

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

Etude d'un système de frein application de la
commande CN pour la fabrication du disque

Devant le jury composé de :

Présenté par :

..... Président
..... Examineur
..... Examineur
KHECHANA Mohammed Encadreur

- MESITFA Redhouan
- SOBTI Sami
- MEHDA Elhachmi

2020-2021

Remerciements

Avant tout je remercie Dieu Le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la patience, et la santé durant toutes ces années et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

*Je tiens à exprimer mes remerciements remerciements à Monsieur Dr : **Khechana Mohammed** pour avoir assumé la responsabilité de m'encadrer, m'orienter et de me conseiller tout au long de la réalisation de ce travail.*

Je remercie vivement tous les enseignants et tous ceux à qui nous devons notre formation.

Des remerciements vont également à tous ceux qui, d'une quelconque façon, ont contribué à .l'élaboration de ce modeste travail

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents qui m'ont soutenu durant toute la durée de mes études.

À mes très chères sœurs et à ma grande famille.

À tous mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

À vous.

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

a

CHAPITRE I. Recherche bibliographique	
I-1) INTRODUCTION:	3
I-2) STRUCTURE GENERALE D'UN SYSTEME DE FREINAGE :	3
I-3) FREINS TRAVAILLANT PAR FROTTEMENT :	4
I.3.1) Frein à tambour :	4
I.3.2) Frein à disque :	4
I.3.2.1) Description d'un disque :	6
I.4) ELEMENTS D'UN FREIN Á DISQUE :	7
I.5) LES TYPES DE DISQUE FREIN :	8
I.6) AUTRES TYPES DE DISQUES ET LEURS CARACTERISTIQUES :	10
I.6.1) Les disques rainurés :	10
I.6.2) Les disques percés :	10
I.7) LES PLAQUETTES :	11
I.8) PROBLEME DU DISQUE DE FREIN :	12
I.9) LES MATERIAUX DU DISQUE DE FREIN :	13
I.9.1) Le disque :	13
I.10) PHENOMENES THERMIQUES DANS LE DISQUE :	14
I.11) PHENOMENES MECANIKES DANS LE DISQUE :	15
I.12) COMPARAISON ENTRE TAMBOR ET DISQUE	15
I.12.1) Avantages	15
I.12.2) Inconvénients	16
Chapitre II : Simulation Numérique résultats et discussion	
II-1) Introduction :	18
II.2) Méthodes des volumes finis dans ANSYS	18
II.3) Etude Thermique stationnaire	30

II.4) Presentation des resultas de simulation :	31
II.4.1) Température	31
II.4.1.1) Interpretaion	32
II.4.2) Flux de chaleur total	33
II.4.2.1) Interpretaion	33
II.4.3) Flux de chaleur directionnel	34
II.4.3.1) Interpretaion	35
II.5) Après tous les resultas de la simulation obtenue le dique de frien ventilé est performencement le meilleur par rapport au disque de frien plien	35
II.5.1) Structure statique	35
II.6) Déplacement total	36
II.7) Déformation élastique équivalente	36
II.8) Contrainte équivalente	36
II.9) Outil Fatigue	37
II.10) Conclusion	38
CHAPITRE III : Gamme de fabrication du disque	
III.1) introduction	40
III.2) Analyse du dessin définition du disque	40
III.2.1) Phase, sous-phase, opérations:	40
III.3) Type de machine	40
III.4) Variantes de fabrication du disque:	44
III.5) Solution de fabrication utilisant la Commande Numérique.	44
III.6) Rédaction des différents programmes :	47
III.7) Conclusion	52
Conclusion général	54
Bibliographie	



LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

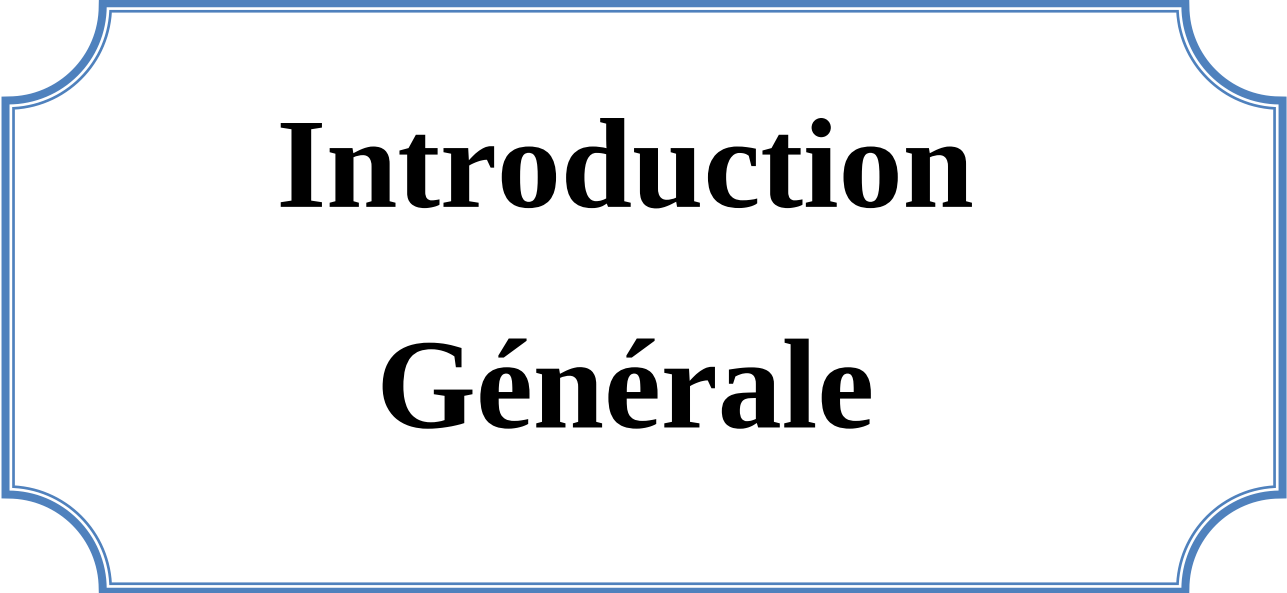
Page

<i>Chapitre I : Recherche bibliographique</i>		
Figure 1	Schéma d'implantation du système de freinage.	3
Figure 2	Frein à tambour.	4
Figure 3	Désignation des principaux éléments.	5
Figure 4	Exemples de freins à disque.	5
Figure 5	Le disque plein.	6
Figure 6	Gorge calorifique	7
Figure 7	Les éléments d'un frein avant.	7
Figure 8	Exemple de disque plein.	8
Figure 9	<i>Exemple de disque ventilé</i>	8
Figure 10	Différentes géométries d'ailette	9
Figure 11	Disques ventilés : différentes conceptions .	9
Figure 12	Circulation de l'air dans les canaux d'un disque ventilé .	9
Figure 13	Disque rainuré	10
Figure 14	Disque percé	10
Figure 15	Plaquette de frein.	12
Figure 16	Disque carbone-céramique.	14
Figure 17	Mise en cône d'un disque de frein	15
<i>Chapitre II : Simulation Numérique</i>		
Figure 1	point nodal dans fluent .	18
Figure 2	bilan thermique	19
Figure 3	Logo de la société ANSYS	20
Figure 4	Les quatre (04) domaines d'utilisation	21
Figure 5	Espace de travail Workbench	21
Figure 6	organigramme de calcul thermomécanique en ANSYS Multiphasique	22
Figure 7	Vue détaillée de la géométrie disque ventilé	24
Figure 8	Vue détaillée disque plein	25
Figure 9	Maillage en C	28

