellement été résolus par des réalisations de moteurs sans fer au rotor, comme les moteurs « disques » ou les moteurs « cloches », qui néanmoins possèdent toujours des balais.

Les inconvénients ci-dessus ont été radicalement éliminés grâce à la technologie du moteur brushless, aussi dénommé « moteur à courant continu sans balais », ou moteurs sans balais, ou machine synchrone auto-pilotée. [10.11]

II.3.2.2 Les moteurs sans balais

a-Définition des moteurs sans balais

Un moteur sans balais, ou « moteur brushless », ou machine synchrone auto-pilotée à aimants permanents, est une machine électrique de la catégorie des machines synchrones, dont le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents et pourvu d'origine d'un capteur de position rotorique vu de l'extérieur, il fonctionne en courant Continu. Ces moteurs n'ont pas le problème d'usure des balais des moteurs a courant continus

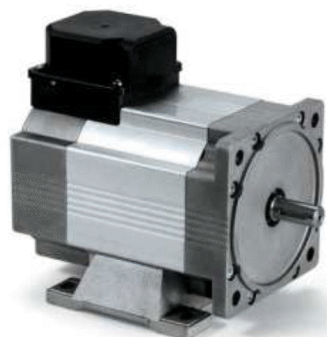


Figure. II.10: Moteur sans balais

b-Fonctionnement

Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu. Son appellation (de l'anglais Brushless) vient du fait que ce type de moteur ne contient aucun collecteur tournant et donc pas de balais. Par contre un système électronique de commande doit assurer la commutation du courant dans les enroulements statoriques. Ce dispositif peut être, soit intégré au moteur pour les petites puissances, soit extérieur sous la forme d'un convertisseur de puissance (onduleur). Le rôle de l'ensemble capteur plus électronique de commande est d'assurer l'auto-pilotage du moteur, c'est-

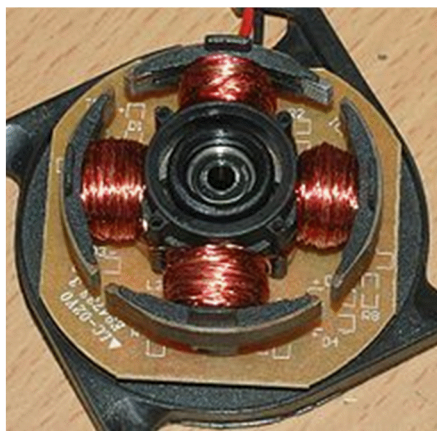
à-dire l'orthogonalité du flux magnétique rotorique par rapport au flux statorique, rôle autrefois dévolu à l'ensemble balais-collecteur sur une machine à courant continu

c- Evolutions par rapport à la machine à courant continu

Ce type de moteur électrique élimine tous les inconvénients du moteur à courant continu classique : problèmes de commutation au niveau du collecteur, défretage, inertie, refroidissement (les pertes joules étant situées au stator elles sont plus faciles à évacuer), puissance massique nettement plus grande, géométrie, durée de vie ; en particulier l'indice de protection (IP) peut être augmentée par rapport aux machines à courant continu du fait de l'absence de balais.

Le moteur sans balais est d'un prix de revient inférieur à celui de la machine à courant continu du fait du remplacement du collecteur et des balais par un capteur électronique d'un coût très réduit. Pour les petites puissances, ce capteur assure les deux fonctions de détection de la position rotorique et de commutation du courant

Pour la grande majorité des applications nécessitant une commande et une régulation électronique du couple, de la vitesse et/ou de la position, les avantages du moteur sans balais sont tels qu'il a complètement remplacé la machine à courant continu et, en liaison avec les progrès de l'électronique de puissance, le prix de revient de ces solutions s'en est trouvé réduit dans le même temps que leurs performances ont été notablement améliorées. [12]



d- Domain Utilisations

Les moteurs brushless ou moteur sans balais sont largement utilisés dans l'industrie, en particulier dans les servomécanismes des machines-outils et en robotique où ils ont fait disparaître les machines à courant continu. On trouve de tels moteurs pour des couples de quelques newtons mètres et des puissances de quelques centaines de watts jusqu'à des centaines de kilowatts. Ils équipent en particulier les disques durs et les graveurs de DVD. Une forme simplifiée et populaire de ces technologies est utilisée dans les ventilateurs assurant le refroidissement des micro-ordinateurs. Dans ce cas, le stator (bobiné) est à l'intérieur et le rotor (comportant les aimants) à l'extérieur.

Dans le domaine des transports, les moteurs électriques qui équipent les véhicules hybrides comme la Toyota Prius et la Honda Civic IMA pour assurer, entre autres, le fonctionnement à faible vitesse sont des moteurs sans balais. Ces moteurs équipent aussi les voitures électriques récentes, telles la Chevrolet Volt ou la Nissan LEAF. Des moteurs de type *brushless* sont également utilisés pour les systèmes de ventilation/ climatisation d'automobiles depuis les années 1990 ; un des principaux avantages dans ce cas est leur silence.

Ils équipent également les vélos à assistance électrique, vélos que l'on entraîne en pédalant comme sur un vélo classique mais où un moteur vient aider à l'effort. Certains scooters présents sur le marché utilisent également ce moteur pour les faibles vitesses ou en remplacement total du moteur thermique. [12]

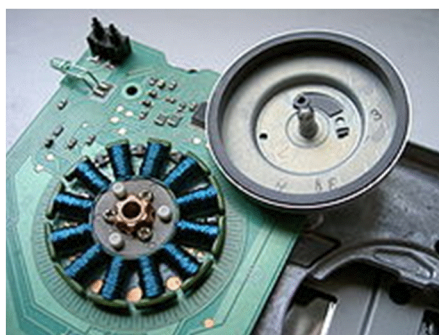


Figure. II.13: Moteur de lecteur de disquette d'ordinateur

II.3.2.3 Moteurs pas à pas

a- Définition d'un moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est un moteur qui est alimenté en courant continu. Son rotor est constitué de N pôles magnétiques (Nord et Sud). Son Stator est constitué de bobines qui sont alimentées par un circuit électronique les unes à la suite des autres pour créer des pôles nord et sud en fonction des sens d'alimentation.

Le moteur pas à pas est un moteur qui tourne en fonction d'impulsions électriques reçues dans ses bobinages. L'angle de rotation minimal entre deux modifications des impulsions électriques s'appelle un pas. On caractérise un moteur par le nombre de pas par tour (c'est à dire pour 360°). Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour.

On trouve par exemple ce type de moteur dans les imprimantes jet d'encre pour déplacer les têtes d'impression ou entraîner le papier.

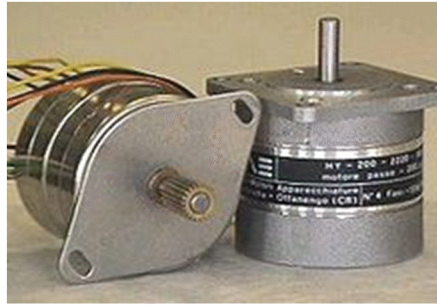


Figure. II.14: Deux moteurs pas à pas

b- Les différents types de moteurs pas à pas

On définit 2 types de moteurs pas à pas en fonction de la polarité de l'alimentation des bobinages.

b.1- Le moteur bipolaire

Les bobinages d'un moteur bipolaire sont alimentés une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens. Ils créent une fois un pôle nord, une fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire. Chaque bobine ne possède que deux fils. Cela complique un peu l'électronique de commande mais permet de renforcer le couple du moteur (ou de réduire son encombrement pour un même couple par rapport à un moteur unipolaire). [7.3]

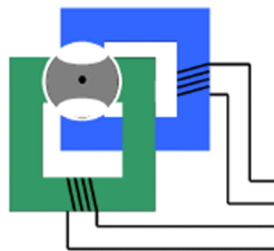


Figure. II.15: Moteur bipolaire

b.2- Le moteur unipolaire

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire. Il possède un POINT MILIEU qui est une connexion centrale sur chaque enroulement. Généralement, on relie ensemble les points milieu de chaque bobine. Cela permet une simplification de la commande des moteurs.

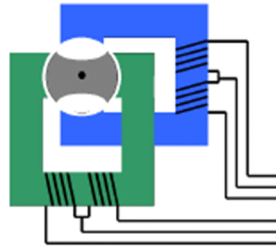


Figure. II.16: Moteur unipolaire

c-La technologie des moteurs pas à pas

Il existe 3 technologies :

❖ Moteur à aimant permanent

Un aimant permanent est solidaire de l'axe du moteur (rotor). Des bobines excitatrices sont placées sur la paroi du moteur (stator) et sont alimentées chronologiquement. Le rotor s'oriente suivant le champ magnétique créé par les bobines.

➤ Caractéristiques

- Faible résolution : nombre de pas / tour peu important ;
- Couple d'utilisation plus élevé par rapport au moteur à réluctance variable ;
- Présence d'un couple résiduel lorsque le moteur est hors tension.

❖ Moteur à réluctance variable

Il s'agit d'un moteur qui comporte un rotor à encoches se positionnant dans la direction de la plus faible réluctance. Ce rotor, en fer doux, comporte moins de dents qu'il n'y a de pôles au stator. Le fonctionnement du moteur est assuré par un pilotage du type unipolaire et l'avance du rotor est obtenue en excitant tour à tour une paire de pôles du stator.

➤ Caractéristiques

- Bonne résolution ;
- Construction simple mais délicate ;
- Couple développé faible ;
- Absence de couple résiduel avec le moteur hors tension.

❖ Moteurs hybrides combinant l'aimant et la réluctance variable

C'est un moteur qui superpose le principe de fonctionnement des moteurs à aimant permanent et à réluctance variable et combine leurs avantages.

- Bonne résolution
- Couple d'utilisation élevé
- Grande fréquence de commande

d- Domain d'utilisation

Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position en boucle ouverte, typiquement dans les systèmes de positionnement et d'indexation.

L'usage le plus connu du grand public est dans les imprimantes, les scanner et les platines vinyles de DJ. Mais ils sont présents dans de nombreuses applications telles : les photocopieurs, imprimantes bancaires, robotique, instrumentation, pompes à perfusion, système de positionnement sur machine industrielle et machine-outil

e- Inconvénients et Avantages

- ❖ **Inconvénients** : nécessite au moins trois bobinages, pour obtenir un cycle complet, pas de couple résiduel, c'est-à-dire que hors tension, le rotor est libre, ce qui peut être problématique pour ce genre de moteur. La fabrication est assez délicate, les entrefers doivent être très faibles.

- ❖ **Avantages**: peu coûteux, d'une bonne précision. Dans l'exemple, avec seulement 4 enroulements, on obtient 24 pas (on peut facilement obtenir 360 pas). Le sens du courant dans la bobine n'a aucune importance

II.3.2.4 Machines à courant alternatif

Pour les applications de faible et moyenne puissance (jusqu'à quelques kilo watts), le réseau monophasé standard suffit. Pour des applications de forte puissance, les moteurs à courant alternatif sont généralement alimentés par une source de courants polyphasés. Le système le plus fréquemment utilisé est alors le triphasé (phases décalées de 120°) utilisé par les distributeurs d'électricité.

Ces moteurs alternatifs se déclinent en trois types :

- Les moteurs universels
- Les moteurs synchrones
- Les moteurs asynchrones

Ces deux dernières machines ne diffèrent que par leur rotor.

II.3.2.4.1 Les moteurs universels

Un moteur universel est un moteur électrique fonctionnant sur le même principe qu'une machine à courant continu. Dont l'inducteur est branchée en série avec l'induit. Il est alimenté en courant alternatif 230V. Ce moteur est très utilisé dans les jouets et le petit électroménager.

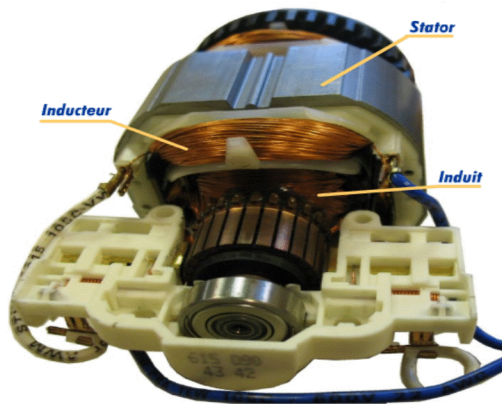


Figure. II.17.1: Moteur universel



Figure. II.17.2: Aspirateur possède un moteur universel

a-Description

D'une manière générale, le rendement de ce type de machine est mauvais (mais leur coût de fabrication est réduit), leur couple est faible, mais leur vitesse de rotation est importante. Quand ils sont utilisés dans des dispositifs exigeant un couple important, ils sont associés à un réducteur mécanique.

C'est en particulier le cas pour l'électroménager et l'outillage électroportatif de faible puissance (jusqu'aux alentours de 1,2 kW) et de nombreuses applications domestiques.

Ces moteurs sont aussi très utilisés avec les aspirateurs. Dans ce cas la turbine est en direct avec le moteur et l'air aspiré circule dans l'entrefer, ce qui permet de bien refroidir le moteur.

La vitesse de rotation de ces moteurs est proportionnelle à la valeur de la tension d'alimentation.

b-Inconvénients et Avantages

➤ Inconvénients

- Mauvais rendement (de 20 % à 40 %).
- Usure des balais alimentant le rotor, comme dans toute machine à courant continu.
- Les ruptures de contact successives, inhérentes au fonctionnement de l'ensemble balais-collecteur, génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation et des interférences électromagnétiques, radioélectriques, pour beaucoup d'autres appareils : télévisions, radios, téléphones.

➤ Avantage

- Coûts de fabrication très faibles.
- Grande facilité de variation de vitesse.

II.3.2.4.2 Les moteurs synchrones

Les moteurs synchrones sont assez similaires aux moteurs asynchrones, que ce soit sur leur composition ou sur leur principe de fonctionnement. La principale différence est que pour le moteur synchrone, la vitesse du rotor est proportionnelle à la fréquence du courant triphasé qui alimente le stator.

Au-delà de quelques kilowatts, les machines synchrones sont généralement des machines triphasées. Le rotor, souvent appelé « roue polaire », est alimenté par une source de courant continu ou équipé d'aimants permanents.



Figure. II.18: Moteurs synchrones

C'est ce type de machine qui fournit l'énergie électrique appelée par le réseau de distribution dans les centrales électriques (on parle d'alternateur). Elle a également été utilisée en traction ferroviaire (rôle moteur) dans le TGV atlantique...

Néanmoins, on la rencontre peu dans les applications domestiques, car elle est plus coûteuse à fabriquer et moins robuste que la machine asynchrone que nous verrons par la suite et elle ne peut pas démarrer simplement de façon autonome...

a-Avantages et inconvénients

L'inconvénient principal de la machine synchrone est que son démarrage n'est pas autonome. Elle est également plus coûteuse à réaliser que la plupart des machines asynchrones.

Ses principaux avantages sont de tourner à vitesse constante et de pouvoir fournir des tensions triphasées équilibrées de fréquence stable. De plus, elle peut fournir du réactif (comme une capacité).

II.3.2.4.3 Moteurs asynchrone

a- Introduction

Les moteurs asynchrones jouent un rôle prépondérant dans l'industrie et la vie domestique ; les performances exigées de ces moteurs sont de plus en plus élevées que ce soit de point de vue de la dynamique de la vitesse, ou de point de vue de la précision du couple délivré.

Ces moteurs représentent 80% des moteurs électriques, ce qui est dû à leur simplicité de construction et la facilité de démarrage. Le moteur asynchrone est une machine électrique à courant alternatif.

Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas proportionnelle à la fréquence des courants qui traversent le stator.

Ces moteurs sont généralement triphasés. Cependant, pour de faible puissance, il en existe qui fonctionnent en monophasé (appareils ménagers par exemple).

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor, et comprennent deux parties :

- Le stator (fixe)
- Le rotor (tournant)



Figure. II.19 : Moteurs asynchrone

b- Le stator

Dans tous les cas, le stator reste au moins dans son principe, le même ; il est constitué d'un enroulement bobiné réparti à l'intérieur d'une carcasse cylindrique faisant office de bâti, et logé à l'intérieur d'un circuit magnétique supporté par cette carcasse. Ce circuit magnétique est formé d'un empilage de tôles, en forme de couronnes circulaires, dans lesquelles sont découpées les encoches parallèles à l'axe de la machine. [14]



Figure. II.20: Stator avec bobinage

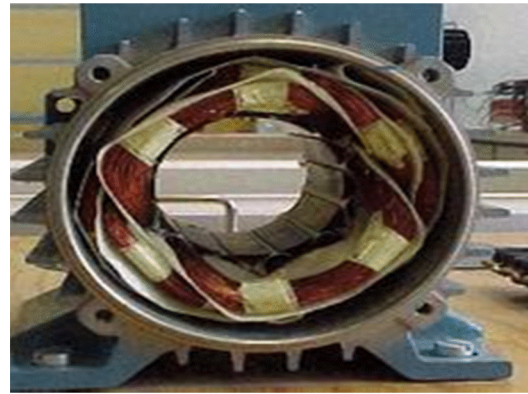


Figure. II.21: Stator placé

c-Bobinage

On peut effectuer le bobinage d'une machine tournante de plusieurs façons, mais on utilise habituellement deux enroulements à une seule ou à deux couches au stator, mais vu la forme des sections on distingue trois types d'enroulements les plus utilisées ; l'enroulement concentrique, imbriqué et ondulé. Chaque type présente des avantages dans certaines applications.

L'enroulement imbriqué est le type de bobinage le plus employé dans les stators des moteurs triphasés des moyennes et grandes puissances. Même si ce type de bobinage peut être à simple couche, on choisit plutôt de le construire à double couche ; chaque bobine est formée de la moitié des conducteurs contenus dans une encoche et disposée de façon que l'un des cotés de la bobine soit dans le haut d'une encoche (coté supérieur) et l'autre dans le fond (coté inférieur).

Puisque les bobines d'un enroulement imbriqué à double couches n'occupent que la moitié de l'encoche, on peut modifier la largeur et les placer dans une paire d'encoches qui ne correspond plus au pas d'encoche normal. Les bobines sont habituellement de largeur réduite et donnent un pas dit raccourci.

Cette configuration complique le bobinage et sa mise en place, mais présente l'avantage, si le choix du pas raccourci est judicieux, d'atténuer les harmoniques de l'onde de flux et d'améliorer ainsi le comportement du moteur.

- L'enroulement ondulé est idéal pour les rotors des moteurs asynchrones à bagues.
- Dans le cas de petits moteurs asynchrones, particulièrement lorsque le bobinage est mécanisé; on utilise généralement l'enroulement concentrique.

- La disposition de bobinage dans les encoches différencie ces différents types d'enroulements.

d- Rotor

Il existe deux types de rotor dans les machines asynchrones:

- **Rotor bobiné**

Le rotor comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques empilés sur l'arbre de la machine. Cet enroulement est obligatoirement polyphasé, même si le moteur est monophasé; et en pratique, toujours triphasé à couplage en étoile. Les encoches découpées dans les tôles sont théoriquement parallèle à l'axe du moteur, mais on fait légèrement incliner par rapport à cet axe de façon à réduire certaines pertes dues aux harmoniques d'espaces.

Les extrémités de l'enroulement rotorique sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments des circuits complémentaires qui permettent des réglages de couple, de vitesse... etc. [14]

- **Rotor à cage**

Le circuit de rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage D'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du rotor bobiné.

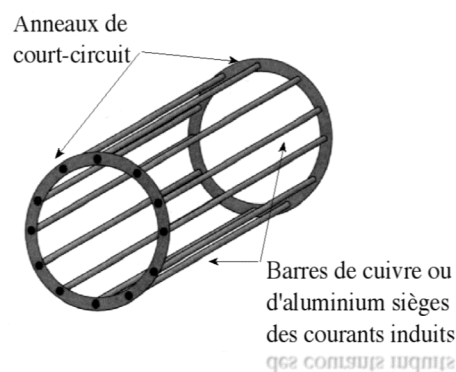


Figure. II.22. Cage d'écureuil

Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur.

Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (230/400v), la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium.

Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné, est d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue et de loin, la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones en service.

Son inconvénient majeur est qu'il ne permet pas d'insérer un rhéostat et qu'il a, au démarrage de mauvaises performances (courant élevé et couple faible) ; pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de moteurs (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

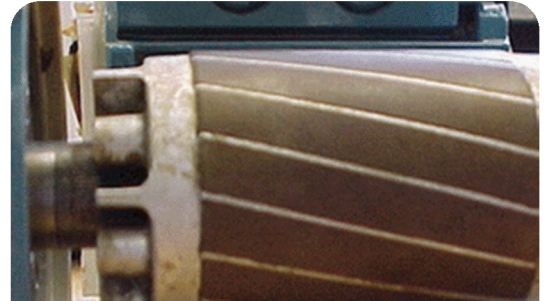


Figure. II.23. Rotor à cage

- **Rotor à double cage**

Le rotor comporte deux cages coaxiales. L'une (fréquemment réalisée en laiton ou en bronze), externe, à résistance relativement élevée, est placée près de l'entrefer, l'autre (en cuivre), interne, de plus faible résistance, est noyée dans le fer.