Figure 10	Maillage en O	28
Figure 11	Maillage en H	28
Figure 12	Maillage de Disque de frein ventilé selon l'article, (154679 nodes 94117 elements)	29
Figure 13	Notre maillage Disque de frein ventilé (153974 nodes e 95199 elements)	29
Figure 14	Maillage de Disque de frein plein selon l'article, (172103 nodes 141121 elements)	29
Figure 15	Notre maillage Disque de frein ventilé (171988 nodes e 140996 elements)	29
Chapitre III : Gamme de fabrication du disque		
Figure 1	Exemple d'un tour à commande numérique: EMCO PC Turn 345	41
Figure 2	Le disque mis à l'étude	43
Figure 3	Esquisse utilisée lors de la conception du disque et nécessaire pour la détermination des différents points fixant la trajectoire de l'outil en CN.	44
Figure 4	Fenêtre du logiciel de commande Sinumerik WINNC 840D présentant la Simulation de la trajectoire de l'outil (couleur verte) pour l'usinage de la Face1.	45
Figure 5	Fenêtre du logiciel de commande Sinumerik WINNC 840D présentant la Simulation de la trajectoire de l'outil (couleur verte) pour l'usinage de mainpfg.mpf relatif à la Face1.	46
Figure 6	Fenêtre du logiciel de commande Sinumerik WINNC 840D présentant la Simulation de la trajectoire de l'outil (couleur verte) pour l'usinage de la Face2ds.spf	47
Figure 7	Simulation de l'alésage: Alésage2.spf	47
Figure 8	Simulation du programme principale Master2.mpf lors de l'usinage de la face2, perçage du trou du centre, alésage du trou central étagé, la rangée des 6 trous 16mm et la gorge du diamètre extérieur	48
Figure 9	Simulation de l'alésage.	
Figure 10	Simulation du programme principale Master2.mpf lors de l'usinage de la face2, perçage du trou du centre, alésage du trou central étagé, la rangée des 6 trous de diamètre 16mm est 36 dailette de epaisseur 6mm.	

LISTE DES TABLEAUX

<i>Chapitre II : Simulation Numérique</i>		
Tableau 1	Caractéristiques techniques et géométrique de disque frein	23
Tableau 2	Caractéristiques techniques et géométrique de disque frein	26
Tableau 3	Données relatives aux matériaux Alliage d'aluminium	26
Tableau 4	Alliage d'aluminium / Perméabilité relative isotrope	26
Tableau 5	maillage Disque de frein plein et ventilé	30
Tableau 6	Unités	30
Tableau 7	Etude thermique stationnaire.	30
Tableau 8	Contrôles d'incrément	31
Tableau 9	valeur minimum et maximum de température	32
Tableau 10	valeur minimum et maximum de Flux de chaleur total	33
Tableau 11	valeur minimum et maximum de Flux de chaleur directionnel	35
Tableau 12	paramètre de calcul structure statique	35



Introduction

Générale

Introduction générale

En état de conduite normale les disques de freins sont des pièces mécaniques qui sont mises en rotation. Mais en état de freinage, ils sont sollicités par des charges dynamiques. Le processus de freinage se fait en appliquant des forces sur les plaquettes contre le disque. Les efforts de frottements, outre la dissipation de la chaleur qu'ils génèrent, ils provoquent aussi des champs de contraintes et des déformations radiales, tangentielles et de flexion. Dans le sens perpendiculaire au plan du disque, les déformations de flexion font appel aux vibrations libres ou forcées selon l'état de conduite normale ou de freinage. Ce travail se compose de trois parties : Dans une première, nous allons exposer les différents types des systèmes de freinage. Une seconde partie sera consacrée à l'étude de la mécanique du disque en tant que plaque circulaire élastique déformable, c'est donc un milieu continu. Une fois que les champs de déformations et de déplacements sont déterminés, on procède à l'étude l'influence du freinage mode sur le comportement thermique du frein à disques. La troisième partie vise l'étude de fabrication du disque de frein en invoquant les moyens de production nécessaires.

Chapitre I

Recherche bibliographique

I.1) INTRODUCTION:

L'histoire de la progression et du développement du domaine du transport a été influencé par beaucoup de changements radicaux grâce aux travaux des précurseurs et des chercheurs qui ont consacré leur

Leur vie dans la recherche afin d'ouvrir d'autres horizons dédiés à notre humanité et son bien-vivre, les véhicules sont devenus plus puissants et plus rapides dans la recherche afin d'ouvrir d'autres horizons dédiés à notre humanité et son bien-vivre, les véhicules sont devenus plus puissants et plus rapides. De ce fait, les systèmes de freinage doivent aussi suivre cette progression pour assurer un fonctionnement adéquat avec les dernières améliorations. Le frein, organe de sécurité, reste ainsi un sujet d'étude très actuel pour les ingénieurs. L'apparition de nouveaux matériaux (alliages divers, céramique, etc.) et de nouveaux procédés de fabrication ou de traitement de surface (grenaillage, trempe par induction, etc.) génère de nouveaux types de frein et donc la nécessité de nouvelles études. [1]

I.2) STRUCTURE GENERALE D'UN SYSTEME DE FREINAGE :

La structure ci-dessous (Fig. I.1) représente une structure de base que l'on retrouve dans tous les véhicules de tourisme dit bas de gamme.

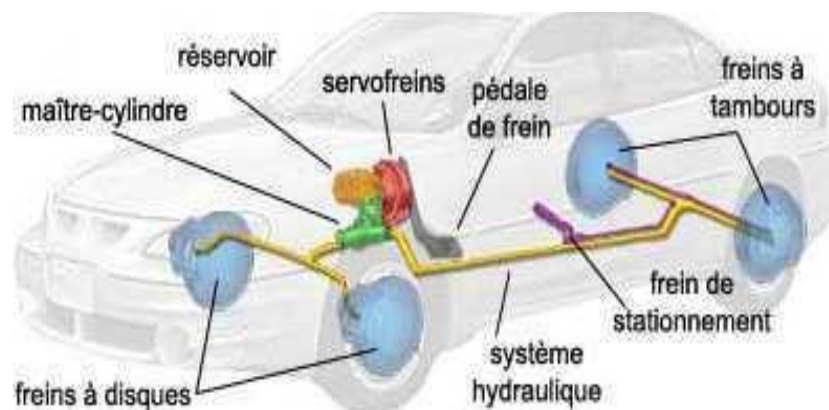


Fig. I.1 : Schéma d'implantation du système de freinage. [2]

Dans un système de freinage, on distingue deux parties :

- Partie commande
- Partie opérative.