Figure. II.24. Rotor à double cages

- **Rotor à encoches profondes**

Comporte une cage rotorique simple avec des barres très plates s'enfonçant profondément dans le circuit magnétique. L'effet de peau limite la pénétration du champ magnétique dans le rotor, et ce, d'autant plus que la fréquence est élevée.

A la mise sous tension, le rotor est immobile et les courants induits dans les barres rotoriques, à la fréquence de l'alimentation du stator se concentrent à la périphérie du rotor, ce qui correspond à une cage de forte résistance. Quand la vitesse augmente, la fréquence des courants induits diminue et la profondeur de pénétration du champ magnétique augmente. La cage présente ainsi une résistance plus faible en régime permanent.[17]

e- Classification des moteurs à cage d'écureuil

La NEMA (National Electrical Manufacturers Association) classe les moteurs à cage d'écureuil comme suit :

- Classe A : Moteurs à couple normal et à courant de démarrage normal.
- Classe B : moteurs à couple normal et à faible courant de démarrage.
- Classe C : moteurs à fort couple et à faible courant de démarrage.
- Classe D : moteurs à fort glissement.
- Classe F : moteur à faible couple et à faible courant de démarrage.

➤ Cette classification se base sur la variation de la résistance et de la réactance du rotor.
[15.17]

f- Fonctionnement d'un moteur asynchrone

Le fonctionnement du moteur asynchrone triphasé est basé sur l'application de trois principes fondamentaux :

- Théorème d'Ampère (principe I).
- Loi de Faraday (principe II).
- Loi de Lenz (principe III).

Au moment où l'on ferme l'interrupteur, les enroulements statoriques à P paires de pôles seront branchés sur un système de tension triphasée équilibré et se trouvent parcourus par un système de courant également triphasé équilibré de même pulsation électrique. Ces courants donnent naissance à une Fmm tournante et par la suite un flux magnétique tournant (principe I).

Les enroulements rotoriques voient défiler les P paires de pôles du champ tournant statorique et donc traversés par un flux qui varie sinusoïdalement dans le temps (principe III). Aux bornes de ces enroulements va apparaître un système de Fem induite triphasé équilibré (principe II).

Comme ces enroulements sont fermés sur eux même, ils seront alors parcourus par un système du courant triphasé équilibré, ces derniers vont créer à leurs tours une Fmm et par la suite un flux magnétique tournant à P paires de pôles. Par conséquent les deux Fmm ainsi que les deux flux (flux statorique et rotorique) tournent à la même pulsation de rotation par rapport au stator. L'interaction entre les deux champs tournants donne naissance au couple électromagnétique de la machine.[17]

II.3.2.4.3.1 Les différent type moteur asynchrones

a- Machines asynchrones monophasées

Ces machines fonctionnent sur le même principe que les machines triphasées, sauf que cette fois, il va falloir créer le champ tournant avec une seule phase.

Ce type de machine ne peut pas démarrer seule (couple de démarrage nul !). Elle devra donc être assistée lors de son démarrage

Les machines monophasées ont des rendements médiocres (champ tournant glissant en sens inverse du sens de rotation qui implique l'existence de courants de Foucault importants).

C'est pourquoi elles ne sont utilisées que pour des faibles puissances. Leur principal intérêt, est qu'elles sont adaptées à la forme de distribution d'énergie chez les particuliers.

b- Machines asynchrones triphasées

Les machines asynchrones sont les machines à courant alternatif les plus répandues. On les utilise dans de nombreux dispositifs domestiques (machines à laver, tondeuse électrique...etc.), ainsi que dans des dispositifs industriels (machine-outil...). Elles sont également utilisées pour la traction ferroviaire dans les derniers modèles de TGV (TGV nord).

Le principal avantage de ces machines est leur faible coût de fabrication et leur grande robustesse. [14]

b .1 Constitution Les machines asynchrones triphasées

Trois bobines, fixées sur un circuit magnétique appelé stator, sont alimentées par un réseau de tension triphasé.

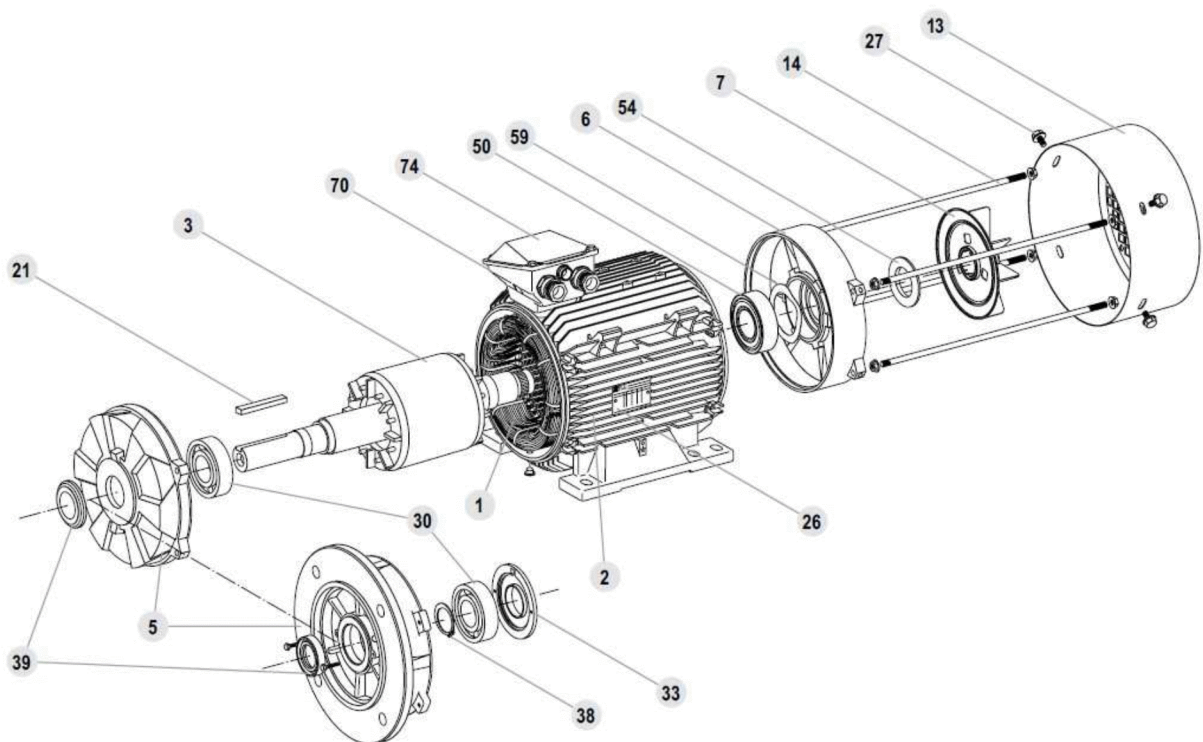
Ces trois tensions étant déphasées chacune de 120° , elles produisent au travers des bobinages statorique un champ magnétique tournant s'exerçant sur un cylindre en aluminium appelé rotor.

Le rotor se met alors à tourner dans le même sens que le champ tournant mais à une vitesse légèrement plus faible d'où le terme asynchrone.

Les principales parties d'un moteur asynchrone triphasé sont :

- Le stator qui produit un champ magnétique tournant.
- Le rotor qui, entraîné par ce champ tournant, produit de l'énergie mécanique.

- Les flasques : ils ferment le carter moteur aux deux extrémités et sont réalisés en fonte grise ou en aluminium injecté. Les flasques sont centrés sur le carter et réunis entre eux par des tirants ou tiges d'assemblage.
 - L'arbre du rotor: le rotor est monté sur un arbre en acier. A une de ses extrémité est monté le ventilateur et éventuellement le frein, à l'autre on trouve l'arbre de sortie avec une rainure de clavetage pour le montage du pignon d'entraînement.
 - Le carter: généralement réalisé en aluminium injecté pour les petits moteurs et en fonte grise pour les gros moteurs. La boîte à bornes dans laquelle s'effectuent les branchements est fixée sur le dessus ou sur le côté.
 - Le ventilateur : placé à l'arrière du moteur, il permet le refroidissement du moteur. Le capot oriente le flux d'air vers les ailettes du carter.
 - Les roulements: sur le moteur proposé, le guidage en rotation de l'arbre se fait par deux roulements à billes montés dans les flasques (d'autres combinaisons sont possibles).
- [6.14]



Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	14	Tiges de montage	39	Joint côté accouplement
2	Carter	21	Clavette	50	Roulement arrière
3	Rotor	26	Plaque signalétique	54	Joint arrière
5	Flasque côté accouplement	27	Vis de fixation du capot	59	Rondelle de précharge
6	Flasque arrière	30	Roulement côté accouplement	70	Corps de boîte à bornes
7	Ventilateur	33	Chapeau intérieur côté accouplement	74	Couvercle de boîte à bornes
13	Capot de ventilation	38	Circlips de roulement côté accouplement		

Figure. II.25 : Eléments de la machine asynchrone triphasée

b.2 Maintenance

Le moteur asynchrone triphasé ne demande que très peu d'entretien tout en restant fiable au niveau du fonctionnement. Ce type de moteur ne pose pas de problème en maintenance. Toutefois il est recommandé d'effectuer une surveillance régulière sur la grille de protection du ventilateur et de procéder à un nettoyage régulier si le moteur fonctionne en atmosphère polluée. Sur les moteurs actuels, les roulements sont graissés à vie, donc exempts de tout entretien préventif.

- **Remplacement éventuel des roulements** : Cette intervention, dite mécanique, est la seule pouvant intervenir sur ce type de matériel. Il convient de remplacer les deux roulements par des roulements de référence identique.

b.3 La plaque signalétique

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone (moteur électrique) est la carte d'identité du moteur délivrée et certifiée par le constructeur, elle contient donc les caractéristiques nominales électriques du moteur.

b.4 Formules de calculs

Le moteur asynchrone transforme l'énergie électrique en énergie mécanique.

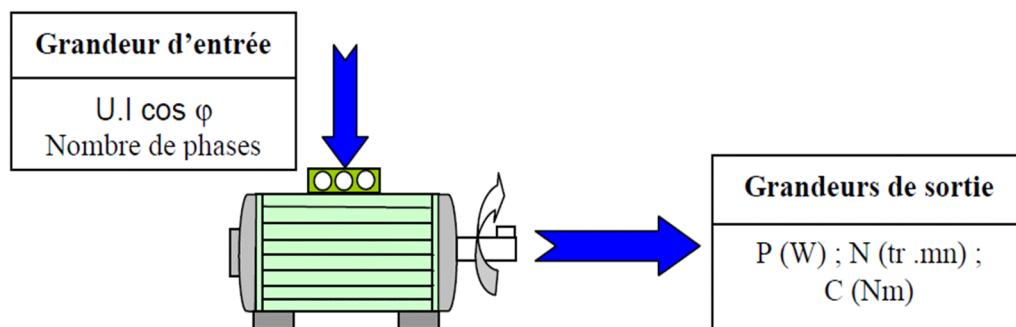


Figure. II.26 : Grandeurs d'un moteur électriques

b.4 .a Grandeurs d'entrées :

La puissance électrique absorbée par un moteur à courant alternatif :

- ✓ En monophasé $P = UI \cos \varphi$ [watt]
- ✓ En triphasé $P = UI \sqrt{3} \cos \varphi$ [watt]

b.4.b Grandeurs de sortie

La puissance mécanique est celle obtenue sur l'arbre du moteur : c'est celle qui désigne la puissance nominale du moteur.

$$P = T \cdot \omega \quad [\text{watt}]$$

Avec: P: Watt

T: m N

ω : r d / s

La vitesse angulaire : s'exprime, à partir de la vitesse de rotation par la formule

$$\omega = 2\pi n \quad [\text{rd / s}]$$

La vitesse de rotation : d'un moteur asynchrone est liée au nombre de paires de pôles et à la fréquence par la rotation

$$n = f / p \quad [\text{tr/s}]$$

n: vitesse de synchronisme (tr / s)

f: Fréquence électrique(Hz)

p : nombre de pair de pôle

Rendement :

$$\eta = P_u / P_a$$

Avec : P_u et P_a en Watt

II.4 Conclusion

Le tableau ci-après permet de visualiser très rapidement l'ensemble des moteurs électriques disponibles, leurs principales caractéristiques et leurs domaines d'emploi. Il faut souligner la place tenue par les moteurs asynchrones à cage triphasés dont le qualificatif de « standard » est de nos jours renforcé par une parfaite adaptation à l'emploi consécutive au développement des dispositifs électroniques qui autorisent la variation de vitesse.

Type de moteur	Asynchrone à cage		Asynchrone à bague	Synchrone à rotor bobiné	rotor terres rares	Pas à pas	A courant continu
	triphasé	monophasé					
Coût du moteur	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Elevé	Faible	Elevé
Moteur étanche	Standard	Possible	Sur demande, coûteux	Sur demande, coûteux	Standard	Standard	Possible Très coûteux
Démarrage direct sur le réseau	Aisé	Aisé	Dispositif de démarrage particulier	Impossible à partir de quelques kW	Non prévu	Non prévu	Non prévu
Variation de vitesse	Facile	Très rare	Possible	Fréquent	Toujours	Toujours	Toujours
Coût de la solution variation de vitesse	De plus en plus économique	Très économique	Economique	Très économique	Assez économique	Très économique	Très économique
Performance en variation de vitesse	De plus en plus élevée	Très faible	Moyenne	Elevée	Très élevée	Moyenne à élevée	Elevée à très élevée
Emploi	Vitesse constante ou variable	En majorité, vitesse constante	Vitesse constante ou variable	Vitesse constante ou variable	Vitesse variable	Vitesse variable	Vitesse variable
Utilisation industrielle	Universelle	Pour les petites puissances	En diminution	Dans les grandes puissances en moyenne tension	Machines outils, forte dynamique	Positionnement en boucle ouverte, pour les petites puissances	En diminution

Tableau. II.4: Ensembles des moteurs électriques [4]

Chapitre III

Conception avec Solid Works

CONCEPTION DE LA CARCASSE

III.1 Analyse du produit

III.1.1 Présentation du produit

Notre produit est une carcasse d'un moteur électrique asynchrone triphasé d'une hauteur d'axe 315 mm

III.1.2 Le rôle de la pièce

Le rôle de la carcasse est de porter les composants électriques (le stator, le rotor et les flasques)

III.2 Choix de matériaux pour la carcasse de moteur

III.2.1 Fonte GL (graphite lamellaire)

La fonte grise avec graphite lamellaire (FG) contient entre 2,5 et 4% de carbone, 1 à 3% de silicium et 0,2 à 1% de manganèse. Le carbone et le silicium activent la formation de lamelles de graphite et de ferrite. Le phosphore, en petites quantités, augmente la fluidité de la fonte grise. Il forme également un eutectique phosphoreux ternaire appelé "stéatite", qui constitue une structure en toile, augmentant la résistance à l'usure.

Dans sa forme lamellaire, le graphite interrompt la matrice métallique et agit aussi comme des entailles diminuant la résistance à la traction, tout particulièrement lorsque les lamelles sont très grandes.

Dans une fonte grise alliée, les meilleures propriétés mécaniques peuvent être obtenues par des lamelles de graphites fines et uniformément réparties dans la matrice perlitique (voir les Fig.III.27 et III.28).

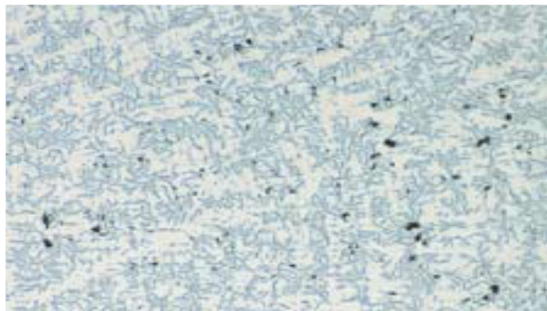


Figure. III.27: Fonte grise avec graphite lamellaire lamellaire



Figure. III.28: Fonte grise avec graphite non-attaquée dans matrice perlitique

Cette fonte C'est la plus courante des fontes grises. Le graphite s'y trouve sous forme de lamelles.

❖ Les principales qualités des fontes GL sont :

- facilité d'usinage
- très bonne résistance à la corrosion et à la déformation à chaud
- très bonne absorption des vibrations
- stabilité dimensionnelle (réalisation de machine-outil silencieuse et stable géométriquement)
- excellente coulabilité
- prix du métal peu élevé

- ❖ Les principaux défauts :
 - relativement fragile comparé aux aciers et aux fontes GS
- ❖ Les principales utilisations :
 - toutes pièces mécaniques (différentes grades de résistance)
 - bâtis de machines-outils, bonne résistance aux vibrations
 - tuyaux et canalisation (il est possible de couler des tubes de grande taille via le coulage par centrifugation)

III.2.2 Matière de la pièce

Pour ce modèle de moteur la carcasse est faite en fonte graphite lamellaire dont sa désignation est en EN FGL 150 dans la composition chimique, nous avons procuré de la fiche technique du matériau de la carcasse fourni par un fournisseur turque avec une analyse chimique faite par un laboratoire turque.

- ❖ Les résultats d'analyse chimique de FGL 150 selon laboratoire turque :

Les composants	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mn
résultats	92.1	L 3.36	2.36	0.669	0.869	0.0427	0.0638	0.0741
Les composants	Ni	Al	Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V
Résultats	0.0315	0.0150	<0.0050	0.0337	0.0029	0.0504	L0.0494	L0.0424
Les composants	Pb	Sn	B	Zr	As	Ce		
Résultats	0.0010	0.0128	0.0051	0.0724	0.0278	3.92		

Tableau. III.5: Résultats d'analyse chimique de EN JGL 150 selon laboratoire turque

Pour notre projet on a pris un échantillon d'une carcasse faite en fonte EN JGL 150 pour faire une analyse chimique, ont ces adresser a la société nationale véhicule industrielle SNVI de RUIBA dans la division fonderie RUIBA laboratoire :

- ❖ Les résultats d'analyse chimique d'EN JGL 150 au laboratoire de SNVI :

Les composants	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
résultats	/	3.53	1.82	0.70	0.13	0.042	0.050
Les composants	Ni	Al	Co	Cu	Mg	Nb	Ti
résultats	/	0.008	/	/	/	/	/
Les composants	Pb	Sn	B	Zr	As	Ce	
résultats	0.004	/	/	/	/	/	

Tableau. III.6: Composition chimique de EN JGL 150 faite au laboratoire SNVI

III.2.3 Discussion et comparaison des deux analyses chimiques

On remarque que les valeurs sont très proches, la fonte EN JGL 150 se compose de 22 éléments. Le laboratoire de fonderie de SNVI nous a fait uniquement 8 éléments c'est par rapport au manque des moyens matériels pour faire une analyse chimique complète.

III.3 Le poids de la pièce

Pour avoir le poids on a utilisé la fonction **évaluer** du logiciel Solid Works ensuite utiliser la commande **propriétés de masse** ; il nous a donné toutes les informations relatives à la masse. Le poids de la carcasse : 260 kg.

III.4 Mode d'obtention du brut

Le brut de la pièce est obtenu par le moulage en sable.

III 4.1 Définition de moulage

Le moulage est un procédé de fabrication qui permet de réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable.

a- Principe de moulage en sable

Le moulage en sable consiste à :

- réaliser un modèle le plus souvent en bois dont les formes et les dimensions sont plus proches de la pièce à réaliser (surépaisseur)
- fabriquer le moule en enrobant le modèle avec le sable de fonderie dans des châssis métallique superposable de façon à extraire le modèle sans endommager l'empreinte :
 - sortir le modèle ;
 - couler le métal en fusion ;
 - extraire la pièce moulée, après solidification ;
 - on met la pièce sur une débaucheuse.

Le sable de fonderie :

Le sable doit être infusible et consistant, il se compose essentiellement de :

- la silice : pratiquement infusible au contact avec le métal en fusion.
- l'argile : qui sert de liant entre les grains de silice et permet au moule de conserver l'empreinte laissée par le modèle.
- les noix végétales dont la composition assure au moule la porosité nécessaire à l'évacuation des gaz dans le moule du métal en fusion, à savoir : l'air et la vapeur d'eau.

b- Les avantages du moulage

Le moulage permet de :

- Limiter l'usinage aux seules surfaces fonctionnelles.
- Economiser le métal.
- Les procédés du moulage sont nombreux, ils permettent de couvrir tous les modes de production, c'est une solution économique d'obtention des pièces.

III.5 Conception de la carcasse

Pour la conception de la carcasse nous avons suivis le plan de la carcasse au quel on va augmenter la longueur de 100mm, les autres dimensions resteront les mêmes ainsi que les relations géométriques, l'état de surface, les intervalles de tolérances et les cotes fonctionnelles. On a redimensionné la carcasse du moteur 315 M on a les plans suivants :

- Le plan de coque (carcasse sans ailettes)
- Plans des pattes (bruts et finis)
- Plans des deux flasques (bruts et finis)

Tous les plans seront joints à la fin de notre rapport.

III.5.1 Conception de notre carcasse avec SolidWorks

III.5.2 Présentation de SolidWorks

Solid Works est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). C'est un modéleur 3D qui utilise la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation, toute modification dans l'un de ses trois fichiers se répercute dans les deux autres.

On appelle maquette numérique un dossier complet contenant les trois fichiers relatifs à un même système. SolidWorks peut ensuite être complété par de nombreux logiciels orientés métiers (bois, BTP, tôlerie...) mais aussi des applications de simulations numériques.

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométries, des relations booléennes... Cette organisation est appelée sur l'arbre de construction.

Chaque ligne est associée à une fonction que l'on peut renommer à sa guise.

Parmi les fonctions génératrices on trouve :

- **L'extrusion**: déplacement d'une section droite dans une direction perpendiculaire à la section. (La section est définie dans une esquisse qui contient l'ensemble des cotations nécessaires à la complète définition de la section. Cet ensemble de cotes auquel il faut ajouter la ou les longueurs d'extrusion constitue l'ensemble des paramètres de la fonction ; il est possible de les modifier une fois la fonction validée.)
- **La révolution** : déplacement d'une section droite autour d'un axe ou extrusion suivant un cercle ou un arc de cercle.
- **Le balayage** : déplacement d'une section droite le long d'une ligne quelconque. Lorsque la génératrice de balayage est gauche, l'esquisse est en 3 dimensions.
- **Les congés et chanfreins**
- **Les nervures**
- **La coque** (évidement d'un objet en lui conférant une épaisseur constante)
- **Les trous normalisés** (perçages, mortaises...)

- **Les plis de tôle**

Pour faciliter la conception de l'esquisse et gagner du temps, nous pouvons aussi faire appel à des fonctions telles que la répétition linéaire, la répétition circulaire, les entités symétriques par rapport à un axe...

Par ailleurs, il est possible de créer des familles de pièces en associant au logiciel SolidWorks, le tableur Microsoft Excel : un tableau devient ainsi éditeur des références (lignes) donnant la valeur des paramètres variables des fonctions (colonnes) :

- valeur de certaines cotes
- valeur de certaines propriétés (nombre d'occurrence...)
- état de suppression d'une fonction

Ainsi, il est par exemple possible d'obtenir à partir d'un seul fichier de type pièce, l'ensemble des modèles de vis d'assemblage (toutes formes de tête ou dimensions). Cette fonction permet incontestablement un gain de temps conséquent.

Grâce à des outils de mesure il est possible de déterminer le volume de la pièce créée ou encore son poids, ses dimensions... En effet, chacune de nos actions (création d'une esquisse, utilisation d'une fonction...) est inscrite dans l'arbre de construction. Nous pouvons ainsi connaître les étapes de conception pour obtenir la pièce finale. Cet arbre nous permet aussi de pouvoir revenir à tout moment sur une fonction pour la modifier.

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. Le positionnement des pièces est défini par un ensemble de contraintes d'assemblage associant deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, Co axialité...). On peut apparenter ces associations de contraintes aux liaisons mécaniques qui existent. Une fois le mécanisme assemblé, s'il possède encore des mobilités, l'assemblage peut être manipulé virtuellement. Comme pour les pièces, la gestion de l'ensemble est portée par un arbre de création qui donne accès à l'arbre de création de chaque pièce, il est donc aisé de modifier chaque pièce en cas de problème d'ajustement.

La mise en plan concerne à la fois les pièces et les assemblages. SolidWorks exécute une projection de l'objet ce qui simplifie énormément le travail du dessinateur par rapport au travail qu'il aurait dû fournir avec un outil DAO. Le logiciel exécute sans aucun problème la projection des pièces : les vues en coupes, les vues partielles, les perspectives sont effectuées d'un simple clic ! Cependant la représentation des filetages et taraudages requièrent un peu plus d'attention. L'ensemble des spécifications géométriques des pièces est regroupé sous le terme de cotation. Il faut savoir que même à ce niveau, la modification des valeurs de cotes est toujours possible. Le logiciel propose des fonds de plan déjà établis, mais il est possible de les réaliser soi-même. Il en existe deux types :

- Fond de plan statique : Il faut remplir à la main chacun des champs.
- Fond de plan dynamique : Le remplissage est automatique suivant les paramètres choisis pour les pièces et assemblages.

Le logiciel SolidWorks possède ses propres extensions de fichiers :

- sldprt : fichier pièce
- sldasm : fichier assemblage
- slddrw : fichier plan
- sldprt : fichier fond de plan

Enfin, notons ici quelques concurrents de SolidWorks : CATIA, Auto CAD, TopSolid...

III.5.3 Conception de la carcasse

Nous avons modélisé la carcasse grâce au logiciel SolidWorks. Nous avons commencé par l'étude des plans de la carcasse existante ont collaboration avec les membres du bureau des études (service moteurs) sur les modifications à faire. Cependant nous avons opté à augmenter la longueur de la carcasse de 100 mm ; ensuite de changer les dimensions des ailettes et leurs orientation ainsi que leur nombre. Et aussi de déplacer la boîte a borgnes ; la mettre sur le cote supérieur de la carcasse on gardon ces dimensions ; après ajouter un emplacement pour l'anneau de levage ; et a la fin mettre les pattes de sorte qu'elles seront en un seul bloc on respectons quelque cotes fonctionnelles.

Pour la conception de notre carcasse sous SolidWorks, nous avons du créer tout d'abord, d'une phase où l'on définit l'esquisse, puis d'une phase de mise en relief de cette esquisse

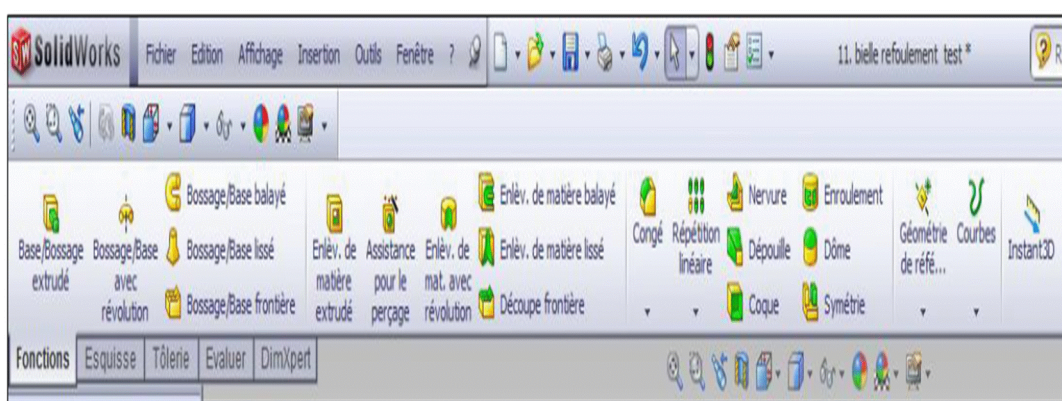


Figure. III.29 : Gestionnaire de commandes

III.5.4 Esquisses

Si nous prenons l'exemple de la conception de la « carcasse » de notre moteur, voici l'esquisse obtenue lors d'une première étape, à l'aide des outils de dessin et de dimensionnement sous SolidWorks :

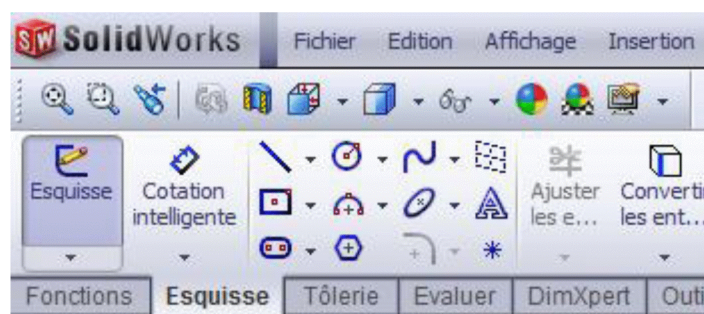


Figure. III.30: Onglet Esquisse

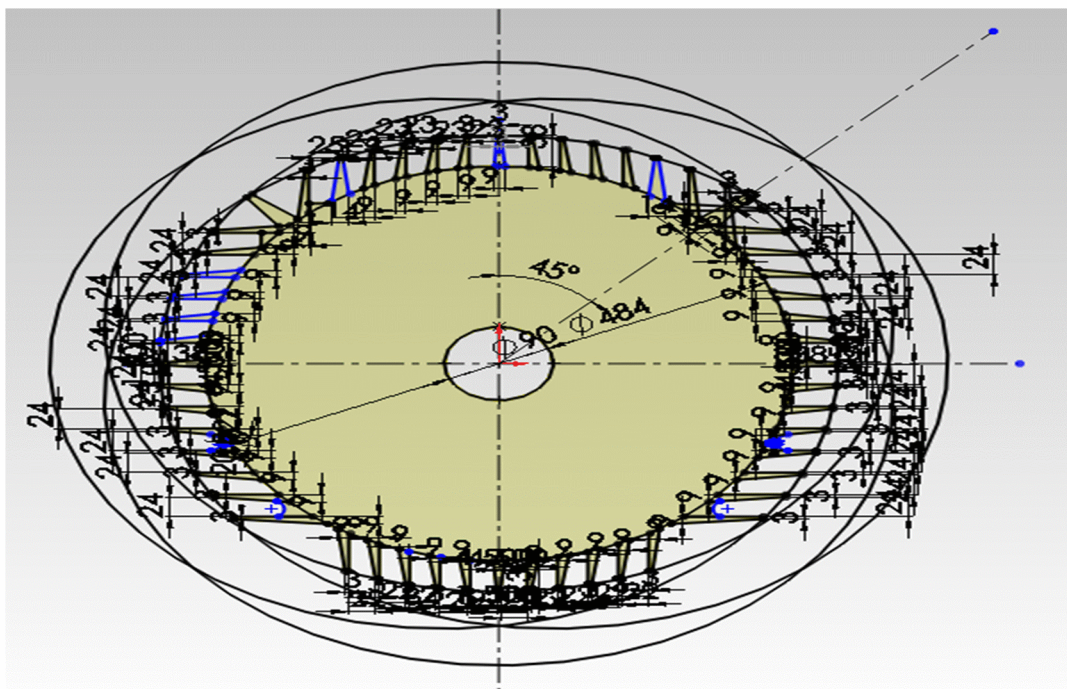


Figure. III.31: Esquisse de la carcasse

On remarque que l'esquisse est de couleur noire, cela signifie qu'elle est totalement contrainte. Ses cotes ne seront donc pas modifier lors des prochaines manipulations.

III.5.5 Fonctions

Lors d'une seconde étape, grâce aux outils de mise en relief (ici « Base/Bossage extrudé ») nous donnons du volume à notre esquisse et définissons sa profondeur et la direction vers laquelle l'extrusion va être réalisée :

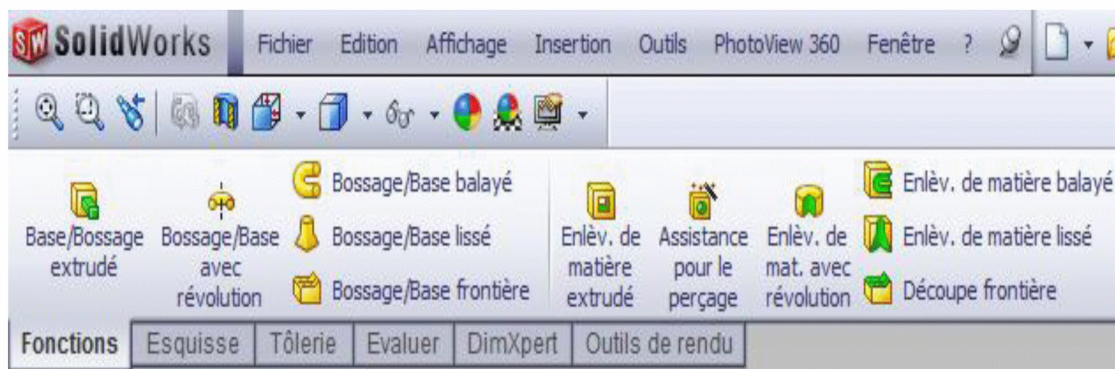


Figure. III.32: Ongle Fonctions

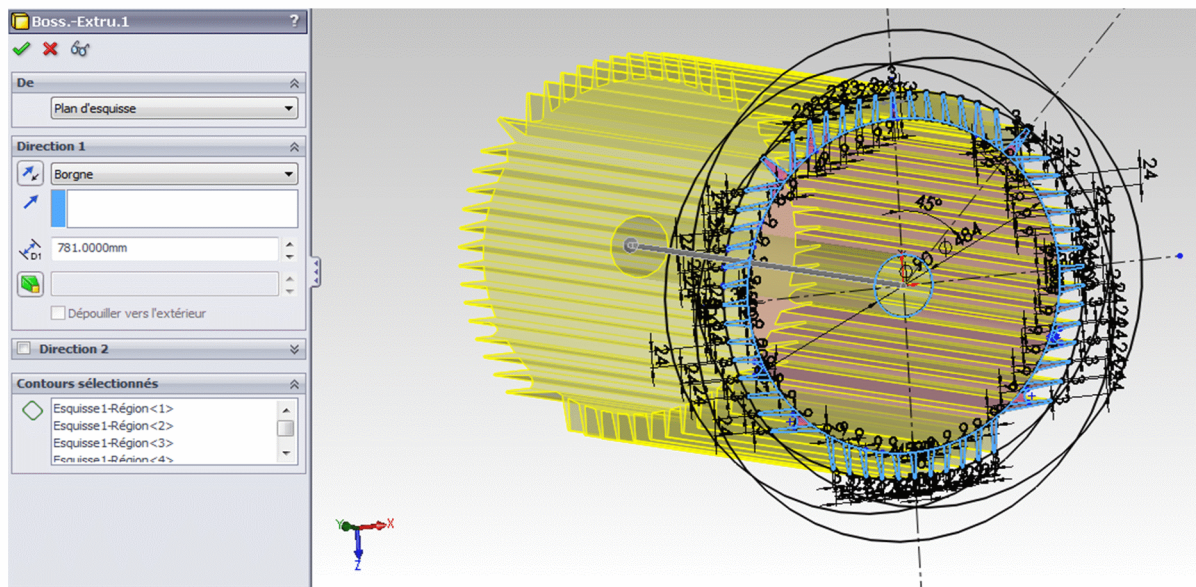


Figure. III.33: Fonction Base/Bossage extrudé de 781mm

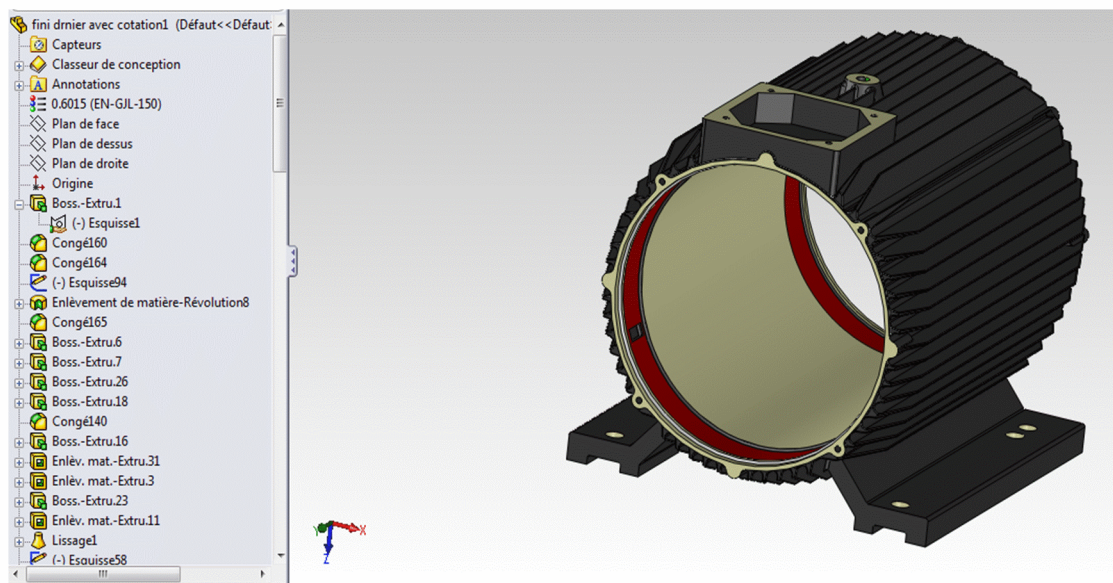


Figure. III.34: Carcasse finale obtenue

III.5.6 Réalisation de l'assemblage

Une fois les pièces modélisées, il faut procéder à leur assemblage. Pour cela, nous avons défini un certain nombre de contraintes dans le but de positionner les pièces les unes par rapport aux autres. Parmi les contraintes standards, on trouve.

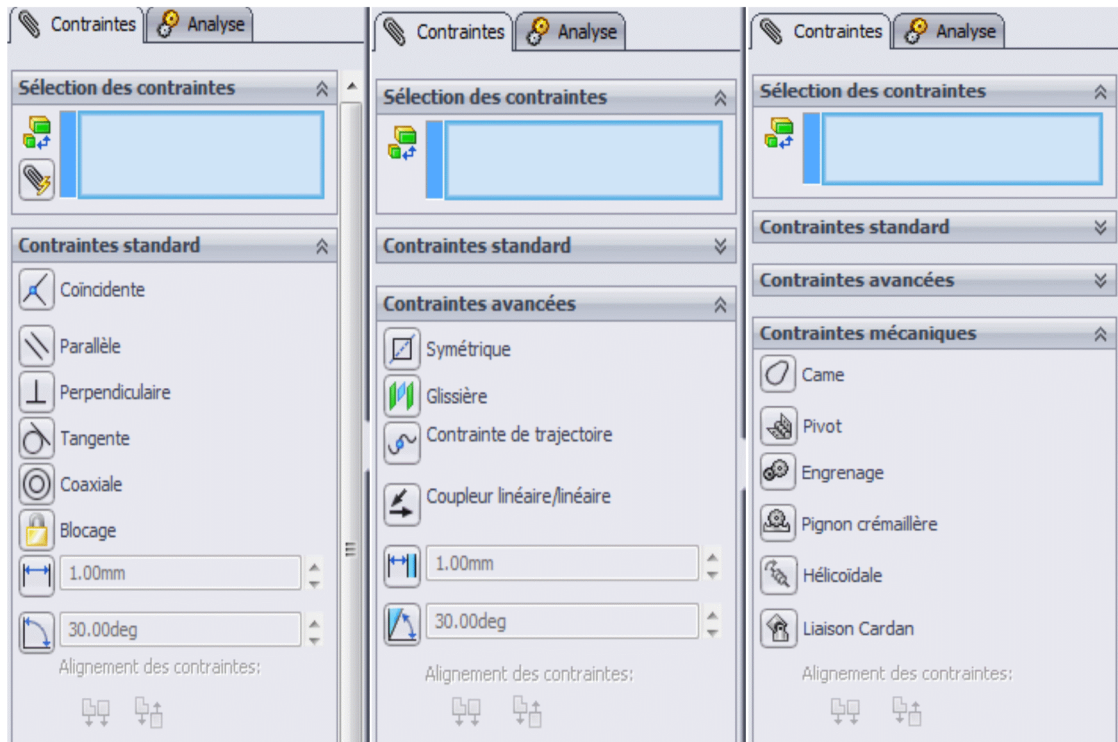


Figure. III.35: Différentes contraintes possibles

- **Coïncidente** : lorsque deux surfaces doivent coïncider.
- **Parallèle** : lorsque deux surfaces ou arêtes doivent être parallèles.
- **Perpendiculaire** : lorsque deux surfaces ou arêtes doivent être perpendiculaires.
- **Tangente** : lorsque qu'un cercle doit être tangent à une surface
- **Coaxiale** : lorsque que deux pièces cylindriques doivent avoir le même axe de révolution.
- **Blocage** : lorsque deux pièces doivent être totalement bloquées entrent-elles.

Voici le résultat que nous avons obtenu après ces étapes

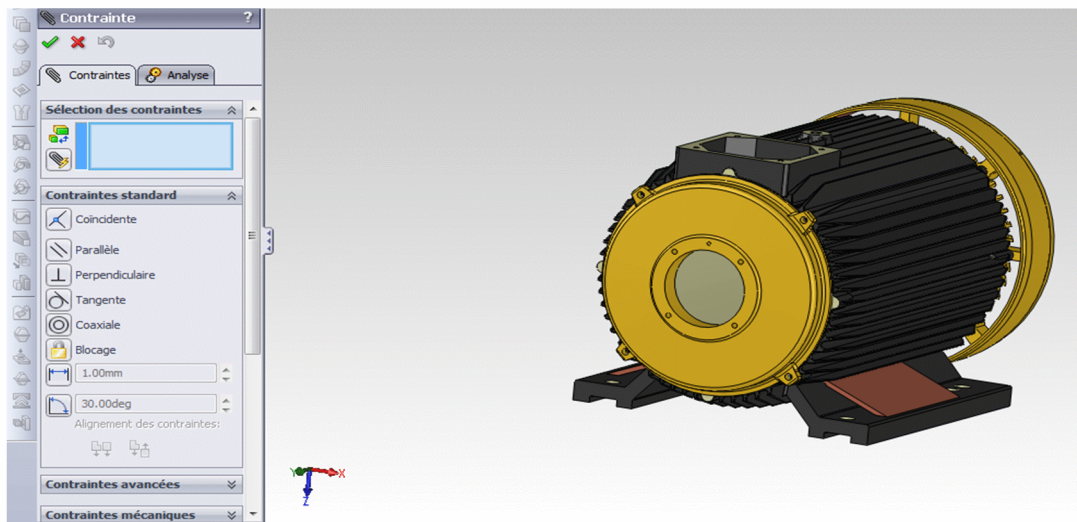


Figure. III.36: Mise en place des contraintes

L'assemblage se fait de manière logique, c'est-à-dire en conservant l'ordre de montage que l'on suivrait lors de la réalisation du moteur. L'ordre de mise en place des contraintes est également important. Il est indispensable de commencer par définir les contraintes les plus simples et de finir par celles qui enlèvent le plus de liberté.