I.3) FREINS TRAVAILLANT PAR FROTTEMENT :

I.3.1) Frein à tambour :

Il se compose d'un tambour en fonte solidaire de la roue, de mâchoires solidaires du châssis, garnies d'un matériau à haute résistance au frottement et à l'échauffement et d'un cylindre qui presse les mâchoires contre le tambour (Fig. I.2). Les mâchoires sont en acier recouvert d'une garniture d'un matériau composite ayant un bon coefficient de frottement (0,35 à 0,40) avec le matériau du tambour et s'usant plus vite. L'usure peut être rattrapée par un mécanisme de réglage accessible de l'extérieur (non automatique)

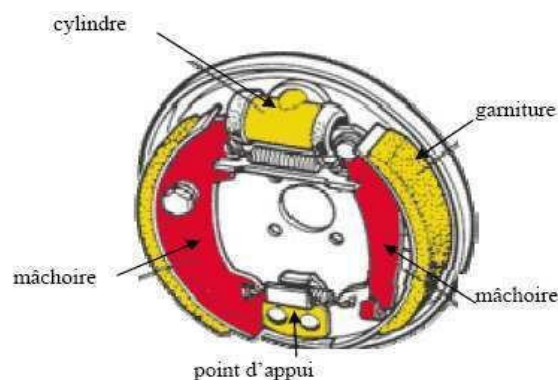


Fig. I.2 : Frein à tambour.

I.3.2) Frein à disque :

Le frein à disque est un système de freinage performant pour les véhicules munis de roues en contact avec le sol : automobile, avion, train, etc. et pour diverses machines. Ce système transforme l'énergie cinétique du véhicule en chaleur.

Le frein à disque (Fig. I. 3) est composé de :

- **un disque** généralement en fonte lié à la roue par l'intermédiaire du moyeu et qui lui est intérieur ;
- **deux plaquettes** de part et d'autre du disque, composées chacune d'une garniture en matériau composite collée ou rivetée sur un support métallique ;
- **un étrier en acier**, solidaire de l'essieu (par l'intermédiaire du pivot par exemple), qui supporte les plaquettes ; en forme de chape, il recouvre un secteur du disque ;

- un **piston hydraulique** dans le cas d'un étrier flottant ou coulissant ou deux pistons dans le cas d'un étrier fixe posés contre les supports des plaquettes. [1]

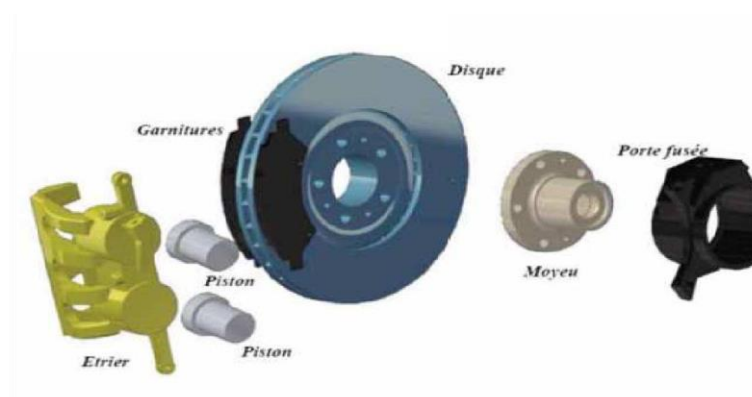


Fig. I.3 : Désignation des principaux éléments.

Les disques sont des composants soumis à de fortes températures. De manière générale, on trouve sur les véhicules de série des disques pleins. Afin d'augmenter l'échange thermique entre le disque et l'air environnant, on peut utiliser des disques ventilés. En diminuant ainsi la température, on garantit un meilleur frottement des garnitures sur les disques.

Si les systèmes de frein à disque sont utilisés dans tous les domaines du transport (automobile, ferroviaire et aéronautique), les caractéristiques techniques dépendent des exigences de freinage ce qui donne des technologies différentes (Fig. I.6).



-a- : Frein à disque automobile. **-b-** : Frein à disque aéronautique.

Fig. I.4: Exemples de freins à disque.

I.3.2.1) Description d'un disque :

Le disque est constitué d'un anneau plein avec deux pistes de frottement (Fig. I.5), d'un bol qui est fixé sur le moyeu et sur lequel est fixée la jante et d'un raccordement entre les pistes et le bol. Ce raccordement est nécessaire car l'anneau et la partie du bol qui est fixée au moyeu ne sont pas sur un même plan pour des questions d'encombrement et de logement des plaquettes et de l'étrier. La jonction entre le bol et les pistes est souvent usinée en forme de gorge pour limiter le flux de chaleur issu des pistes vers le bol afin d'éviter un échauffement excessif de la jante et du pneumatique. [3]

Les pistes de frottement sont dites extérieures quand elles se situent du côté de la jante et intérieures quand elles se situent du côté de l'essieu.

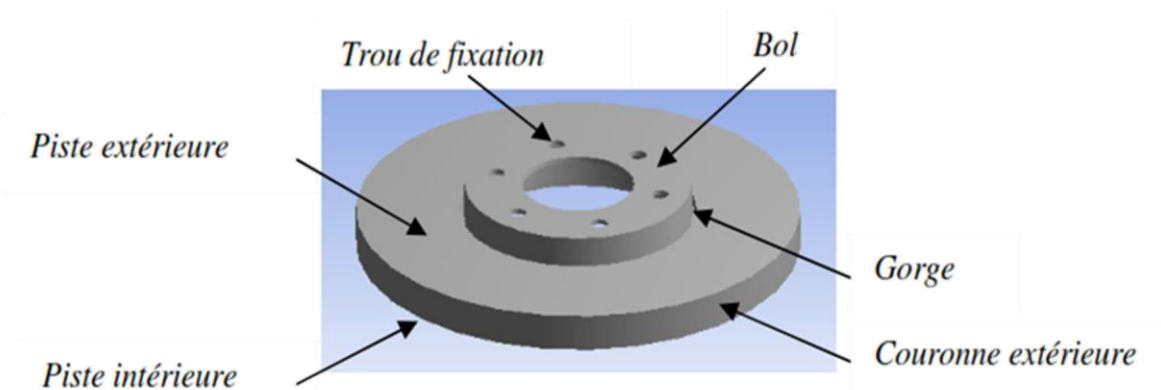


Fig. I.5 : Le disque plein.

La région de la gorge du bol est aussi très sévèrement sollicitée. En effet, le disque tend à se mettre en cône à cause des dilatations des pistes chaudes, mais ce déplacement est retenu par la présence du bol qui est moins chaud et par celle de l'étrier. De ce fait, de grandes concentrations de contraintes naissent dans cette zone. Lors d'essais très sévères sur banc dynamométrique, on peut parfois voir apparaître une fissure circonférentielle (du côté externe et/ou du côté interne du disque) qui se propage et provoque la rupture brutale du bol.

Les gradients dans la gorge du bol s'expliquent de la même manière. En début de freinage, la température du bol est à 20° C tandis que celle des pistes est de quelques centaines de degrés. De plus, dans le but d'éviter que la température du moyeu ne soit trop élevée (ce qui engendrerait des élévations de température du pneu, très critique pour son comportement), la gorge est usinée de manière à ne pas transmettre trop de chaleur au bol.

(Fig.I.8). Avec cet usinage, la température du bol baisse effectivement, mais les gradients thermiques augmentent conséquemment dans cette zone. Ceux-ci engendrent des contraintes thermiques qui expliquent les ruptures de bol observées lors d'essais expérimentaux sévères.