En réalisant cet assemblage, nous avons réellement pu voir la carcasse du moteur en 3D et le rôle des liaisons entre les différentes pièces.

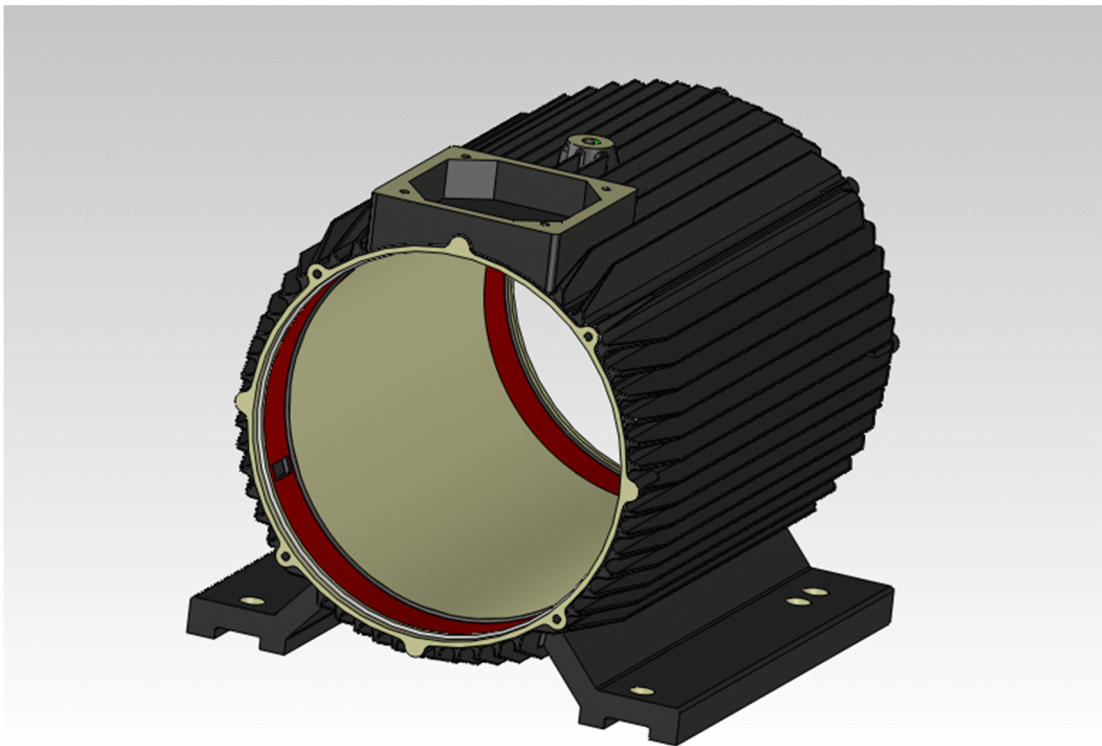


Figure. III.37: Carcasse final de notre moteur B3 315L

III.6 La Mise en plan de la carcasse

Enfin, il ne reste plus qu'à réaliser les mises en plan de carcasse. La carcasse est déjà créée en 3D, le passage de la 3D à la mise en plan est très rapide grâce au logiciel SolidWorks.

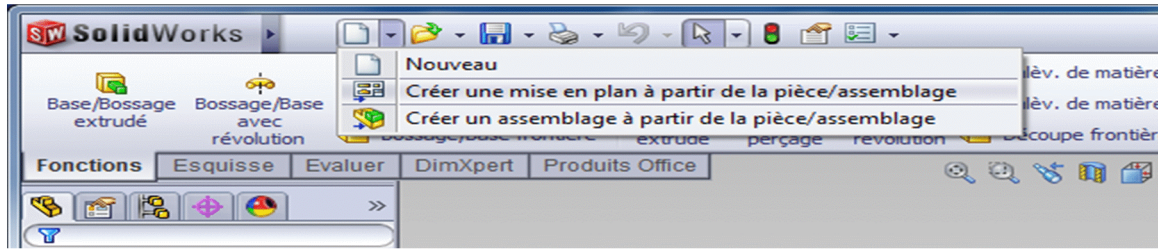


Figure. III.38: Créer une mise en plan à partir de la pièce/assemblage

Ensuite choisir le format : A0 ; A1 ; A2 ; A3 ; A4 ou format personnalisé.

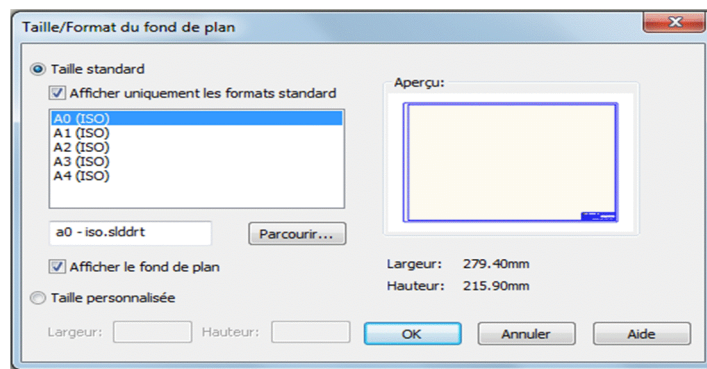


Figure. III.39: Taille et format du fond de plan

Il reste qu'a inséré les composants et de glisser les vues.

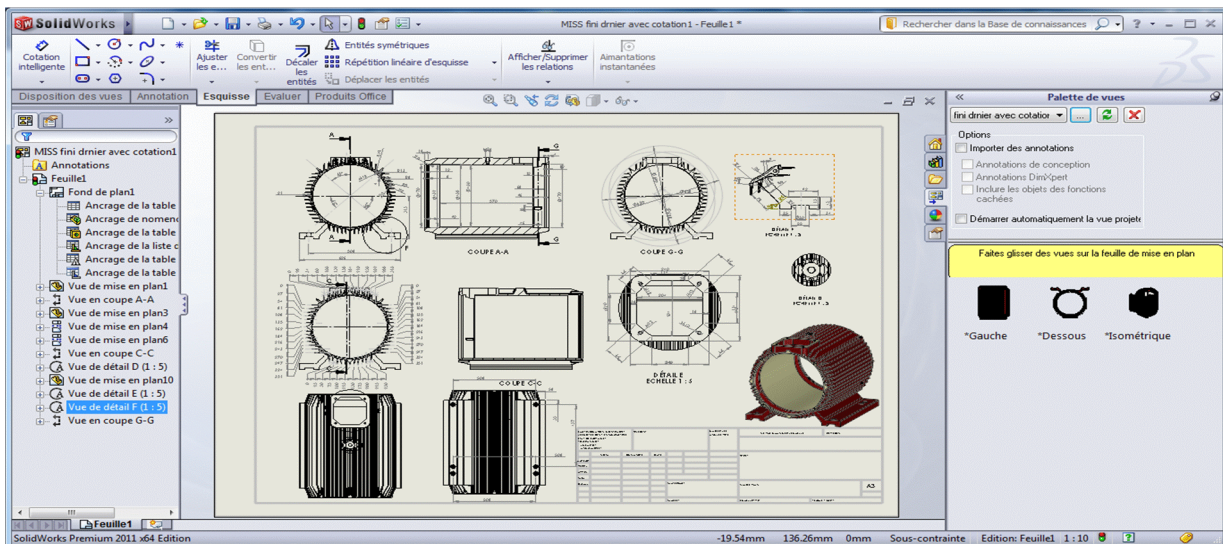


Figure. III.40: Mise en plan de la carcasse

Tout plans sont joints la fin de notre rapport.

Chapitre IV

Etude & Vérification

CALCULS ET VERIFICATION

IV.1 Introduction

Notre produit est une carcasse d'un moteur électrique asynchrone triphasé d'une hauteur d'axe 315 mm et de longueur 761 mm, elle va subir un emmanchement forcé (carcasse avec paquets statorique) avec presse avec un ajustement de type $\text{Ø}460\text{H}7\text{p}6$

IV.2 Tolérances dimensionnelles

- **Principe de l'interchangeabilité**

Lorsqu'il faut fabriquer une série de pièces identiques, il est impossible d'obtenir, d'une pièce à l'autre, exactement les mêmes dimensions. Il faut donc prévoir une variation possible de ces dimensions afin d'assurer l'interchangeabilité des pièces dans leurs ensembles respectifs. Les dimensions ou cotes sont alors comprises entre deux valeurs limites appelées cote minimale et cote maximale. L'écart arithmétique entre ces deux valeurs s'appelle tolérance ou intervalle de tolérance (IT). La cote théorique entière est-elle appelée cote nominale

a-Nécessité des tolérances

La production en série des pièces, par différents procédés de fabrication, oblige le constructeur à tolérer une erreur ou une incertitude sur la dimension exacte.

L'amplitude de cette tolérance est en fonction de plusieurs contraintes :

- Précision limitée des machines et des moyens utilisés pour la fabrication.
- Coût de réalisation.
- Exigences fonctionnelles, etc...

b- Eléments d'une cote tolérance

- Toutes les dimensions linéaires (cote et tolérance) doivent être exprimées dans une même unité. En construction mécanique, l'unité normalisée est le millimètre "mm".
- Le terme **Arbre** désigne la pièce (surface) mâle ou contenue. On lui affecte les lettres Minuscules (exp : es ; ei)
- Le terme **Alésage** désigne la pièce (surface) femelle ou contenant. On lui affecte les lettres majuscules (exp : ES ; EI). [18]

IV.3 Normalisation des tolérances

a-Système ISO

Dans le but d'homogénéiser les intervalles de tolérance, on a défini des classes qualités qui fixent la valeur de l'intervalle de tolérance (IT) en fonction de la dimension ou cote nominale.

Ces classes qualité sont exprimées par des nombres de 0 à 16. Le nombre 0 définissant la meilleure qualité (IT le plus faible).

En mécanique courante, on utilise les qualités comprises entre 5 et 13. CF. tableau ci-dessous.

Principales qualités ou tolérances (IT) ISO (IT en micromètre : 1µm = 0.001 mm)													
dimensions nominales en mm													
au-delà de →	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
à (inclus) →	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970

Tableau.IV.7 : Principales qualités ou tolérance (IT) ISO

b- La qualité

Il existe 20 qualités ou degrés de tolérances : 01 ; 0 ; 1 ; ... ; 18.
 Pour chaque qualité (q) correspond un intervalle de tolérance qui dépend de la dimension de la pièce : IT01 ; IT0 ; IT1 ; ; IT18
 La valeur de cet intervalle (IT) peut être, approximativement, calculée par la relation suivante :

$$IT = K \sqrt[3]{\varnothing}$$

∅ : dimension de la pièce
 K : coefficient de la qualité (q), La qualité définit l'étendu de l'intervalle de tolérance.

c-La position

La position de l'intervalle de tolérance est définie par des lettres minuscules de **a** à **z** pour les arbres, et par des lettres majuscules de **A** à **Z** pour les alésages

➤ **ALESAGE**

- La position **H** est à écart inférieur nul.
- En s'éloignant à gauche de la position **H** l'alésage devient plus grand. Les Ecart Inférieurs et Supérieurs augmentent
- En s'éloignant à droite de la position **H** l'alésage diminue. On va vers plus de matière dans la pièce.
- La position **JS** est centrée sur la ligne zéro.

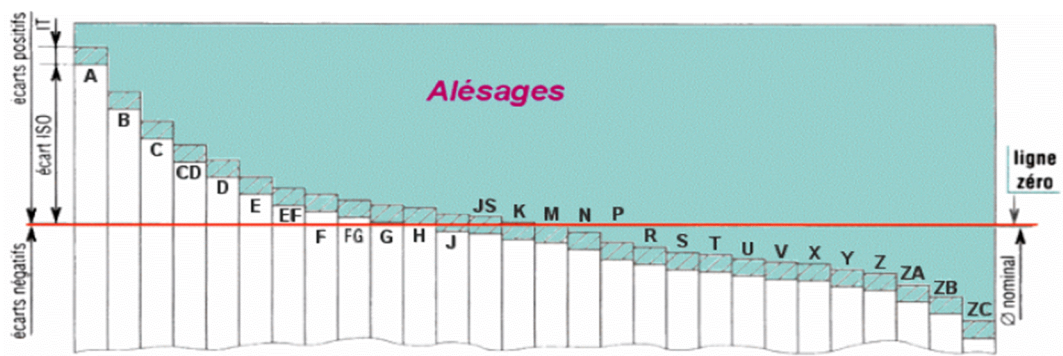


Figure. IV.41: Ecarts relatifs de l'alésage

➤ ARBRE

- La position **h** et à écart supérieur nul.
- En s'éloignant à droite de la position **h** l'arbre devient plus gros. Il gagne de la matière.
- En s'éloignant à gauche de la position **h** l'arbre devient plus fin.
- La position **js** est centrée sur la ligne zéro.

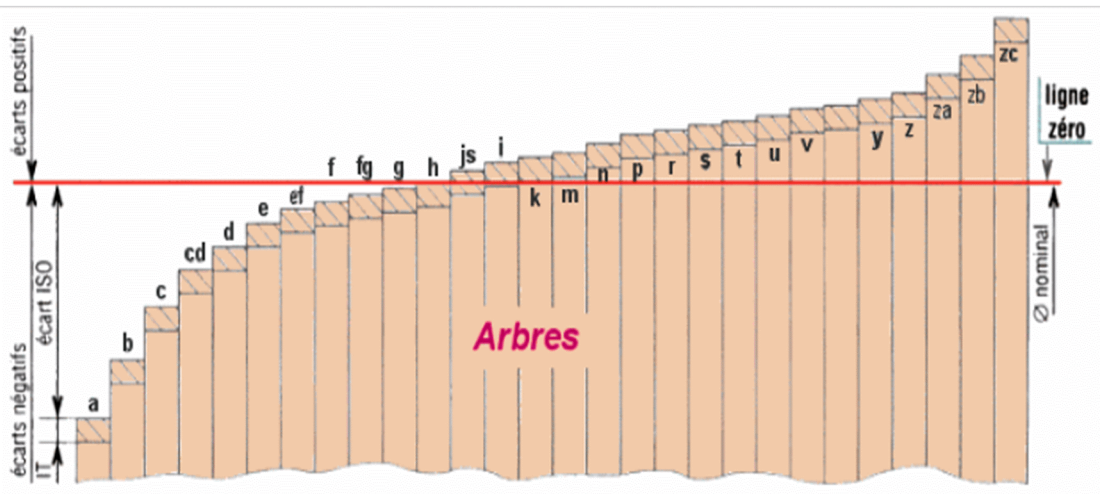


Figure. IV.42: Ecarts relatifs de l'arbre

La position de la tolérance, pour un arbre ou un alésage, définit la répartition des écarts par rapport à la ligne zéro. [18]

d-Tableaux des principaux écarts en microns

ARBRE	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
a11	-270 -330	-270 -345	-280 -370	-290 -400	-300 -430	-320 -470	-360 -530	-410 -600	-580 -710	-820 -950	-1050 -1240	-1350 -1560	-1650 -1900
c11	-60 -120	-70 -145	-80 -170	-95 -205	-110 -240	-130 -280	-150 -330	-180 -390	-230 -450	-280 -530	-330 -620	-400 -720	-480 -840
d9	-20 -45	-30 -60	-40 -75	-50 -93	-65 -117	-80 -142	-100 -174	-120 -207	-145 -245	-170 -285	-190 -320	-210 -350	-230 -385
d10	-20 -60	-30 -78	-40 -98	-50 -120	-65 -149	-80 -180	-100 -220	-120 -250	-145 -305	-170 -355	-190 -400	-210 -440	-230 -480
d11	-20 -80	-30 -105	-40 -130	-50 -160	-65 -195	-80 -240	-100 -290	-120 -340	-145 -395	-170 -460	-190 -510	-210 -570	-230 -630
e7	-14 -24	-20 -32	-25 -40	-32 -50	-40 -61	-50 -75	-60 -90	-72 -107	-85 -125	-100 -146	-110 -162	-125 -182	-135 -198
e8	-14 -28	-20 -38	-25 -47	-32 -59	-40 -73	-50 -89	-60 -106	-72 -126	-85 -148	-100 -172	-110 -191	-125 -214	-135 -232
e9	-14 -39	-20 -50	-25 -61	-32 -75	-40 -92	-50 -112	-60 -134	-72 -159	-85 -185	-100 -215	-110 -240	-125 -265	-135 -290
f6	-6 -12	-10 -18	-13 -22	-16 -27	-20 -33	-25 -41	-30 -49	-36 -58	-43 -68	-50 -79	-56 -88	-62 -98	-68 -108
f7	-6 -16	-10 -22	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96	-56 -108	-62 -119	-68 -131
f8	-6 -20	-10 -28	-13 -35	-16 -43	-20 -53	-25 -64	-30 -76	-36 -90	-43 -106	-50 -122	-56 -137	-62 -151	-68 -165
g5	-2 -6	-4 -9	-5 -11	-6 -14	-7 -16	-9 -20	-10 -23	-12 -27	-14 -32	-15 -35	-17 -40	-18 -43	-20 -47
g6	-2 -8	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -34	-17 -49	-19 -54	-20 -60
g7	-2 -12	-4 -16	-5 -20	-6 -24	-7 -28	-9 -34	-10 -40	-12 -47	-14 -54	-15 -61	-17 -69	-19 -76	-20 -83
h5	0 -4	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25	0 -27
h6	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	0 -32	0 -36	0 -40
h7	0 -10	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57	0 -63
h8	0 -14	0 -18	0 -22	0 -27	0 -33	0 -39	0 -46	0 -54	0 -63	0 -72	0 -81	0 -89	0 -97
h9	0 -25	0 -30	0 -36	0 -43	0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115	0 -130	0 -140	0 -155
h10	0 -40	0 -48	0 -58	0 -70	0 -84	0 -100	0 -120	0 -140	0 -160	0 -185	0 -210	0 -230	0 -250
h11	0 -60	0 -75	0 -90	0 -110	0 -130	0 -160	0 -190	0 -220	0 -250	0 -290	0 -320	0 -360	0 -400
j6	+4 -2	+6 -2	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13	+16 -16	+18 -18	+20 -20
js5	± 2	± 2.5	± 3	± 4	± 4.5	± 5.5	± 6.5	± 7.5	± 9	± 10	± 11.5	± 12.5	± 13.5
js6	± 3	± 4	± 4.5	± 5.5	± 6.5	± 8	± 9.5	± 11	± 13	± 14.5	± 16	± 18	± 20
js9	± 12	± 15	± 18	± 21	± 26	± 31	± 37	± 43	± 50	± 57	± 65	± 70	± 77
js11	± 30	± 37	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180	± 200
k5	+4 0	+6 +1	+7 +1	+9 +1	+11 +2	+13 +2	+15 +2	+18 +3	+21 +3	+24 +4	+27 +4	+29 +4	+32 +5
k6	+6 0	+9 +1	+10 +1	+12 +1	+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4	+36 +4	+40 +4	+45 +5
m5	+6 +2	+9 +4	+12 +6	+15 +7	+17 +8	+20 +9	+24 +11	+28 +13	+33 +15	+37 +17	+43 +20	+46 +21	+50 +23
m6	+8 +2	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21	+63 +21
n6	+10 +4	+16 +8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	+66 +34	+73 +37	+80 +40
p6	+12 +6	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43	+79 +50	+88 +56	98 +62	+108 +68

Tableau. IV.8: Principaux écarts de l'arbre en microns [18]

ALESAGES	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
D10	+60 +20	+78 +30	+98 +40	+120 +50	+149 +65	+180 +80	+220 +100	+260 +120	+305 +145	+355 +170	+400 +190	+440 +210	+480 +230
F7	+16 +6	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 +30	+71 +36	+83 +43	+96 +50	+108 +56	+119 +62	+131 +68
G6	+8 +2	+12 +4	+14 +5	+17 +6	+20 +7	+25 +9	+29 +10	+34 +12	+39 +14	+44 +15	+49 +17	+54 +18	+60 +30
H6	+6 0	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+29 0	+32 0	+36 0	+40 0
H7	+10 0	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0	+52 0	+57 0	+63 0
H8	+14 0	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+39 0	+46 0	+54 0	+63 0	+72 0	+81 0	+89 0	+97 0
H9	+25 0	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0	+100 0	+115 0	+130 0	+140 0	+155 0
H10	+40 0	+48 0	+58 0	+70 0	+84 0	+100 0	+120 0	+140 0	+160 0	+185 0	+210 0	+230 0	+250 0
H11	+60 0	+75 0	+90 0	+110 0	+130 0	+160 0	+190 0	+210 0	+250 0	+290 0	+320 0	+360 0	+400 0
H12	+100 0	+120 0	+150 0	+180 0	+210 0	+250 0	+300 0	+350 0	+400 0	+460 0	+520 0	+570 0	+630 0
H13	+140 0	+180 0	+220 0	+270 0	+330 0	+390 0	+460 0	+540 0	+630 0	+720 0	+810 0	+890 0	+970 0
K7	0 -10	+3 -9	+5 -10	+6 -12	+6 -15	+7 -18	+9 -21	+10 -25	+12 -28	+13 -33	+16 -36	+17 -40	+18 -45
M7	-2 -12	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57	0 63
N7	-4 -14	-4 -16	-4 -19	-5 -23	-7 -28	-8 -33	-9 -39	-10 -45	-12 -52	-14 -60	-14 -66	-16 -73	-17 -80
N9	-4 -29	0 -30	0 -36	0 -43	0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115	0 -130	0 -140	0 -155
P6	-6 -12	-9 -17	-12 -21	-15 -26	-18 -31	-21 -37	-26 -45	-30 -52	-36 -61	-41 -70	-47 -79	-51 -87	-55 -95
P7	-6 -16	-8 -20	-9 -24	-11 -29	-14 -35	-17 -42	-21 -51	-24 -59	-28 -68	-33 -79	-36 -88	-41 -98	-45 -108
P9	-9 -31	-12 -42	-15 -51	-18 -61	-22 -74	-26 -88	-32 -106	-37 -124	-43 -143	-50 -165	-56 -186	-62 -202	-68 -223

Tableau. IV.9: Principaux écarts de l'alésage en microns [18]

IV.4 Les ajustements

a-Description d'un ajustement

Un ajustement est un montage précis (assemblage) de deux pièces de mêmes dimensions nominales. L'inscription d'un ajustement comporte la cote nominale, commune aux deux pièces, suivie d'abord de la position et la qualité de la tolérance relative à l'alésage, puis de la position et la qualité de la tolérance relative à l'arbre. Le montage du coussinet (2) dans le corps (3) nécessite un ajustement avec serrage (voir dessin d'ensemble du mécanisme de serrage, Figure IV.43).