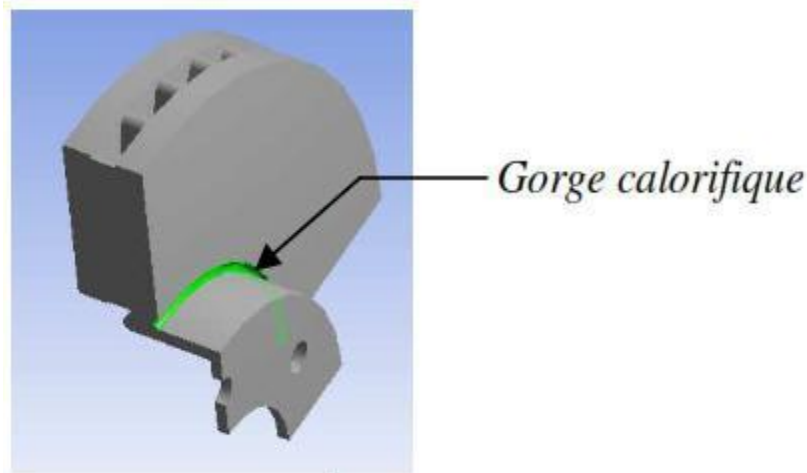
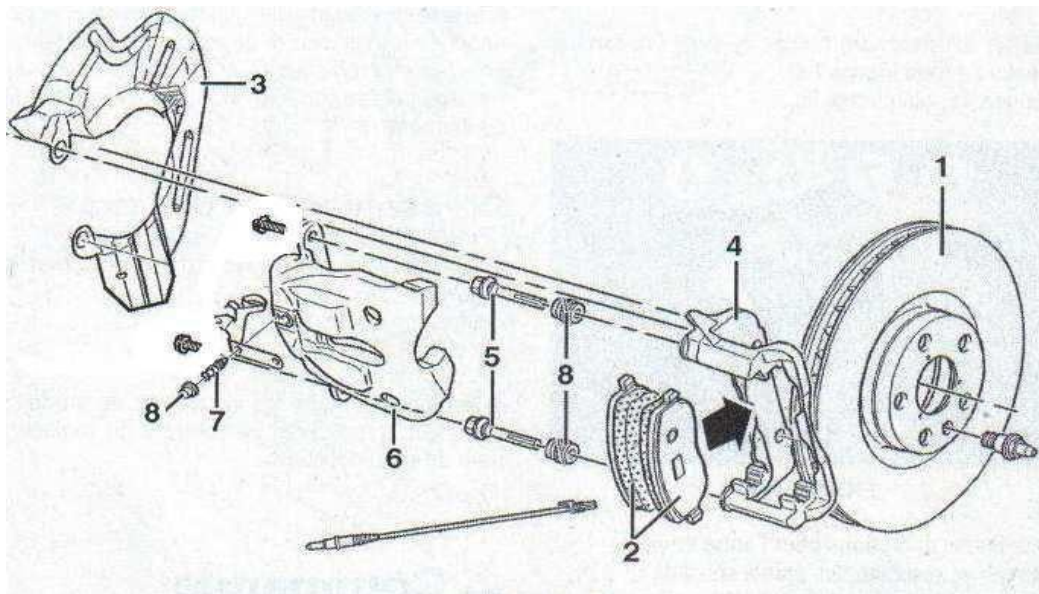


Fig. I.6 : Gorge calorifique

I.4) ELEMENTS D'UN FREIN Á DISQUE :

Le disque de frein est un organe de friction fortement sollicité, il doit résister à des températures de 600° C à 800° C dont les éléments sont illustrés sur la figure .I.7 :



- | | | |
|---------------------|----------------|-----------------------------------|
| 1. Disque | 2. Plaquettes | 3. Protections de disque de frein |
| 4. Support d'étrier | 5. Colonnnette | 6. Etrier |
| 7. Vis de purge | 8. Capuchon. | |

Fig. I.7 : Les éléments d'un frein avant.

I.5) LES TYPES DE DISQUE FREIN :

Il existe deux types de disque : les disques pleins et les disques ventilés. Les disques pleins, de géométrie simple et donc de fabrication simple, sont généralement placés sur l'essieu arrière de la voiture. Ils se composent tout simplement d'une couronne pleine reliée à un "bol" qui est fixé sur le moyeu de la voiture (Fig. 1.8). Les disques ventilés, de géométrie plus complexe, sont apparus plus tardivement. Ils se trouvent la plupart du temps sur le train avant. Toutefois, ils sont de plus en plus à l'arrière et à l'avant des voitures de haut de gamme. Composés de deux couronnes - appelées flasques - séparées par des ailettes (Fig. 1.9), ils refroidissent mieux que les disques pleins grâce à la ventilation entre les ailettes qui, en plus, favorisent le transfert thermique par convection en augmentant les surfaces d'échange. Le disque ventilé comporte plus de matière que le disque plein ; sa capacité d'absorption calorifique est donc meilleure. Le nombre, la taille et la forme (ailettes radiales, incurvées, pions circulaires...) des ailettes sont variables (Fig. 1.10). [4]

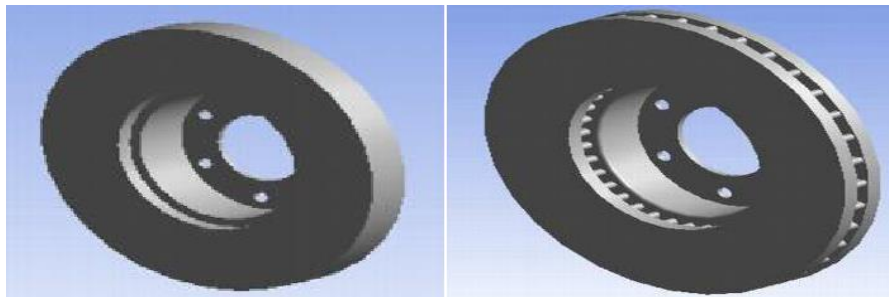


Fig. I.8 : Exemple de disque plein.

Fig. I.9 : Exemple de disque ventilé.



Fig. I.10: Différentes géométries d'ailette

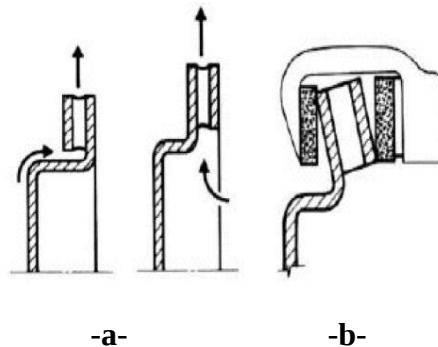


Fig. I.11 : Disques ventilés : différentes conceptions .

La figure I.11 représente deux types de disque ventilé. Le modèle « a » présente une moins bonne ventilation que le « b », mais possède une meilleure rigidité. La figure I.11 montre également la déformation du deuxième type de disque soumis à un fort gradient de température. La rotation du disque entraîne une circulation d'air dans les canaux , d'où une amélioration du refroidissement (Fig. I.12) [5]

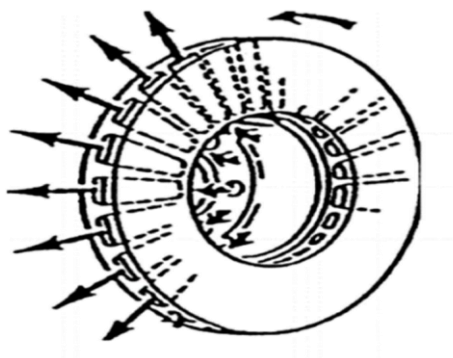


Fig. I.12: Circulation de l'air dans les canaux d'un disque ventilé .

I.6) AUTRES TYPES DE DISQUES ET LEURS CARACTERISTIQUES :

I.6.1) Les disques rainurés :

La raison pour laquelle on rainure les disques est trop souvent mal comprise. Les gens croient généralement que les rainures sont là pour améliorer le refroidissement. Il n'en est rien. Elles sont là pour nettoyer la surface de la plaquette et briser la couche gazeuse qui peut se former entre la plaquette et le disque quand les hautes températures sont atteintes . En pratique, la chaleur crée des poussières et des gaz entre le disque et la surface de la plaquette, réduisant ainsi l'efficacité, (Fig. I.13)



Fig. I.13 : Disque rainuré

I.6.2) Les disques percés :

Le perçage des disques permet en plus du refroidissement, le nettoyage des disques, (Fig. I.14). Les trous sont plus efficaces avec le temps car ils sont plus ou moins autonettoyants. Mais l'augmentation du nombre de trous réduit la surface de friction, un disque avec une masse insuffisante (diamètre trop petit ou trop fin) à tendance à craqueler et casser . [5]



Fig. I.14: Disque percé

I.7) LES PLAQUETTES :

Les plaquettes de frein sont composées d'une plaque en métal relativement rigide sur laquelle est collée une garniture, semblable à celle que l'on peut trouver dans les freins à tambour. Elle est toutefois soumise à des pressions plus élevées, la surface de contact étant plus réduite. La garniture est l'élément d'usure d'un système de frein et sa périodicité de changement est plus courte que celle du disque. La surface d'une garniture est très réduite comparativement à la puissance de freinage qu'elle doit fournir. Elle doit avoir de bonnes propriétés thermomécaniques et également fournir un coefficient de frottement relativement stable avec la température afin d'assurer un freinage le plus constant possible. Si la rigidité de la garniture est relativement faible, de l'ordre de quelques GPa, la plaque métallique au dos de la garniture se doit d'être relativement rigide d'une part pour transmettre l'effort provenant du piston hydraulique et d'autre part pour répartir la pression le plus uniformément possible sur l'ensemble de la surface de la garniture. Cela permet une usure uniforme de la garniture, rendant le freinage constant au cours du temps et une répartition optimale du flux de chaleur. Les plaquettes sont les pièces les plus essentielles de l'étrier, elles assurent le pincement du disque et de ce fait l'arrêt du véhicule. Elles doivent supporter des températures importantes liées aux frottements contre le disque (ces températures peuvent atteindre les 800°C) . Les plaquettes de frein automobile comportent des rainures (Fig. I.15). Outre leurs caractères d'évacuation des poussières et de l'eau, ces rainures influent elles sur le comportement thermique de la plaquette. Cette dernière doit présenter :

- Une bonne résistance à l'usure, non agressivité des pistes de frottement.
- Absence de bruit.
- Haute résistance thermique. La température des garnitures peut atteindre 600°C à 700°C.

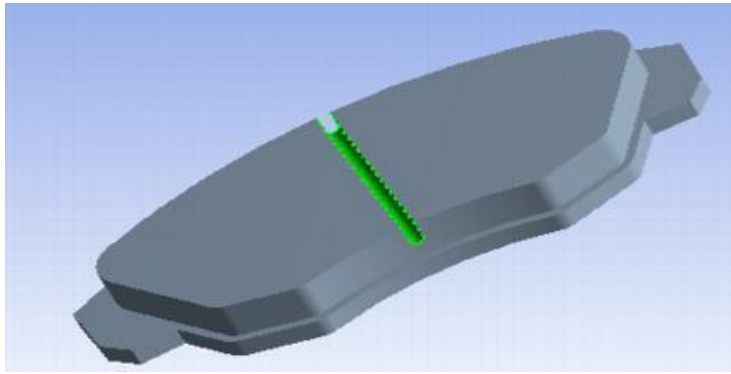


Fig. I.15 : Plaquette de frein.

Une température trop élevée peut entraîner une perte d'efficacité presque totale du freinage appelée : évanouissement ou fading.

La fabrication de la plaquette nécessite l'application de plusieurs techniques :

- support métallique: obtenu par découpage (découpage fin pour la première monte), il subit des opérations de nettoyage et de grenaillage.
- matériau de friction: pesage mélange (et remélange).
- l'ensemble : cuisson, cautérisation (pour la première monte), rectification et peinture.
- personnalisation : plaque antibruit, marquage

I.8) PROBLEME DU DISQUE DE FREIN :

L'analyse bibliographique des phénomènes de freinage montre que la principale sollicitation vient des fortes variations de température induites par le frottement des plaquettes contre le disque. En effet, la température peut varier de 20° C à plus de 700° C en quelques secondes seulement. Ces brusques variations ne permettent pas à la température de s'homogénéiser. De ce fait, le disque est le lieu de très forts gradients thermiques dans l'épaisseur des pistes de frottement, mais aussi dans la direction circonférentielle. Ces derniers gradients sont dus au fait que le flux de chaleur qui entre dans le disque est localisé sous les plaquettes de frein et que le disque tourne. Parfois, il apparaît ce qu'on appelle des points chauds; ce sont des zones circulaires régulièrement espacées sur les pistes où la température est localement plus élevée. Soumis à de tels cycles thermiques, le disque subit des déformations anélastiques (plastiques voire même viscoplastiques) qui sont elles aussi

homogènes dans la pièce. La prédiction numérique des champs thermomécaniques qui s'établissent dans le disque, a été mise en place à méthode de calcul fondamental qui prenne en compte les couplages essentiels entre les différents phénomènes, le caractère transitoire de l'histoire thermique du disque, le comportement anélastique du matériau, les gradients thermomécaniques orthoradiaux et la rotation du disque. Dans cette étude, On se rend vite compte que la simulation d'un freinage par une méthode classique par éléments finis engendrerait des temps de calcul exorbitants. [1]

I.9) LES MATERIAUX DU DISQUE DE FREIN :

Les matériaux des composants du système de freinage sont choisis selon les critères suivants : la fonction de la pièce, le coût de la matière première et sa facilité de fabrication, la masse.

I.9.1) Le disque :

Afin d'assurer un bon comportement thermique et mécanique, le matériau idéal pour le disque de frein doit pouvoir emmagasiner beaucoup de chaleur et supporter un effort mécanique important, sur une large gamme de température de fonctionnement (dans l'automobile, les températures d'utilisation varient entre 0 °C et 800 °C ; dans l'aviation les températures peuvent atteindre les 3000°C). De plus, il doit être bon marché et être de fabrication relativement facile.

Ainsi, s'il existe des matériaux à meilleur comportement thermomécanique, la fonte grise à graphite lamellaire est la plus communément utilisée dans l'industrie automobile. En effet, la fonte est peu chère, se fabrique aisément et peut être coulée facilement. Elle présente également une bonne conductivité, une assez bonne résistance mécanique, et une faible usure. Les proportions de carbone et les ajouts de différents types d'éléments d'addition (phosphore, potassium, silicium, manganèse, cuivre, soufre, nickel, chrome, molybdène, aluminium, autres éléments d'alliages et des impuretés diverses) permettent de faire varier légèrement les propriétés thermomécaniques de la fonte qui reste ainsi en perpétuelle évolution. On rappelle que plus la teneur en carbone est élevée, plus la résistance mécanique de la fonte est mauvaise. Par contre, la conductivité augmente, ce qui diminue les contraintes thermiques.