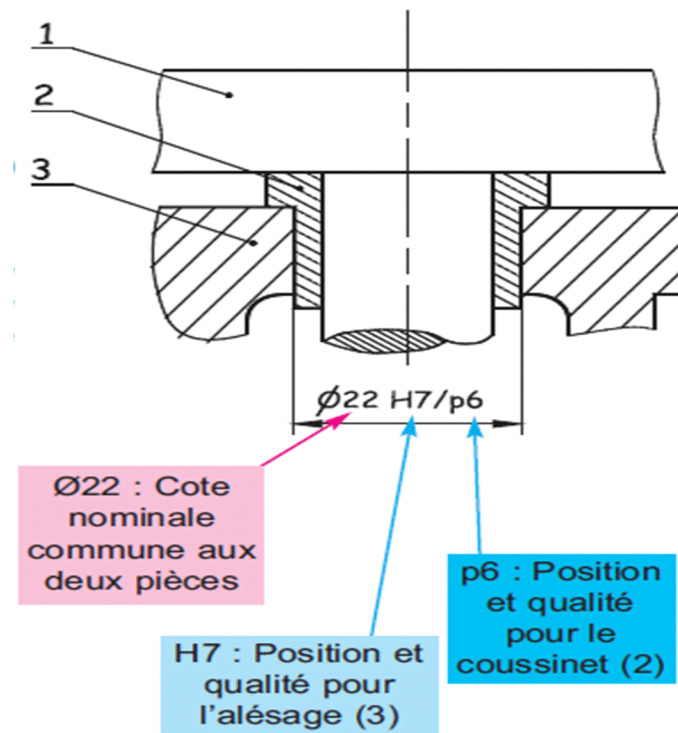


Figure. IV.43 : L'inscription d'un ajustement dans deux pièces

b-Différents types d'ajustements

Le type de l'ajustement est déterminé en fonction des jeux ou serrages qu'il autorise.

Jeu max = Alésage max – arbre min

Jeu min = Alésage min – arbre max

Lorsque la cote de l'arbre dépasse celle de l'alésage, le jeu "négatif" se transforme en serrage.

Serrage max = arbre max - Alésage min

Serrage min = arbre min - Alésage max

On distingue 3 types d'ajustements :

- Ajustement avec jeu : quelles que soient les deux pièces tirées dans le lot, il existe un jeu de montage.
- Ajustement incertain : le montage des deux pièces peut être avec jeu ou serrage.
- Ajustement serré : quelles que soient les deux pièces tirées dans le lot, leur montage se fait avec serrage.

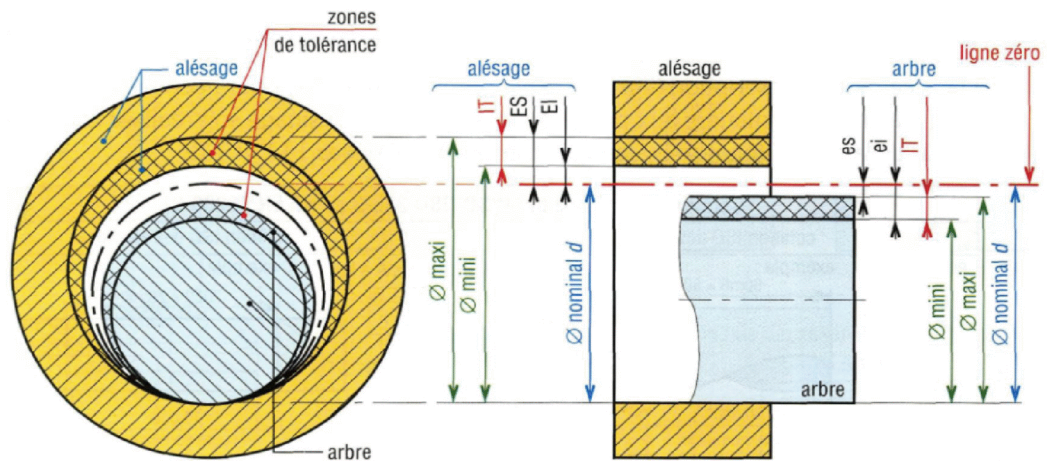


Figure. IV.44 : Jeu et serrage d'un ajustement

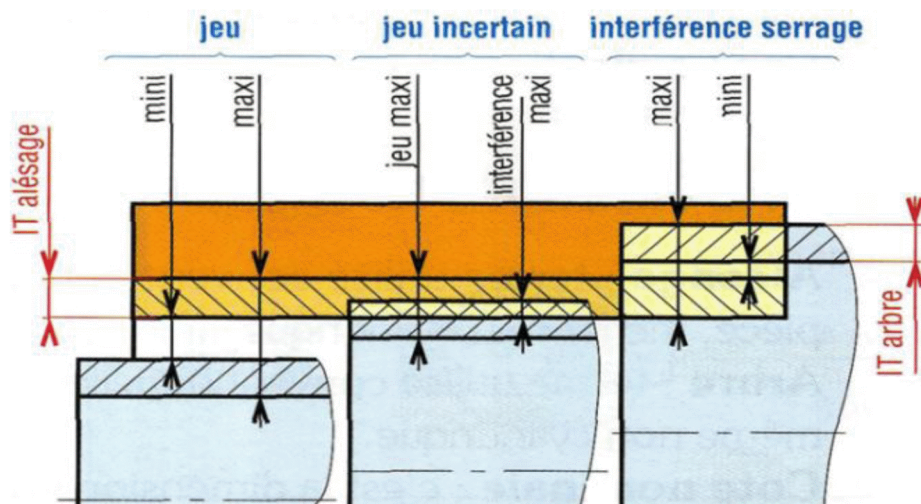


Figure. IV.45: différents types d'ajustements

c-Ajustement à ALESAGE normal

Pour le système à alésage normal, on adopte la position **H** à écart inférieur nul.

Ce système de tolérancement est très recommandé, car il est plus facile de réaliser des tolérances différentes sur un arbre que dans un alésage. En plus la majorité des outils de forme donnent des alésages (contenants) tolérances **H**.

Exemples : foret, alésoir, fraise 3 tailles, etc...

Si on exige un ajustement avec jeu, il suffit de choisir, pour l'arbre, une position située à gauche de la lettre **h** (**c ; d ; e ; f ; g** et à la limite **h**).

On revanche, s'il s'agit d'un ajustement dur (avec serrage), il faut choisir une lettre située à droite de **h** (**m ; n ; p ; etc.**)[18]

d-Ajustements recommandés

Ajustements Usuels (Système de l'alésage H)										
Type	arbre	Alésages						Observations		
		H6	H7	H8	H9	H10	H11			
Pièces mobiles	jeu élevé	c11							Cas usuels de longues portées, mauvais alignement, dilatations...	
		c10								
		c9								
		d10								
	jeu moyen	d9							Cas usuels pour guidages tournants ou glissant avec jeu (bon graissage assuré)	
		d8								
		e9								
		e8								
		e7								
		f8								
	jeu faible	f7							pour guidages précis	
		f6								
Pièces immobiles	ajusté	g6						assemblage possible à la main	Pour centrages et positionnement ne peut pas transmettre des efforts	pas de détérioration des pièces au démontage
		g5								
		h9								
		h7								
	très ajusté	h6						assemblage possible au "maillet" (Presse recommandée)	Pour transmission des efforts	détérioration des pièces au démontage
		h5								
		js7								
	peu serré	js6						assemblage à la presse	Pour transmission des efforts	détérioration des pièces au démontage
		js5								
		k6								
		k5								
		m7								
serré (interférence)	m6						assemblage à la presse lourde ou par dilatation (fretage)	Pour transmission des efforts	détérioration des pièces au démontage	
	n6									
	p6									
	r6									
	s7									
serré fort	s6						assemblage à la presse lourde ou par dilatation (fretage)	Pour transmission des efforts	détérioration des pièces au démontage	
	t6									
	u6									
	x7									

■ cas les plus utilisés ■ cas les plus utilisés (à connaître)

Tableau. IV.10 : Ajustements usuels recommandés (Système de l'alésage normal).

IV.5 Calcul d'ajustement

Pour déterminer et calculer de l'ajustement il faut à savoir que :

- ✓ Alésage=carcasse
- ✓ Arbre=stator

Pour calculer un ajustement on appliquera les relations suivantes :

- Ecart MAXI = Alésage MAXI – Arbre mini
- Ecart mini = Alésage mini – Arbre MAXI

Nous avons les démontions de la carcasse et de stator suivants :

- Carcasse (alésage) : Ø460 H7
- Stator (arbre) : Ø460 p6

Donc on a :

- Ecarte supérieure de l'alésage(ES)=0.063mm
- Ecarte inférieure de l'alésage(EI)=0.00mm
- Ecarte supérieure de l'arbre(es)=0.108mm
- Ecarte inférieure de l'arbre (ei)=0.068mm

On trouve que :

$$\text{-Ecart maxi} = 460.063 - 460.068 = -0.005 \text{ mm}$$

$$\text{-Ecart min} = 460 - 460.108 = -0.108 \text{ mm}$$

On observe que :

La valeur de l'écart max est négative et la valeur de écart min est négative aussi, on conclue que c'est un serrage.

On détermine le serrage maxi et le serrage min :

- Serrage maxi = es (arbre) - EI (alésage).

$$\text{Serrage max} = 0.108 - 0 = 0.108 \text{ mm}$$

- Serrage min = ei (arbre) - ES (alésage).

$$\text{Serrage min} = 0.068 - 0.063 = 0.005 \text{ mm}$$

D'après ces résultats que on obtienne et d'après système ISO on peut écrire : Ø460H7p6

Ø 460 : Cote nominale

H7 : Position et qualité de l'IT de l'alésage

P6 : Position et qualité de l'IT de l'arbre

IV.6 Calcul emmanchement force

On a une liaison complète entre un paquet statorique et une carcasse est obtenue par emmanchement force à la presse avec un ajustement de type Ø460H7p6, sachant que la longueur de paquet statorique est de 570mm et Son diamètre nominal est 460mm,

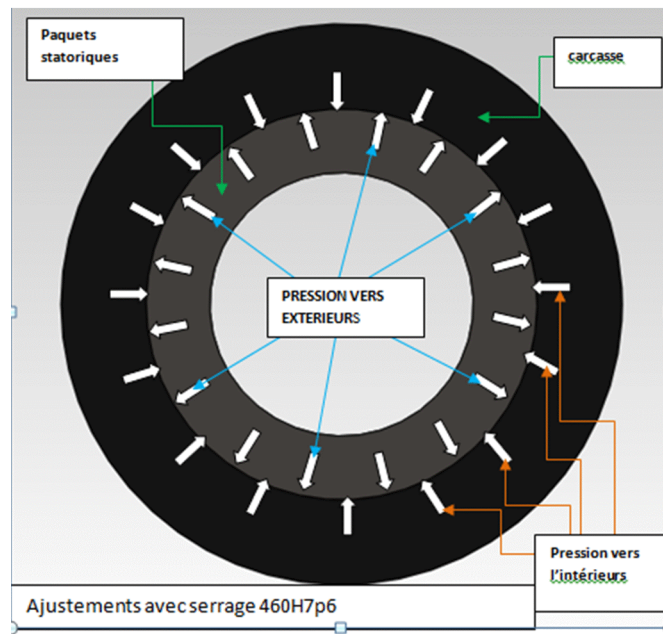


Figure. IV.46: Emmenchement force avec presse

Donc on calcule la pression spécifique, avec les donner suivants :

$\pi = 3,14$ avec :

$d = 460 \text{ mm}$ d : diamètre nominal

$l = 570 \text{ mm}$ l : longueur du paquet statorique

$f = 0,19$ f : coefficient de frottement acier/fonte avec une surface sèche

$F = 260 \text{ KN}$ F : Effort emménagement utilisé pour le modèle 315 M

- On a effort d'extraction (F)

$$F \geq \pi \cdot d \cdot l \cdot P \cdot f \dots\dots\dots (*)$$

D'après la formule (*) on détermine la pression spécifique :

$$P = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot l \cdot f}$$

$$P = \frac{260000}{3,14 \cdot 460 \cdot 570 \cdot 0,19}$$

$$P = 1.66 \text{ MPa}$$

IV.6 Calcule approché poids du moteur

Pour calcule le poids approche du nouveau moteur 315L, on a les donnes suivantes:

❖ Moteur315M:

- Poids total du moteur315Mavec ces deux pattes : 1060kg
- poids d'une seule patte : 18.5kg
- poids sa carcasse 230kg et d'un volume de cage de la carcasse de 77821190mm^3
- **Moteur315L** : La nouvelle carcasse : coque et patte de même bloc

- Volume cage : 94680420mm^3
- Poids de la carcasse d'apprêt Solid Works est de 260kg

➤ Calculs :

On va calculer en premier le poids d'un moteur 315M allonger de 100mm de largeur, on utilisant le volume de la cage, sachant que le volume de cage est 315L= volume de la cage 315M allonger

Volume de la cage 315L= volume de la cage 315Ma allonger de 100mm

$$1060\text{kg} \longrightarrow 78069820\text{mm}^3$$

$$X \text{ kg} \longrightarrow 94680420\text{mm}^3$$

$$X = \frac{94680420 \times 1060}{78069820} = 1286 \text{ Kg}$$

Le poids du moteur 315M allonger de 100mm est égale : 1286 Kg

En suit en a le volume de la carcasse 315M allonger de 100mm est égale au volume de la carcasse 315L

On a aussi le poids de la carcasse 315M qui est égale : 230Kg

Donc on peut déterminer le poids de la carcasse 315M allongé de 100mm (sans patte)

$$78069820 \text{ mm}^3 \longrightarrow 230\text{Kg}$$

$$94680420\text{mm}^3 \longrightarrow X \text{ Kg}$$

$$X = \frac{94680420 \times 230}{78069820} = 279\text{kg}$$

- Le poids de la carcasse 315M allongé de 100mm (sans patte) est de 279Kg :

Maintenant on va déterminer le poids de la carcasse 315M allongé de 100mm (sans patte)

Poids 315M 1060Kg, \longrightarrow sa carcasse a un poids de 230Kg

Poids 315 M allonger de 100mm 1286Kg \longrightarrow sa carcasse a un poids de X Kg

$$X = \frac{1286 \times 230}{1060} = 280\text{Kg}$$

- Le poids de moteur 315M allonger de 100 mm a un poids de 1286Kg et sa carcasse de 280Kg et ces deux pattes de 18.5Kg

Pour trouve le poids 315L

(Poids de moteur complet 315M allongé)-(poids de la carcasse allonger 315M allonger)-(poids de deux pattes)

$1286 - 280 - [2(18,5)] = 970\text{Kg}$ (c'est le poids des éléments intérieurs de des deux carcasses du moteur 315M allongé)

Le poids des éléments intérieurs de des deux carcasses du moteur 315M allongé et 315L sont égaux

Donc : le poids total du moteur 315L = le poids (970Kg) + poids de la carcasse 315L (260Kg) qui a été donne par Solid Works= 1230Kg

On a le poids total approche du moteur 315Légal à **1230 Kg**

IV.7.1 : Simulation 1

IV.7.1.2 : Type d'analyse: Statique

a-Informations sur le modèle

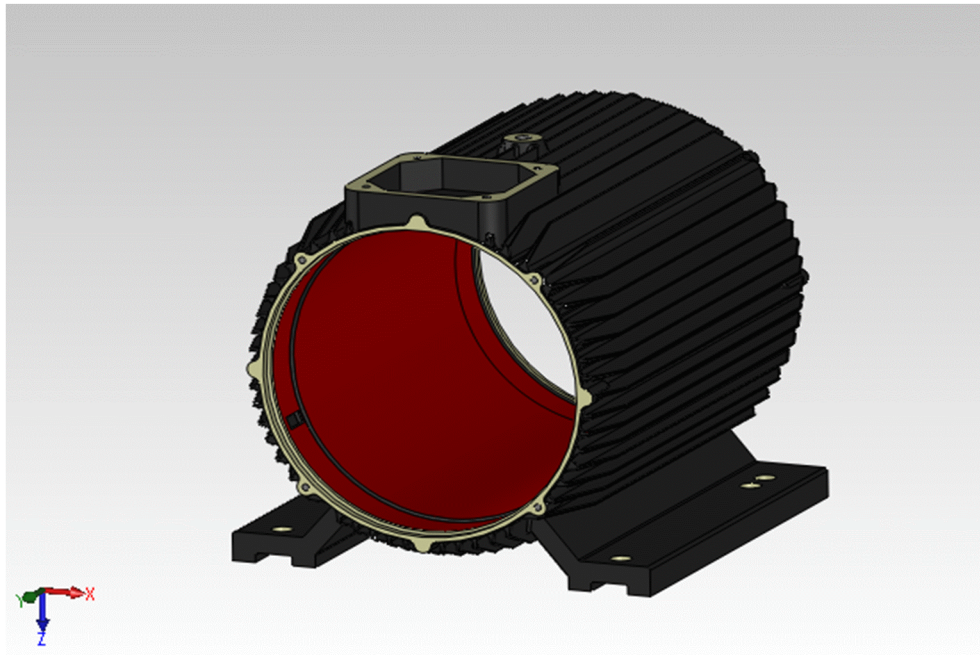


Figure. IV.47 : Informations sur le modèle

b-Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 5
Type d'analyse	Statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques:	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin

Tableau. IV.11 : Propriétés de l'étude

c-Unités

Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	Celsius
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/mm ² (MPa)

Tableau. IV.12: Unités

d-Propriétés du matériau

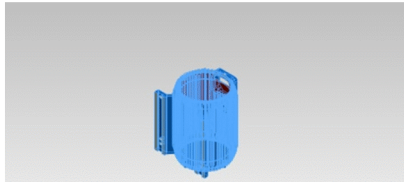
Référence du modèle	Propriétés
	Nom: 0.6015 (EN-GJL-150) Type de modèle: Linéaire élastique isotropique Critère de ruine par défaut: Inconnu Limite d'élasticité: 1.00594e+008 N/m² Limite de traction: 1.50826e+008 N/m² Module d'élasticité: 1.85e+011 N/m² Coefficient de Poisson: 0.26 Masse volumique: 7250 kg/m³ Module de cisaillement: 6.5e+009 N/m² Coefficient de dilatation thermique: 1e-005 /Kelvin

Tableau. IV.13 : Propriétés du matériau

e-Actions extérieures

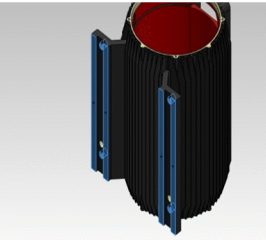
Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités: 8 face(s) Type: Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultat
Force de réaction(N)	0.000210762	6.22272e-005	-16318.5	16318.
Moment de réaction (N-m)	0	0	0	0

Tableau. IV.14.a : Actions extérieures

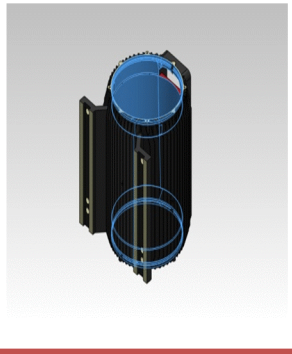
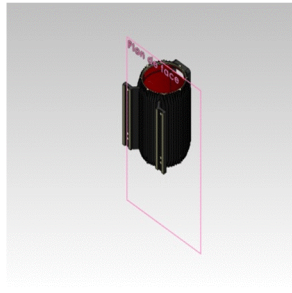
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Chargement/Masse à distance (connexion rigide)-1		Entités: 9 face(s) Type: Chargement/Masse (connexion rigide) Système de coordonnées: Coordonnées cartésiennes globales Force Valeurs: ---, ---, --- N Moment Valeurs: ---, ---, --- N-m Coordonnées de référence: -0.4684 388.9 61.3666 mm Masse à distance: 1400 kg Moment d'inertie: 0,0,0,0,0 kg.m ² Composants transférés: NA
Gravité1		Référence: Plan de face Valeurs: 0 0 9.81 Unités: SI

Tableau. IV.14.b : Actions extérieures

f-Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage basé sur la courbure
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément maximum	94.1293 mm
Taille d'élément minimum	18.8259 mm
Qualité de maillage	Haute

Tableau. IV.15 : Informations sur le maillage

g-Informations sur le maillage – Détails

Nombre total de noeuds	235712
Nombre total d'éléments	124849
Aspect ratio maximum	2.8834e+005
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	27.9
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	29
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:56

Tableau. IV.16 : Informations sur le maillage – Détails

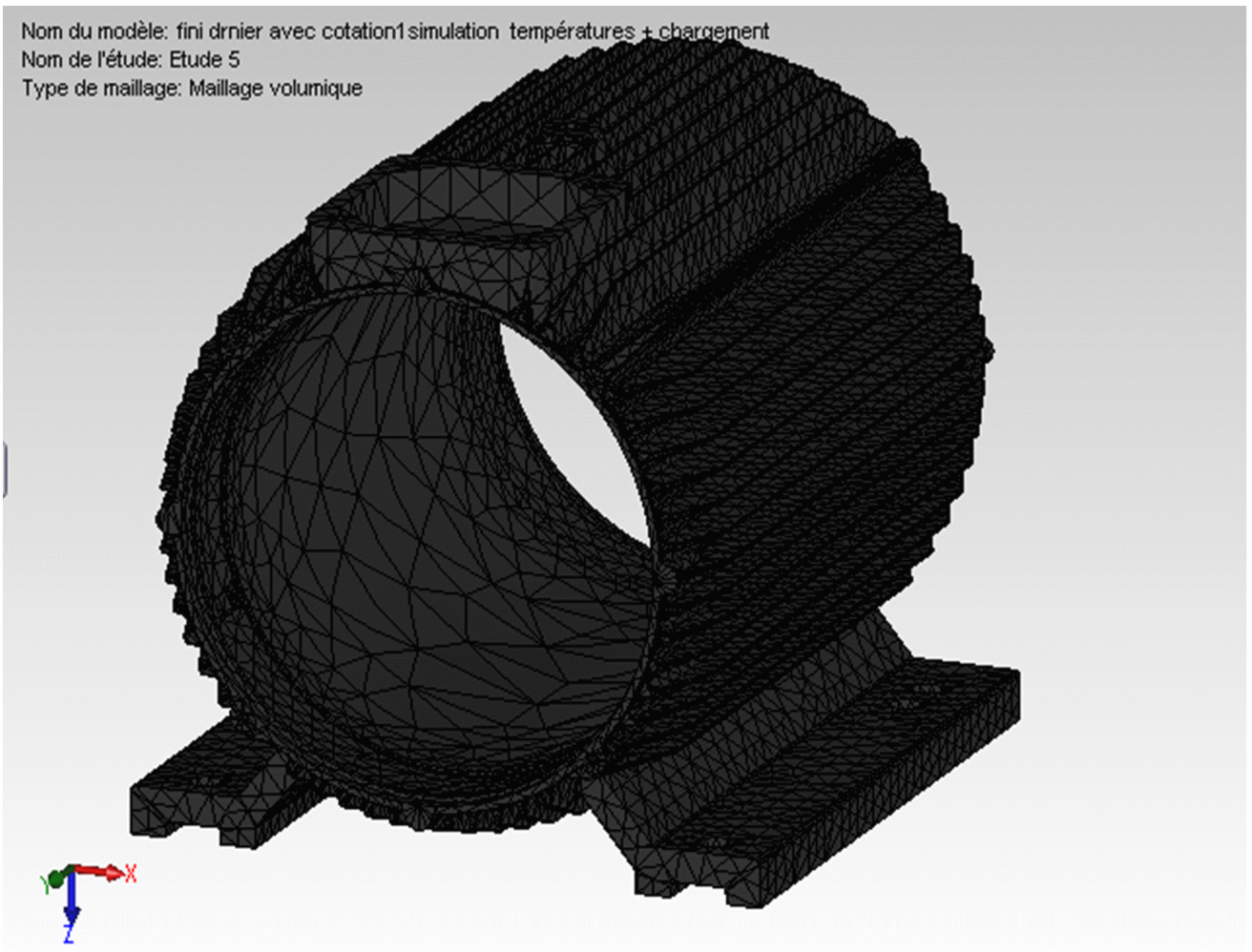


Figure. IV.48: Maillage

h-Forces résultantes

h-1.Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	0.000210762	6.22272e-005	-16318.5	16318.5

Tableau. IV.17 : Forces de réaction

i-Résultats de l'étude

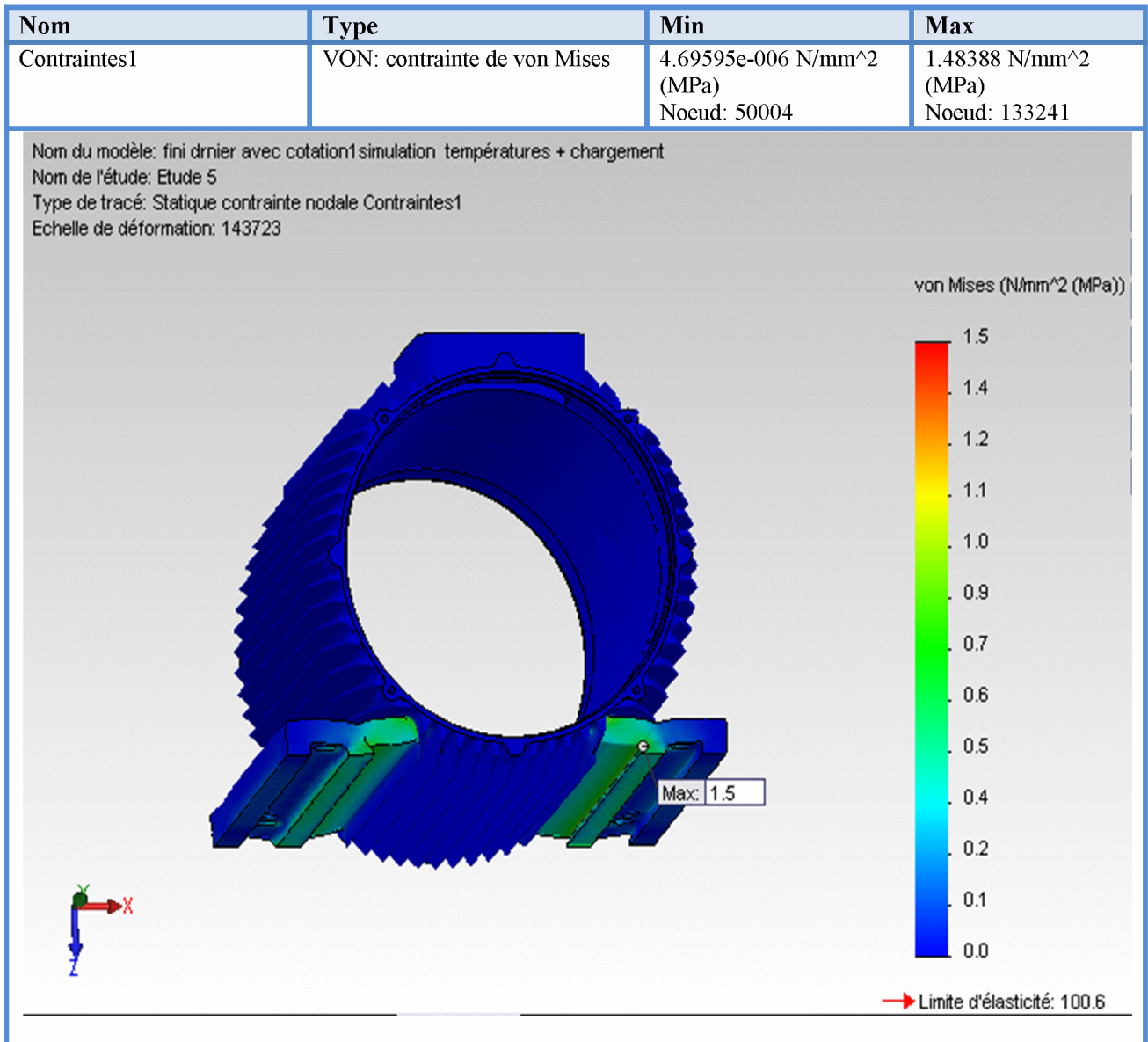


Figure. IV.49: contrainte de von Mises

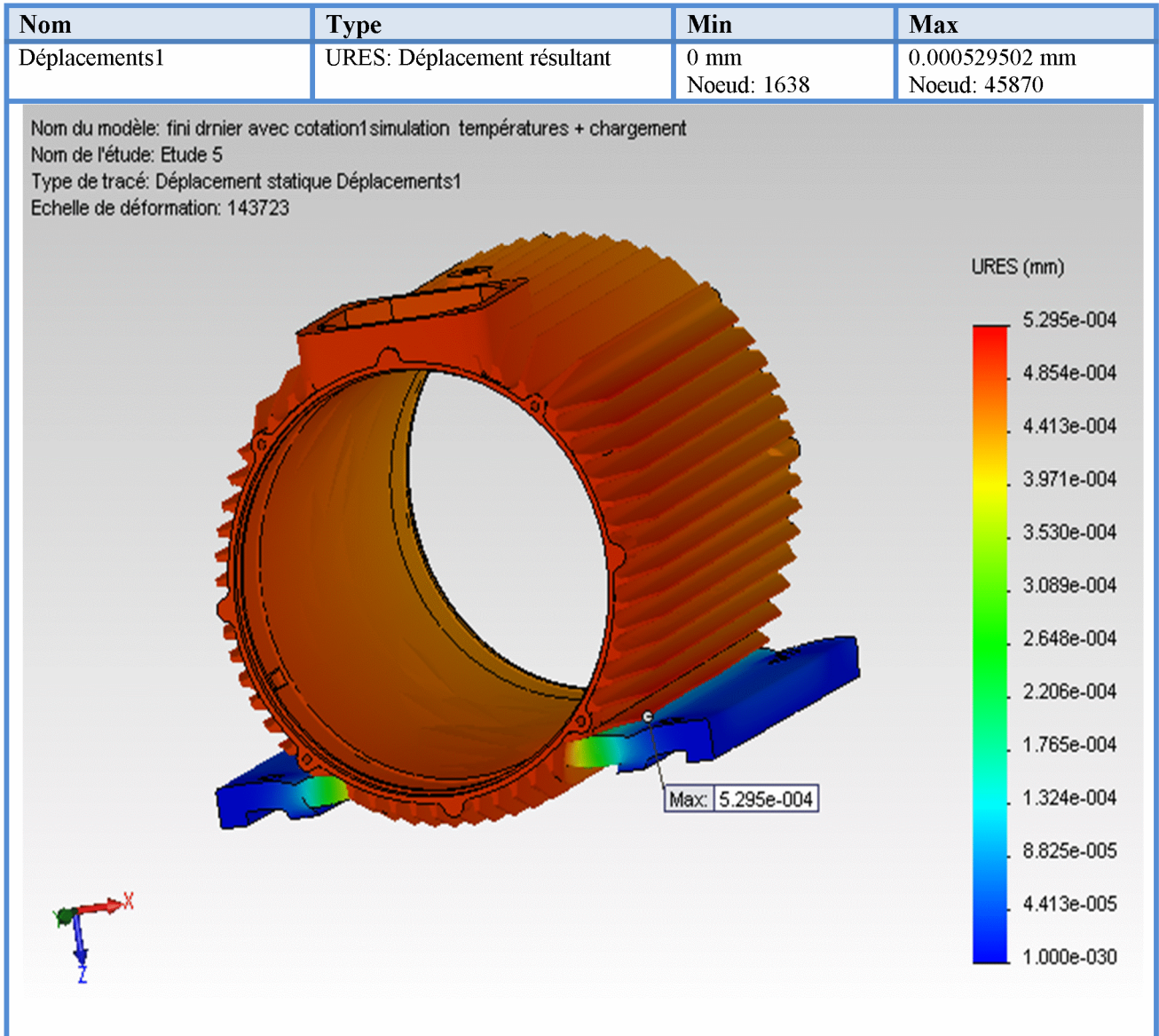


Figure. IV.50: Déplacement résultant

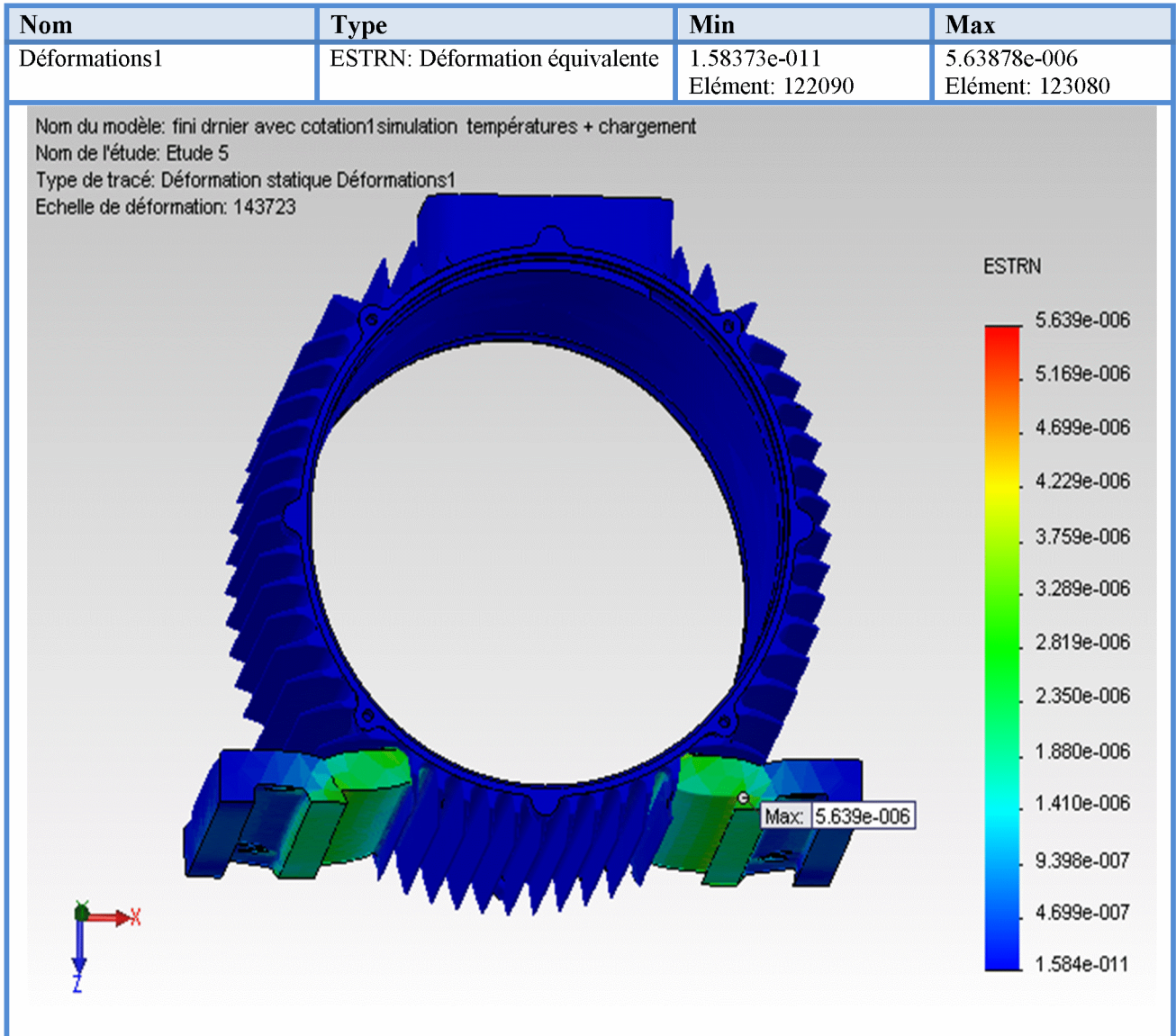


Figure. IV.51 : Déformation équivalente

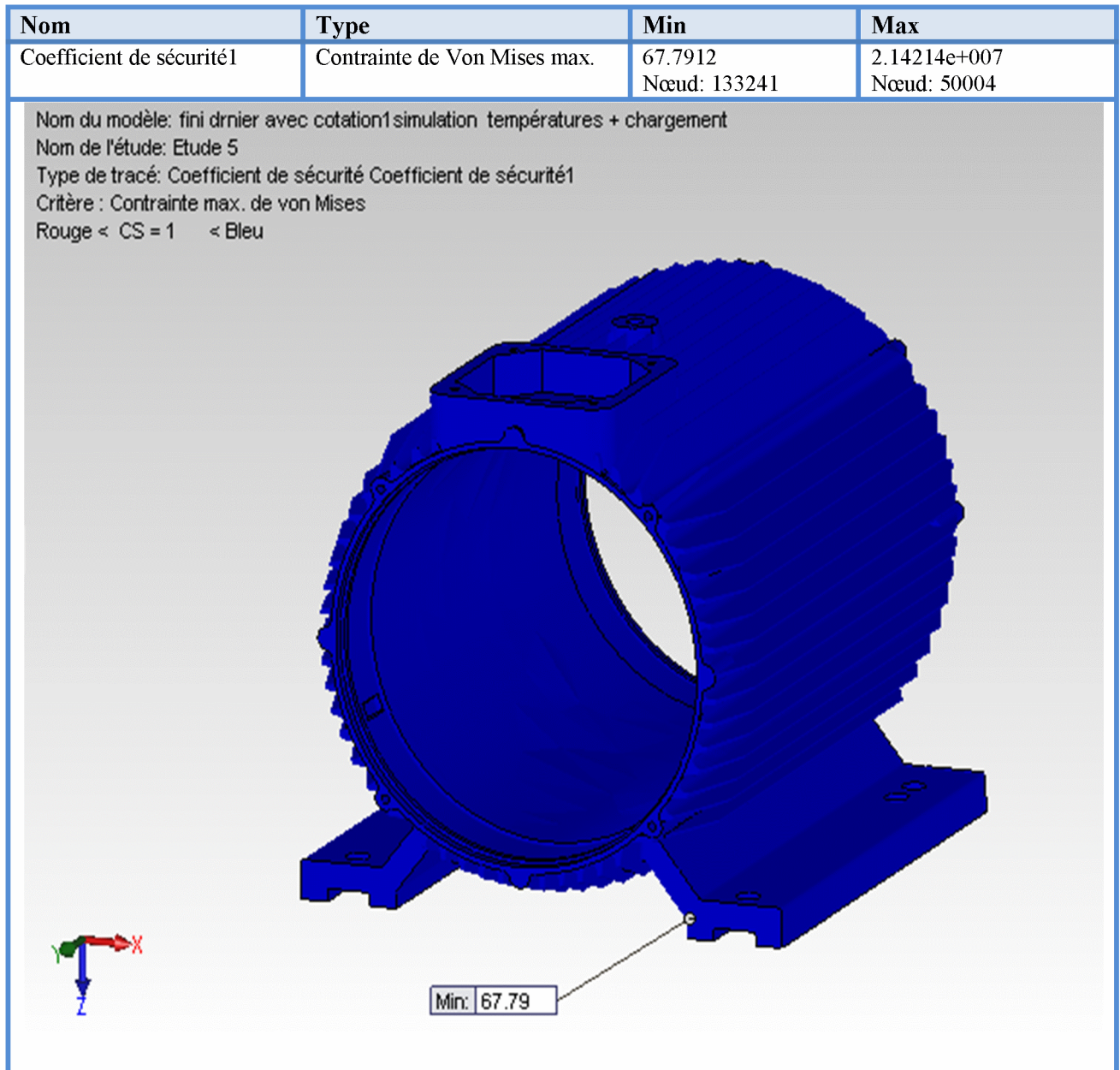


Figure. IV.52: Coefficient de sécurité

j-Interprétations des résultats

La simulation révèle quatre principaux critères :

- Déformation équivalente: $5,639 \cdot 10^{-6}$ mm
- La contrainte max de Von Mises: 1,5 MPa
- Déplacement résultant : $5,295 \cdot 10^{-4}$ mm
- La limite élastique : 100,6 MPa
- Coefficient de sécurité: $CS=67.79 > 1$ donc la carcasse va résister