Il existe néanmoins dans le cas de véhicules à hautes performances des disques bi-matière avec un moyeu (ou bol) en aluminium ou acier et une piste de freinage (couronne) en carbone-céramique vissée ou rivetée (Fig. I.16). Ces disques sont particulièrement coûteux mais plus légers et plus résistants à l'usure, à la corrosion et aux hautes températures. [2]



Fig. I.16 : Disque carbone-céramique.

I.10) PHENOMENES THERMIQUES DANS LE DISQUE :

Lors de la phase de freinage, il existe des gradients thermiques qui apparaissent dans le disque qui causent son endommagement. En effet, le disque tend à se dilater dans les zones chaudes, mais il est finalement "maintenu" par les zones froides. Cela donne lieu à des contraintes de compression avec plastification. Lors du refroidissement, il y a apparition de contraintes résiduelles de traction. Le disque subit donc des cycles de contraintes traction/compression qui s'apparentent à des cycles de fatigue thermique. Il existe différents types de gradients thermiques :

- les gradients dans l'épaisseur des pistes ;
- les gradients surfaciques (radiaux et surtout orthoradiaux) ;
- les gradients dans la gorge du disque.

I.11) PHENOMENES MECANIQUES DANS LE DISQUE :

Les phénomènes mécaniques peuvent être classés selon:

- le chargement (pression et couple), les conditions aux limites (serrage du disque sur le moyeu, contact avec la jante, présence de l'étrier) et la géométrie du disque qui donnent la déformation globale du disque, La dissymétrie de dilatations engendrée favorise la mise en cône du disque (Fig. I.17) ;
- le contact entre le disque et les plaquettes ;
- l'usure.

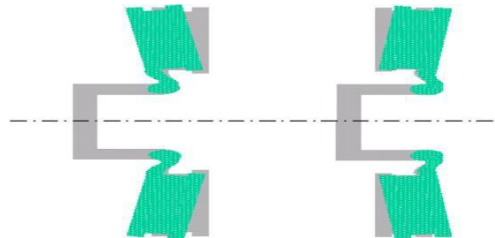


Fig. I.17: Mise en cône d'un disque de frein.

I.12) COMPARAISON ENTRE TAMBOUR ET DISQUE

I.12.1) Avantages[5] :

Par rapport aux freins à tambour, les freins à disque se distinguent par les avantages suivants

- Meilleur refroidissement.
- La dilatation n'affecte pas la qualité de freinage.
- Jeu de fonctionnement faible, action rapide.
- Bonne progressivité.
- Répartition uniforme de la pression.
- Absence de déformation.
- Puissance de freinage identique en marche avant et en marche arrière.
- Pas de réglage (rattrapage de jeu automatique).
- Remplacement des garnitures plus rapide.

I.12.2) Inconvénients

Les inconvénients des freins à tambour se résument comme suit [5] :

- Mauvaise répartition de l'effort.
- Moins bonne tenue à chaud.
- Dilatation et déformation du tambour.
- Usure plus prononcée sur le segment primaire (comprimé).

Chapitre II

**Simulation numérique
résultats et discussion**

II-1) Introduction :

Lorsque deux corps entrent en contact avec frottement, il y a dissipation d'énergie et donc de la chaleur produite au niveau du contact, ce qui entraîne une dilatation pouvant accroître le champ de pression, Ce phénomène s'accroît si les contraintes tangentielles ainsi que les vitesses relatives de glissement entre les deux corps sont importantes .Ces effets thermomécaniques se traduisent la plus part du temps par la formation de zones localisées à très forts gradients thermiques, les points chauds. Il y a apparition de déformations thermiques et des concentrations de contraintes pouvant générer des fissures, des vibrations, etc. Avec le développement des nouvelles technologies dans l'industrie automobile une vision claire et très précise du phénomène thermomécanique de couple disque frein et plaquette par la méthode de la modélisation numérique grâce au logiciel de calcul numérique tel que le code de calcul ANSYS. [5]

II.2) Méthodes des volumes finis dans ANSYS

ANSYS WORKBENCH utilise une formulation centrée (co-located). Ceci veut dire que toutes les variables sont calculées au même point, au centre de la cellule.

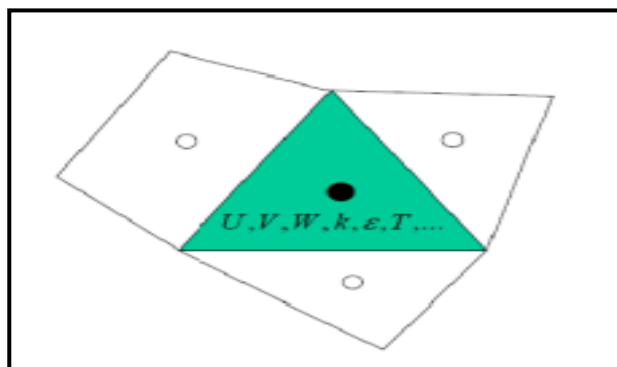


Fig. II.1 : point nodal dans fluent

- **Equation gouvernantes :**

Premièrement Les équations régissant le problème on a l'équation de chaleur, qui expriment dans un milieu immobile isotrope homogène, avec des coefficients thermodynamiques constants. Pour une formulation simple du problème, [6]

- **Equation de chaleur :**

Soit v une partie quelconque de V limitée par la surface s .

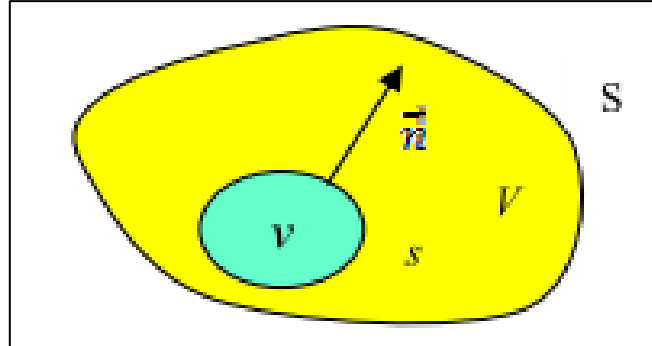


Fig. II.2 : bilan thermique

La puissance thermique stockée dans v est égale à la somme de la puissance thermique générée par les sources volumiques contenues dans v et de la puissance thermique reçue sous forme de flux à travers la surface s :

$$\int_v \rho \epsilon_\phi \frac{\partial T}{\partial t} dv + \int_v q dv + \int_s -\vec{n} \cdot (-k \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T) ds \quad II.1$$

ρ : La masse volumique du matériau (kg/m^3)

C_p : La capacité thermique massique (J/ kg K)

n : La normale unitaire à s dirigée vers l'extérieur de v

En transformant la relation (III.1) en intégrale de volume à l'aide du théorème

D'Ostrogradski, il en résulte :

$$\int_v (p C_p T - \text{div}(-k \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T) - q) dv = 0 \quad II.2$$

Ou

$$\vec{T} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad II.3$$

De l'équation (III.2), on déduit l'équation de chaleur suivante :

$$p C_p \dot{T} - \text{div}(-k \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T) - q = 0 \quad II.4$$

Pour un matériau homogène et isotrope, l'équation (II.3) dans le repère $\{x, y, z\}$ mé s'écrit :

$$pC_p T = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q \quad II.5$$

✚ Pour résoudre les équations intervenantes dans un domaine géométrique, les étapes suivantes sont nécessaires :

- ✓ **Géométrie/CAO** : Etre en possession d'une géométrie 2d ou 3d.
- ✓ **Maillage** : Discrétiser le domaine, c'est-à-dire le découper en mailles de calcul
- ✓ **Mise en données** : Choisir les modèles physiques et les hypothèses adaptés au problème
- ✓ **Résolution numérique** : Les équations aux dérivées partielles sont résolues par le solveur ANSYS après avoir discrétisée et mise sous forme algébrique. Cette résolution se fait par un algorithme itératif jusqu'à la convergence.