IV.7.1.2. Type d'analyse: thermique

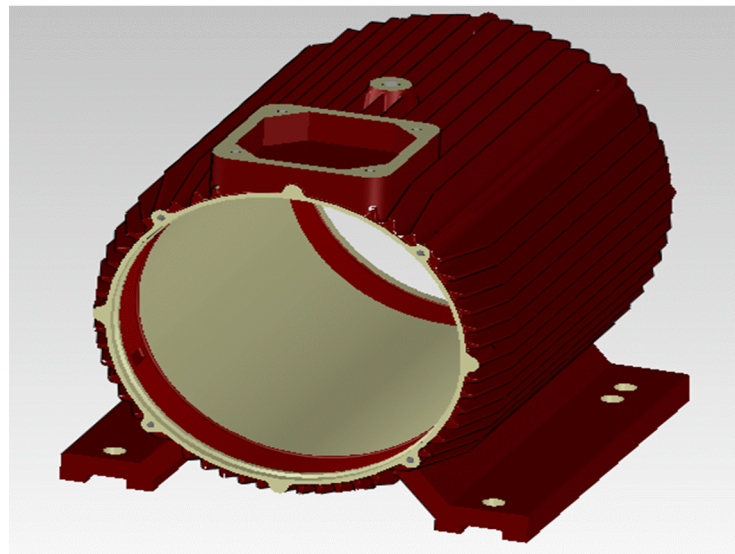


Figure. IV.53 : Carcasse soumise à la température

a-Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 4
Type d'analyse	Thermique (Régime permanent)
Type de maillage	Maillage volumique
Type de solveur	FFEPlus
Type de solution	Régime permanent
Résistance de contact définie?	Non

Tableau. IV.18 : Propriétés de l'étude

b-Unités

Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	Celsius
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/mm ² (MPa)

Tableau. IV.19: Unités

c-Propriétés du matériau

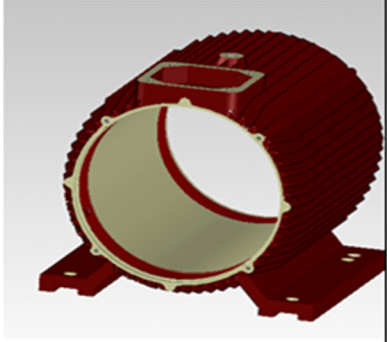
Référence du modèle	Propriétés
	<p>Nom: 0.6015 (EN-GJL-150) Type de modèle: Linéaire élastique isotropique Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max. Conductivité thermique: 58 W/(m.K) Chaleur spécifique: 460 J/(kg.K) Masse volumique: 7250 kg/m³</p>

Tableau. IV.20: Propriétés du matériau

d-Actions extérieures

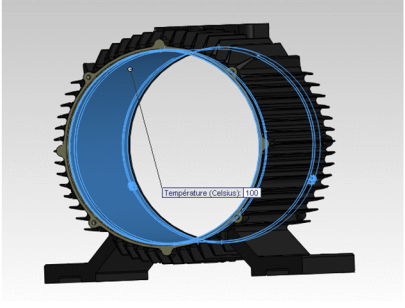
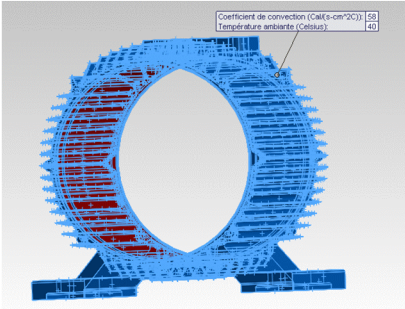
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Température-1		<p>Entités: 20 face(s) Température: 100 Celsius</p>
Convection-1		<p>Entités: 2693 face(s) Coefficient de convection: 58 Cal/(s-cm²C) Variation de temps: Désactivé(e) Variation de température: Désactivé(e) Température ambiante: 40 Celsius Variation de temps: Désactivé(e)</p>

Tableau. IV.21.a : Actions extérieures

e-Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage basé sur la courbure
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément maximum	94.1293 mm
Taille d'élément minimum	18.8259 mm
Qualité de maillage	Haute

Tableau. IV.21: Informations sur le maillage

f-Informations sur le maillage – Détails

Nombre total de noeuds	235881
Nombre total d'éléments	124948
Aspect ratio maximum	2.8834e+005
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	28
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	28.9
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:58

Tableau. IV.23 : Informations sur le maillage – Détails

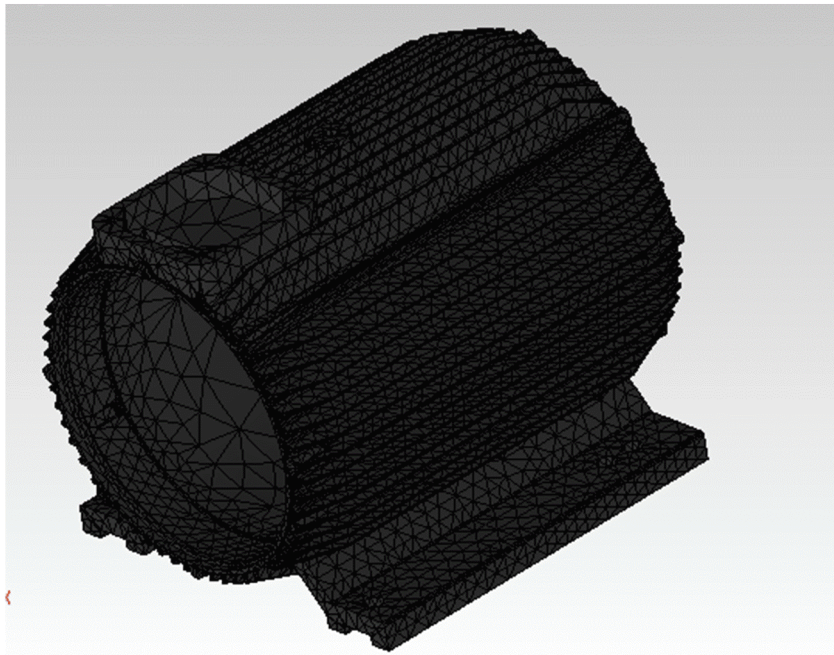


Figure. IV.54: Carcasse en maillage

g-Résultats de l'étude

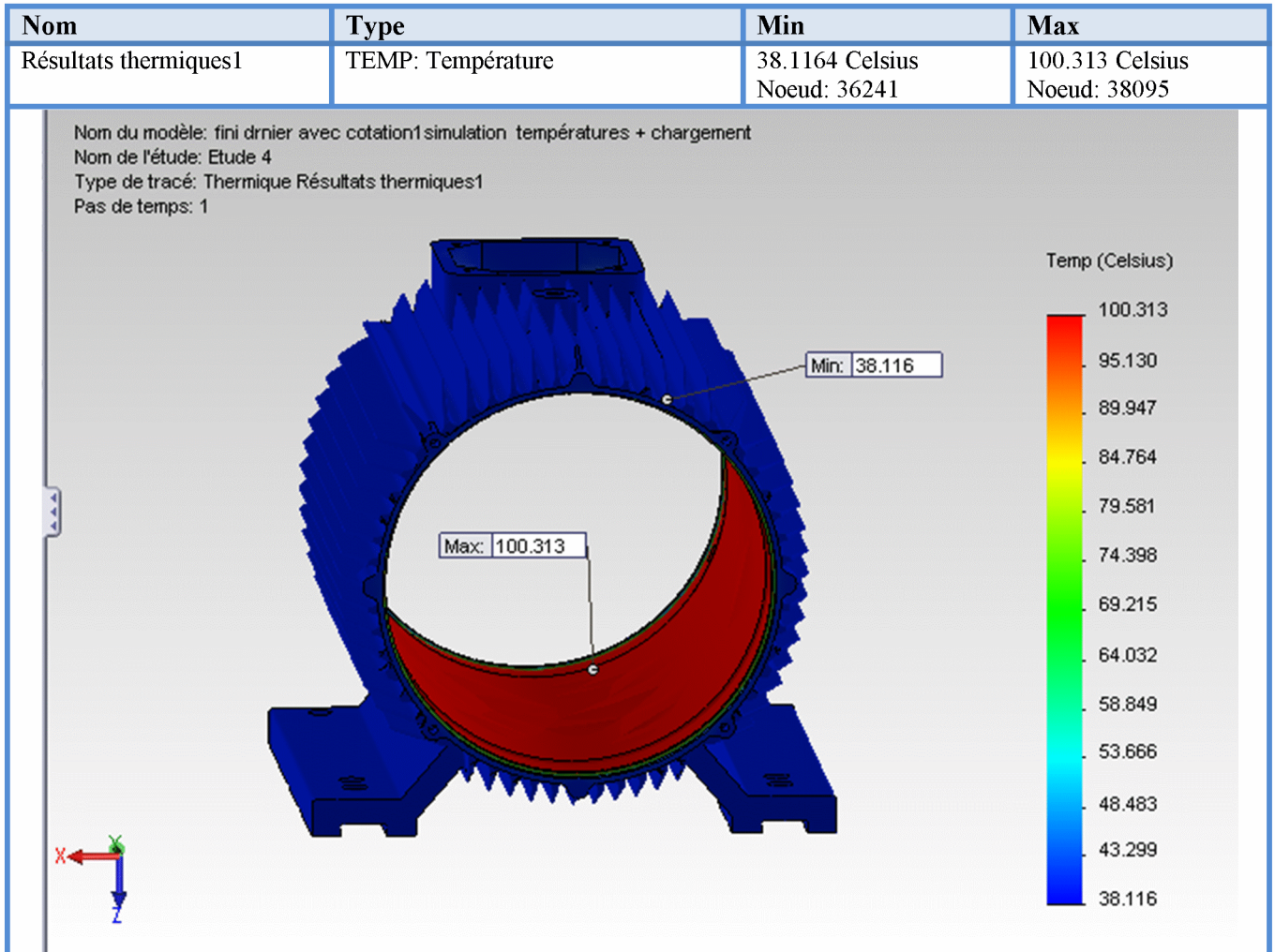


Figure. IV.55 : Résultats thermiques

h-Interprétations des résultats

- pas de déformation
- La chaleur c'est dissiper sur toute la carcasse
- La température sur la surface de la carcasse 38.116°C
- La carcasse résiste pour cette étude thermique

IV.7.2 : Simulation 2

IV.7.2.1 : Type d'analyse: statique

a-Information sur le modèle

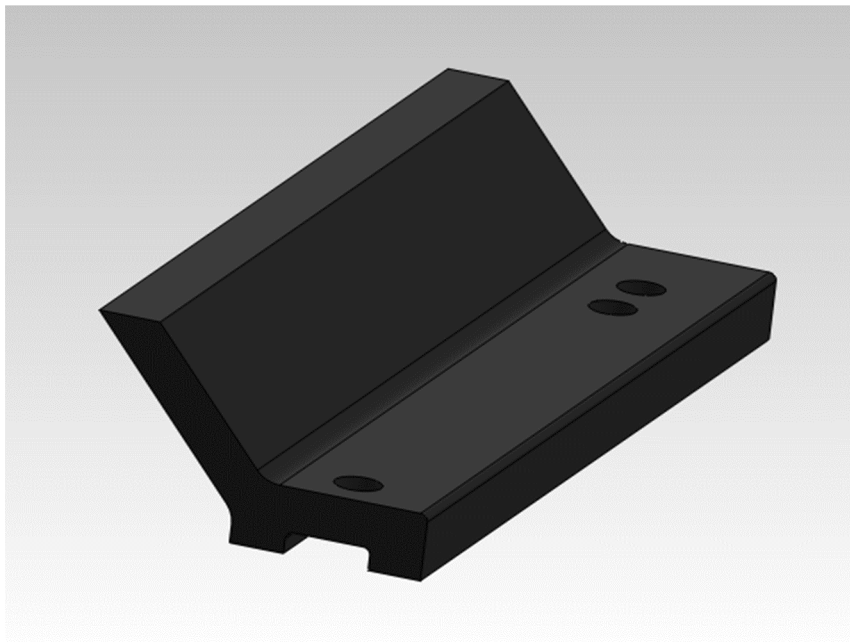


Figure. IV.56 : Information sur le modèle

b-Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 1
Type d'analyse	Statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques:	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Inclure la pression du fluide calculée par SolidWorks Flow Simulation	Désactivé(e)
Stress Stiffening:	Désactivé(e)
Faible raideur:	Désactivé(e)
Relaxation inertielle:	Désactivé(e)
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Désactivé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)
Friction	Désactivé(e)
Méthode adaptative:	Désactivé(e)

Tableau. IV.24 : Propriétés de l'étude

c-Propriétés du matériau

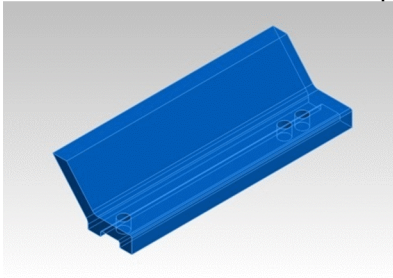
Référence du modèle	Propriétés	
	Nom:	0.6015 (EN-GJL-150)
	Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique
	Critère de ruine par défaut:	Contrainte de von Mises max.
	Limited'élasticité:	1.00594e+008 N/m²
	Limite de traction:	1.50826e+008 N/m²
	Module d'élasticité:	1.85e+011 N/m²
	Coefficient de Poisson:	0.26
Masse volumique:	7250 kg/m³	
Module de cisaillement:	6.5e+009 N/m²	
	Coefficient de dilatation thermique:	1.05e-005 /Kelvin

Tableau. IV.25 : Propriétés du matériau

d-Unités

Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	Celsius
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/mm ²

Tableau. IV.26: Les unités

e-Actions extérieures

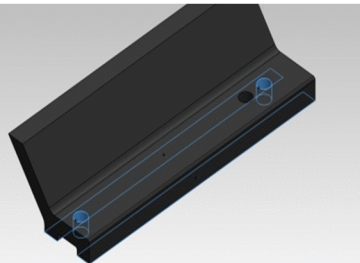
Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités: Type:	4 face(s) Géométrie fixe	
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	0.011467	7249.83	0.00486374	7249.83
Moment de réaction (N-m)	0	0	0	0

Tableau. IV.27.a: Actions extérieures

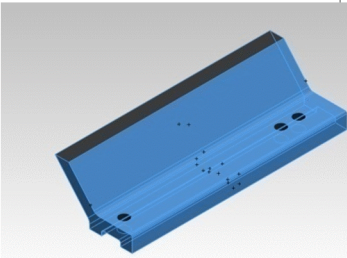
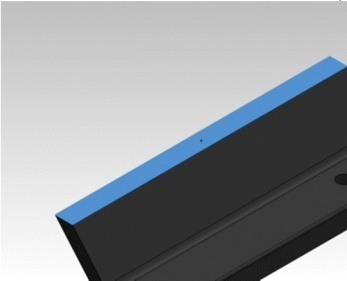
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement		
Température-1		Entités: Température:	17 face(s) 40 Celsius	
Chargement/Masse à distance (connexion rigide)-1		Entités: Type: Système de coordonnées: Force Valeurs: Moment Valeurs: Coordonnées de référence: Masse à distance: Moment d'inertie: Composants transférés:	1 face(s) Chargement/Masse (connexion rigide) Coordonnées cartésiennes globales ---, ---, --- N ---, ---, --- N-m 0 0 313.51 mm 700 kg 0,0,0,0,0 kg.m^2 NA	

Tableau. IV.27.b: Actions extérieures

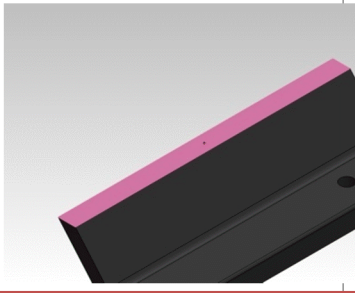
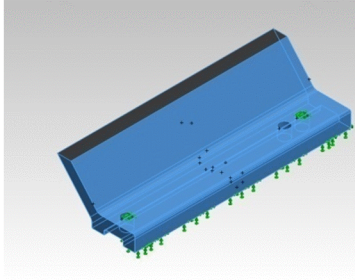
Gravité		Référence: Plan de dessus Valeurs: 0 0 -9.81 Unités: SI
Température		Entités: 20 face(s) Température: 40 Celsius Entités: 1 face(s) Température: 80 Celsius

Tableau. IV.27.c: Actions extérieures

f-Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage basé sur la courbure
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément maximum	35.0572 mm
Taille d'élément minimum	7.01145 mm
Qualité de maillage	Haute

Tableau. IV.28 : Informations sur le maillage

g-Informations sur le maillage – Détails

Nombre total de noeuds	40259
Nombre total d'éléments	25815
Aspect ratio maximum	6.3095
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	96.3
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:02

Tableau. IV.29 : Informations sur le maillage – Détails

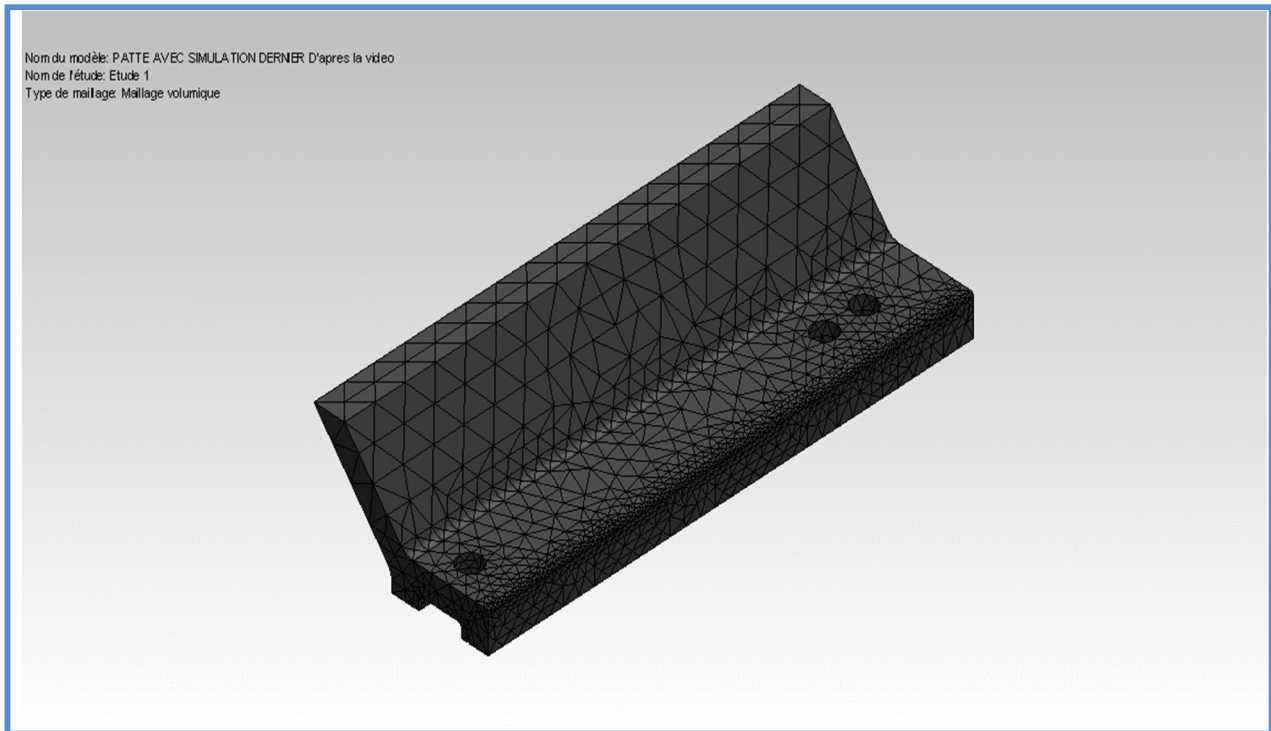


Figure. IV.57 : Informations sur le maillage

h-Forces résultantes

h.1-Forces de réaction

Ensemble de sélections	de	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier		N	0.011467	7249.83	0.00486374	7249.83

Tableau. IV.30:Forces de réaction

i -Résultats de l'étude

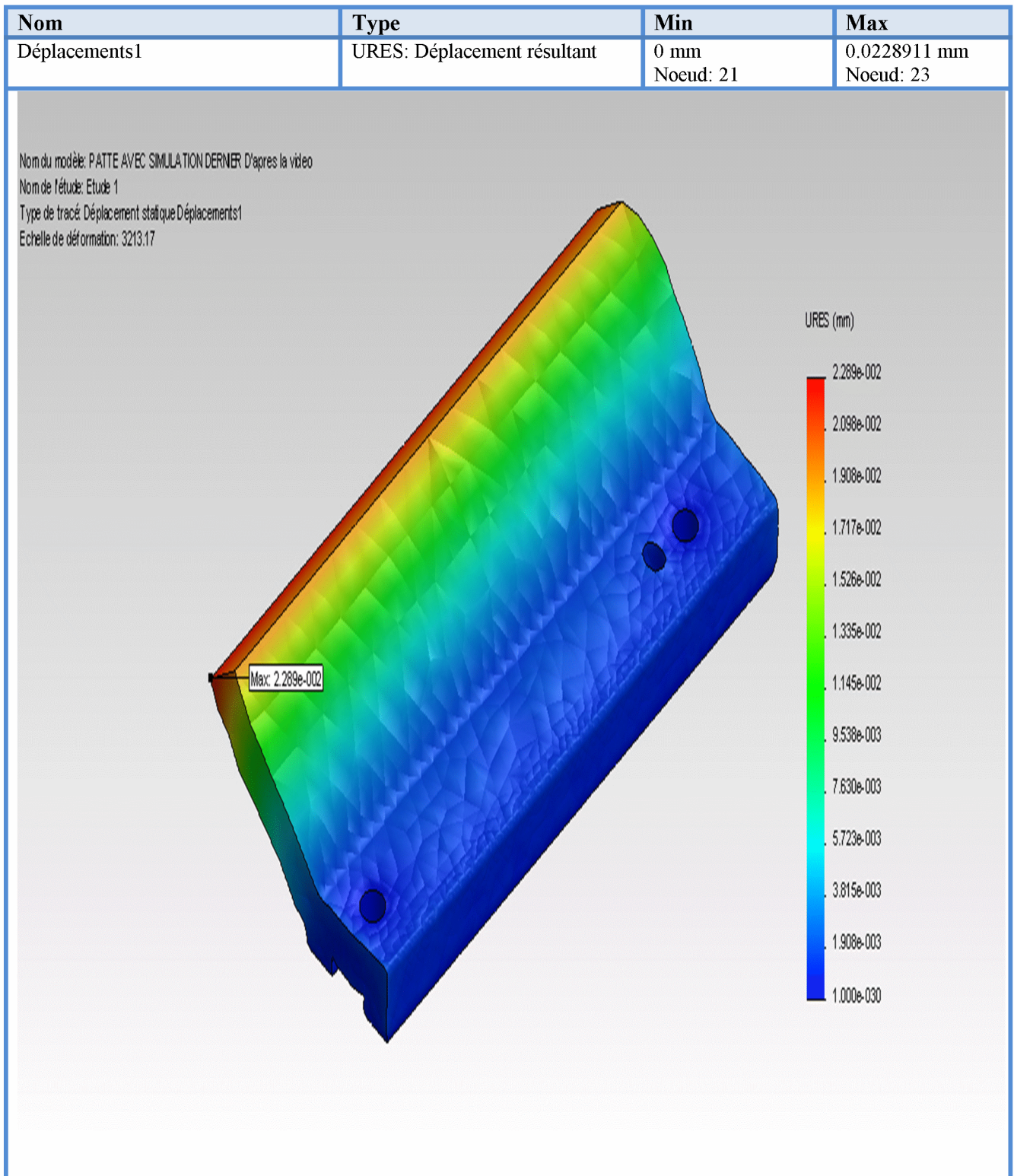


Figure. IV.58: Simulation des pattes -Etude 1-Déplacements-Déplacements1

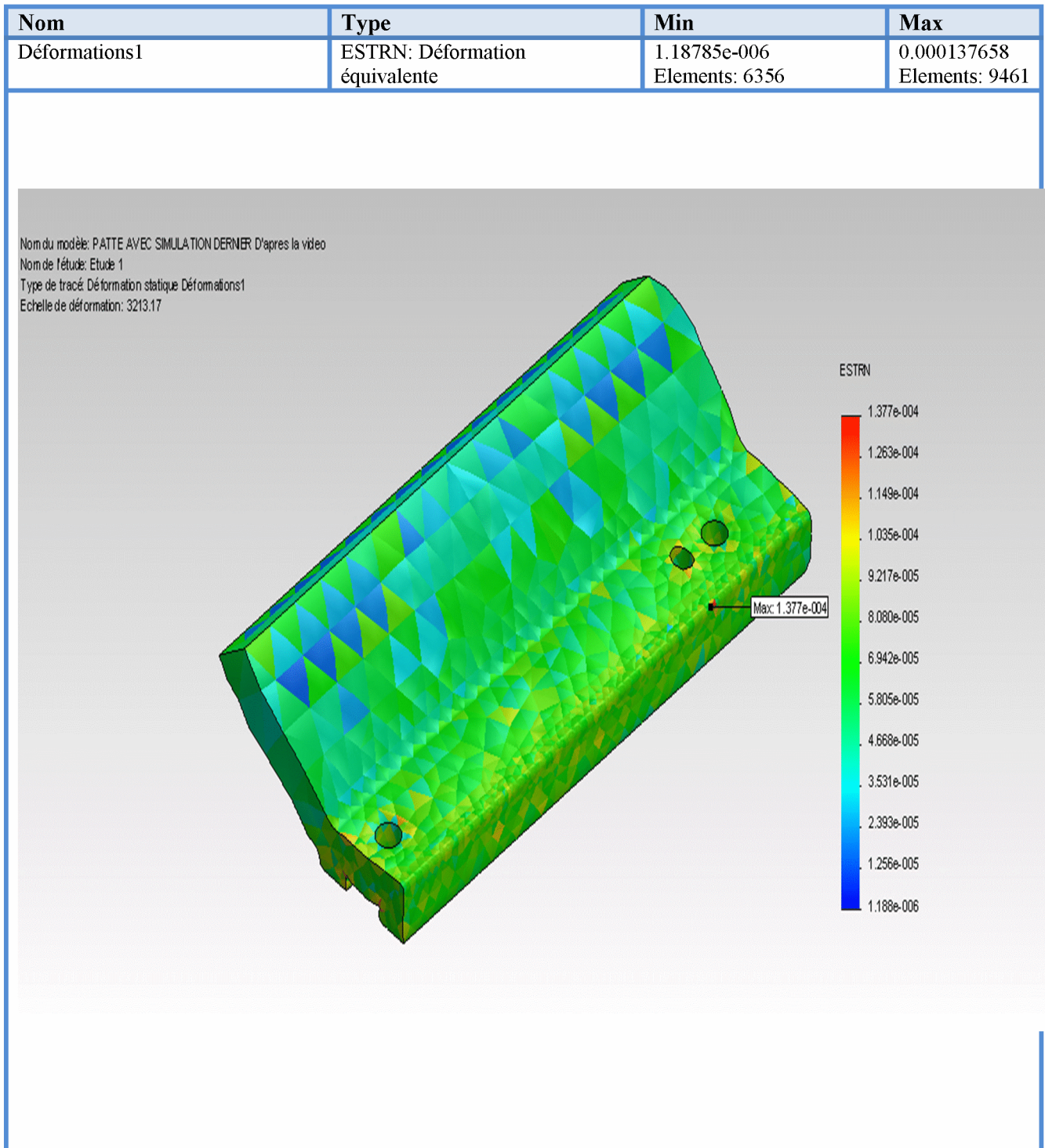


Figure. IV.59: Simulation des pattes -Etude 1-Déformation –Déformation 1

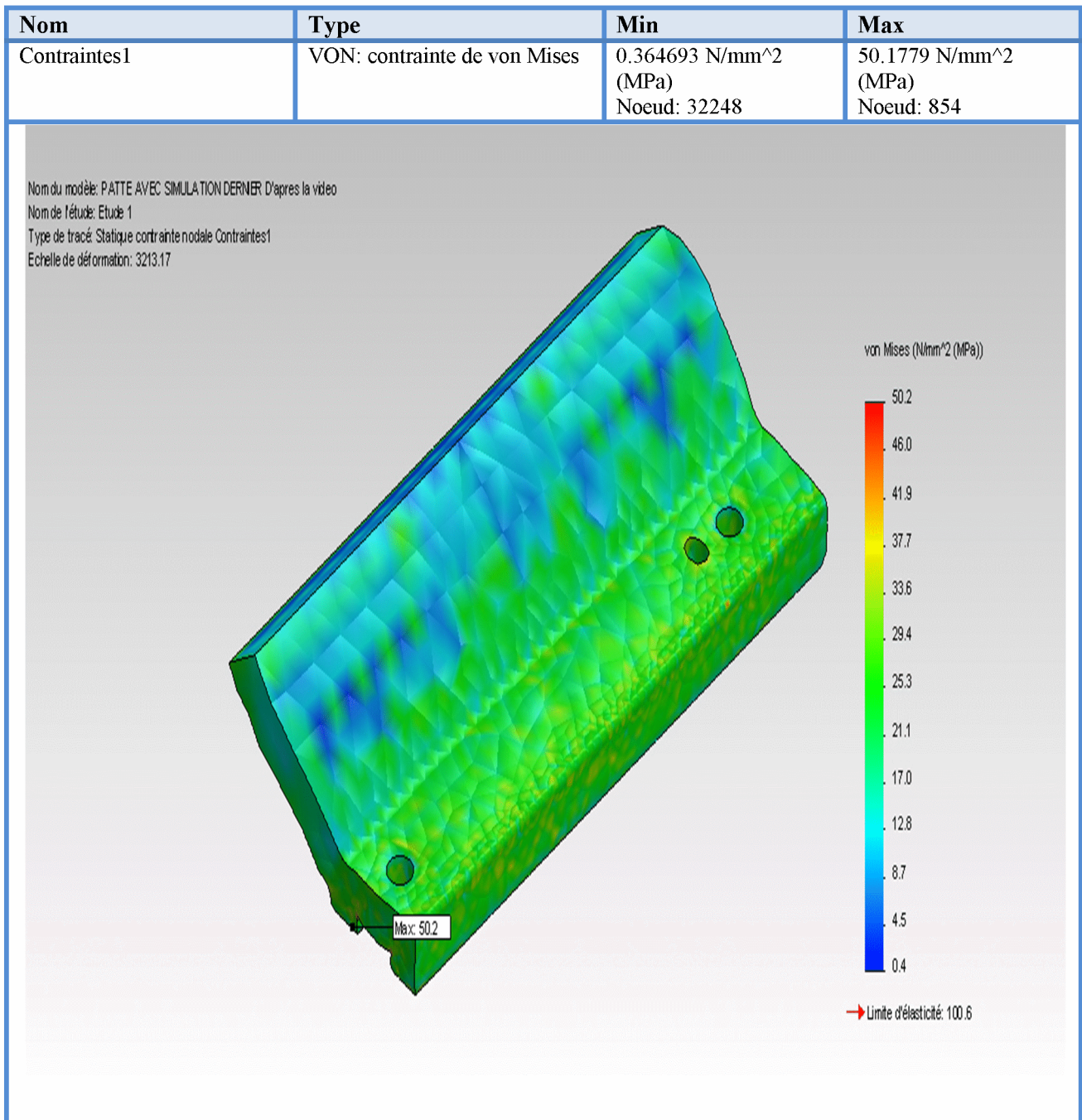


Figure. IV.60: Simulation des pattes -Etude 1-Contraintes-Contraintes1

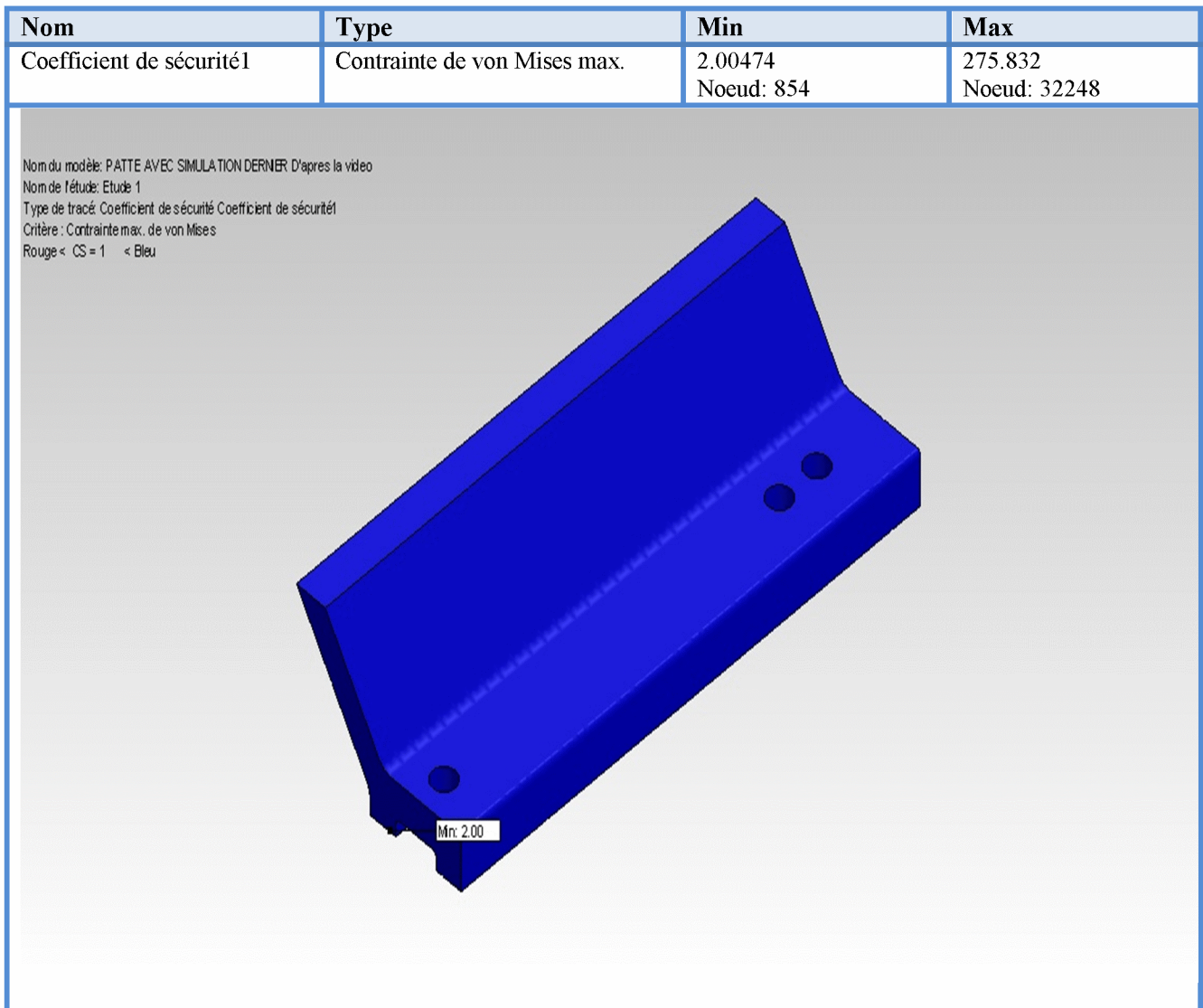


Figure. IV.61 : Coefficient de sécurité

j-Interprétations des résultats

La simulation révèle quatre principaux critères :

- Le déplacement max: $2,289 \cdot 10^{-2}$ mm
- La déformation max: $1,377 \cdot 10^{-4}$ mm
- La contrainte max de Von Mises: 50,2 Mpa
- La limite élastique : 100,6 MPa
- Coefficient de sécurité: $CS=2 > 1$ donc les pas vont résister



CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Le projet de fin d'études se dévoile d'une importance expérience pour tout étudiant de fin de cycle.

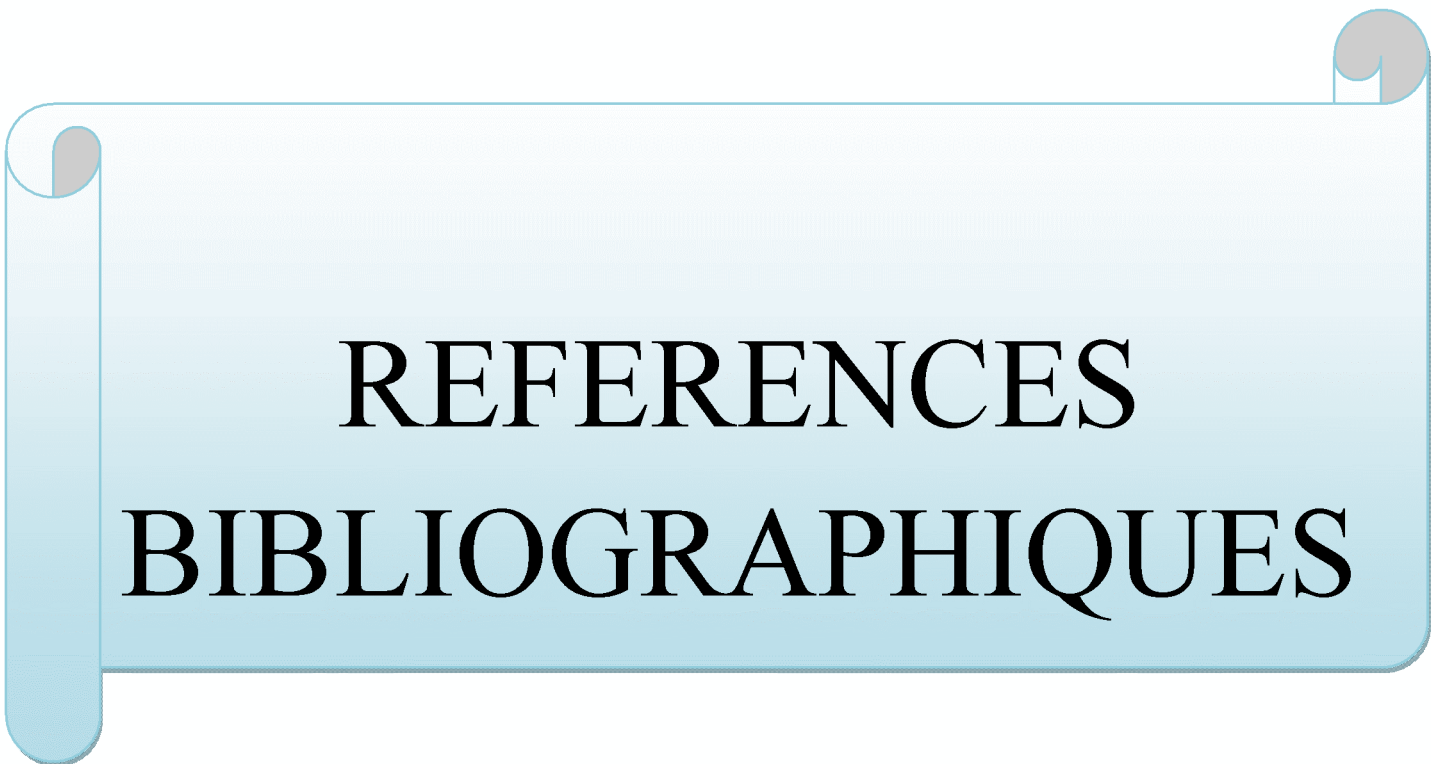
La nécessité se révèle d'autant plus impérative qu'elle met l'étudiant en application directe de ses connaissances acquises dans le domaine et l'incite non seulement à connaître les étapes d'une conception d'un projet, mais aussi de se documenter et d'enrichir son espace de connaissance.

La carcasse que nous avons conçu est une carcasse d'un nouveau moteur en études dans le but d'avoir une puissance supérieure à 160kw et d'optimiser le coût de réalisation.

Au terme de notre étude, nous avons pu répondre aux exigences du bureau d'étude et de réaliser la carcasse avec les dimensions voulues avec toutes les modifications apportées telles que l'emplacement de la boîte à borgne, l'orientation des ailettes et aussi de concevoir les pattes en même bloc que la carcasse.

Nous considérons que cette conception est le fruit d'un choix parmi d'autres, et il reste ouvert à toute critique et amélioration ou encore à la conception d'autres éléments (rotor, stator, arbre,.....) afin de réaliser le moteur complet.

Nous souhaitons que ce mémoire reste un document qui sera bénéfique pour les promotions à venir.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIES

- [1] « Histoire de l'électricité 1880-1889 » [archive], Association faîtière des entreprises électriques suisses et Museo Elettrico - Galileo Ferraris [archive].
- [2] Leroy –somer : moteur
- [3] I.P.KOPYLOV : Projection des machines électrique, Edition : Moscou, Ecole sup 2002
- [4] Etienne Gaucheron : Les moteurs électriques ... pour mieux les piloter et les protéger
- [5] M.KOSTENKO et L.PIOTROVSKI : Machine électriques, Tome II, Troisième édition Editions Mir Moscou.
- [6] Georges FRICK : Machines électrostatiques
- [7] Sylvain ALLANO: Petits moteurs électriques
- [8] Bernard GUIGUES : Protections électriques des alternateurs et moteurs
- [9] J-L.DALMASSO : Cours d'électrotechnique, Machines tournantes à courants alternatifs.
- [10] Robert Chauprade : Commande électronique des moteurs à courant continu
- [11] François BERNOT : Machines à courant continu Constitution et fonctionnement
- [12] P. Zimmermann: Electronically Commutated D.C. Feed Drives for Machines Tools »,
- [13] Michel ABIGNOLI et Clément GOELDEL : Moteurs pas à pas
- [14] DESSOUDE Maxime : Moteur asynchrone ; choix et problèmes connexes.
- [15] Conception d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil alimenté par un convertisseur de fréquence, Mémoire d'ingénieur. Université de Tizi-Ouzou 2007-2008.
- [16] Michel POLOUJADOFF : Machines asynchrones Régime permanent
- [17] conception optimale –technico-économique d'un moteur asynchrone triphasée a rotor double cage, Mémoire d'ingénieur. Université de Tizi-Ouzou
- [18] Abdellatif BEN HAMADOU et Ridha BOUHAHA et Amor BEN MESSAOUD : Génie Mécanique, TECHNOLOGIE