✚ Une simulation ne pourra être validée que si les éléments suivants ont été vérifiés :

- ✓ Le nombre d'itérations et les critères d'arrêt doivent garantir que le calcul a bien convergé
- ✓ Le maillage doit être assez fin pour que la physique soit bien résolue.

- **ANSYS Inc**

- **Définition :**

ANSYS, Inc est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique. L'entreprise a son siège à Canonsburg en Pennsylvanie aux États-Unis. Ses produits majeurs sont des logiciels qui mettent en œuvre la méthode des éléments finis, afin de résoudre des modèles préalablement discrétisés. La société possède de nombreuses filiales à travers le monde, notamment en Europe et en Asie



Fig.II.3 : Logo de la société ANSYS

- Aspects techniques :
- Les quatre (04) domaines d'utilisation :

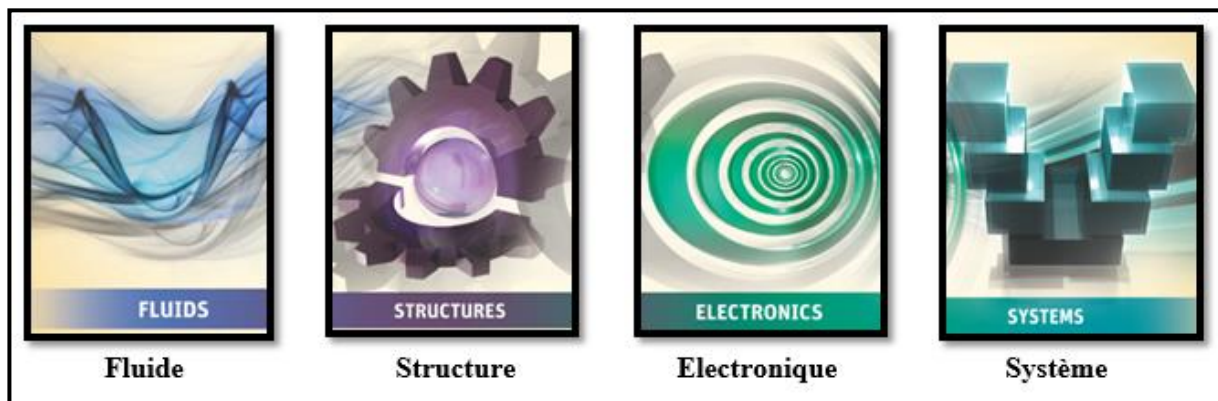


Fig.II.4 : Les quatre (04) domaines d'utilisation [8]

- ANSYS Workbench :

Cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plate-forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution. Le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.

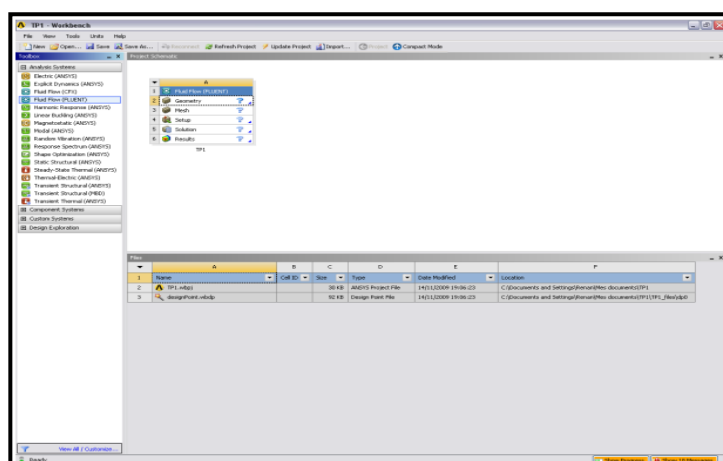


Fig.II.5 : Espace de travail Workbench

- **Description et modélisation du problème :**

La discrétisation en espace du problème par la méthode des éléments finis conduit à la résolution d'un système d'équations en temps, en général du premier ordre. La figure III.2 représente l'organigramme principal par la M.E.F en utilisant la méthode des substitutions successives. [5]

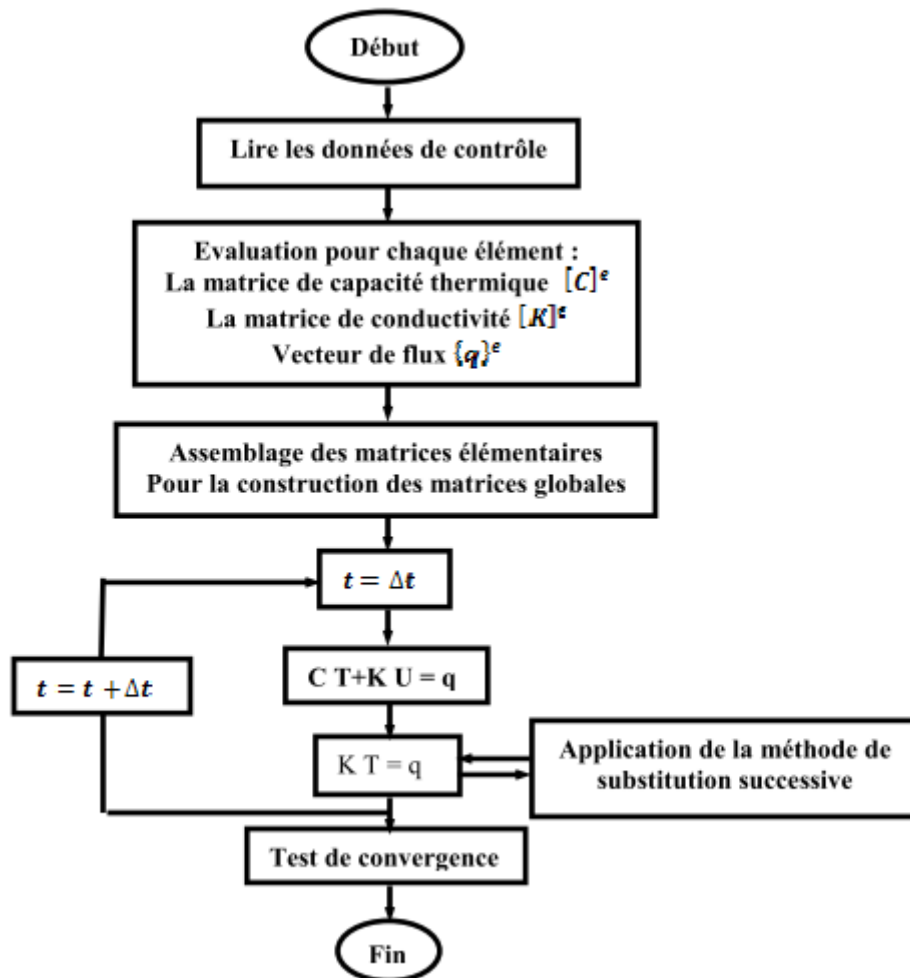


Fig.II.6: organigramme de calcul thermomécanique en ANSYS Multiphasique

- **Conditions initiales et conditions aux limites :**

La température du disque est constante est égale :

$$T(x, y, z, t) = 60^\circ \text{C à l'instant } t = 0$$

Dans notre cas, il s'agit d'un problème thermique transitoire avec deux conditions aux limites : Un flux de chaleur entrant dans le disque (conduction) localisé dans la zone de contact disque-plaquette dans les deux côtés,

- ✓ Un flux de chaleur entrant dans le disque (conduction) localisé dans la zone de contact disque-plaquette dans les deux côtés,
- ✓ Un échange de chaleur par convection sur toute la surface du disque.

- **Simulation du problème en ANSYS**

Le code d'éléments finis ANSYS 11 (3D) est utilisé dans cette partie pour simuler le comportement du mécanisme de contact par frottement des deux corps (plaquette et disque) lors d'un freinage d'arrêt. Ce code possède des algorithmes de gestion du contact avec frottement basés sur la méthode des multiplicateurs de Lagrange, ou la méthode de pénalisation.

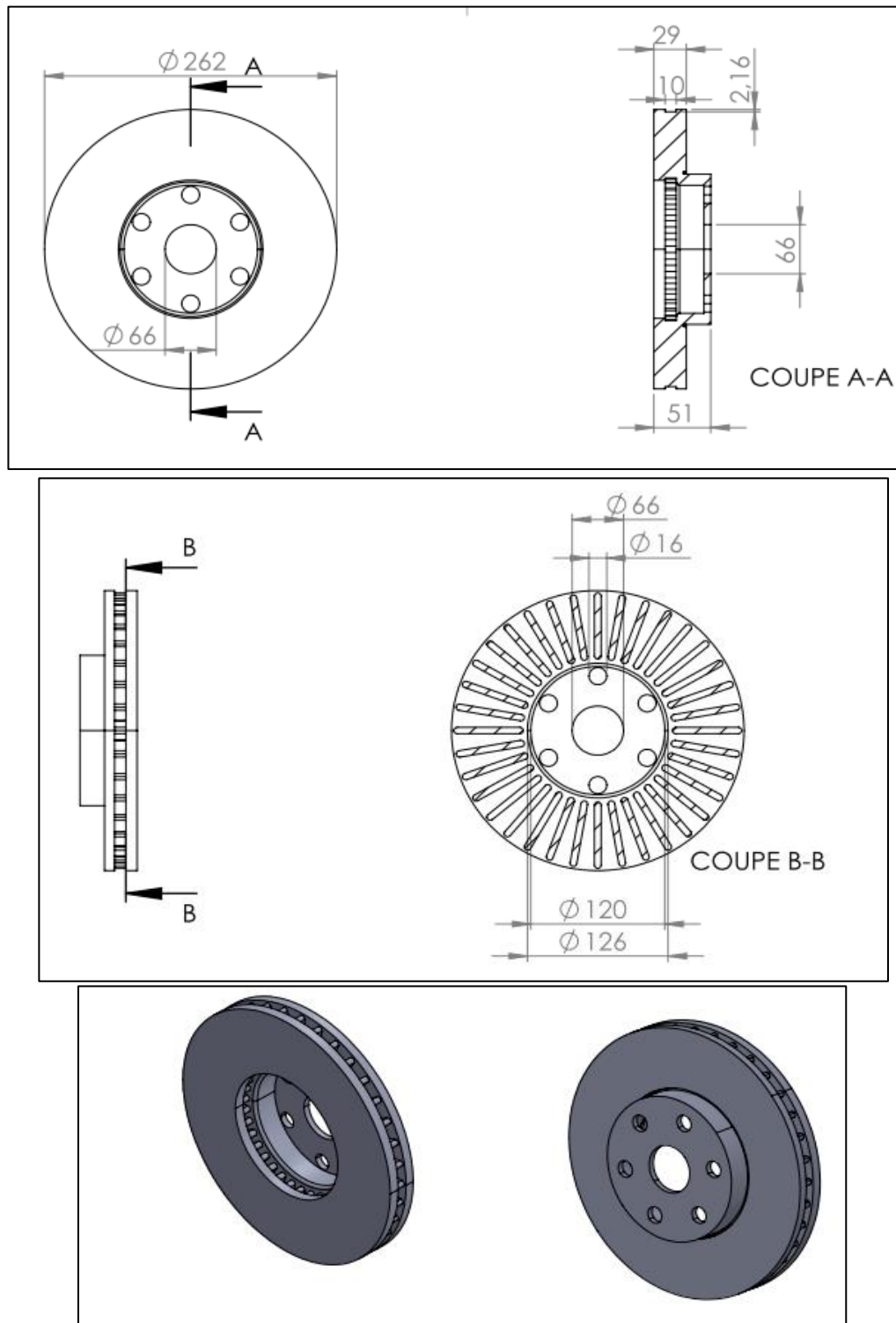
Le module d'Young, le coefficient de Poisson, masse volumique et le Coefficient de frottement sont données dans le tableau ci dessous

Tableau II. 1 : Caractéristiques techniques et géométrique de disque frein

	Disque	Plaquette
Module de Young E (Gpa)	138	1
Coefficient de poisson ν	0.3	0.25
Masse volumique $\rho(kg/m^3)$	7250	1400
Coefficient de frottement μ	0.2	0.2

- **Création de géométries :**
- **Ansys Design Modeler :**

Le logiciel ANYS Design Modeler permet de réaliser des tracés 2d (Sketch), de créer à partir des sketches des objets 3d (par extrusion etc...) et de manipuler les objets 3d. Dans notre cas, on va travailler avec logiciel solidworks pour créer les géométries

Disque de frein ventilé**Fig.II.7:** Vue détaillée de la géométrie disque ventilé

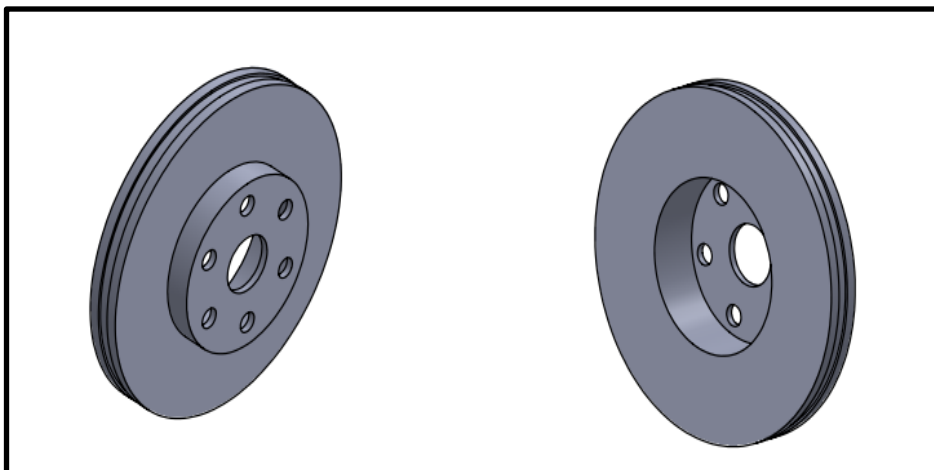
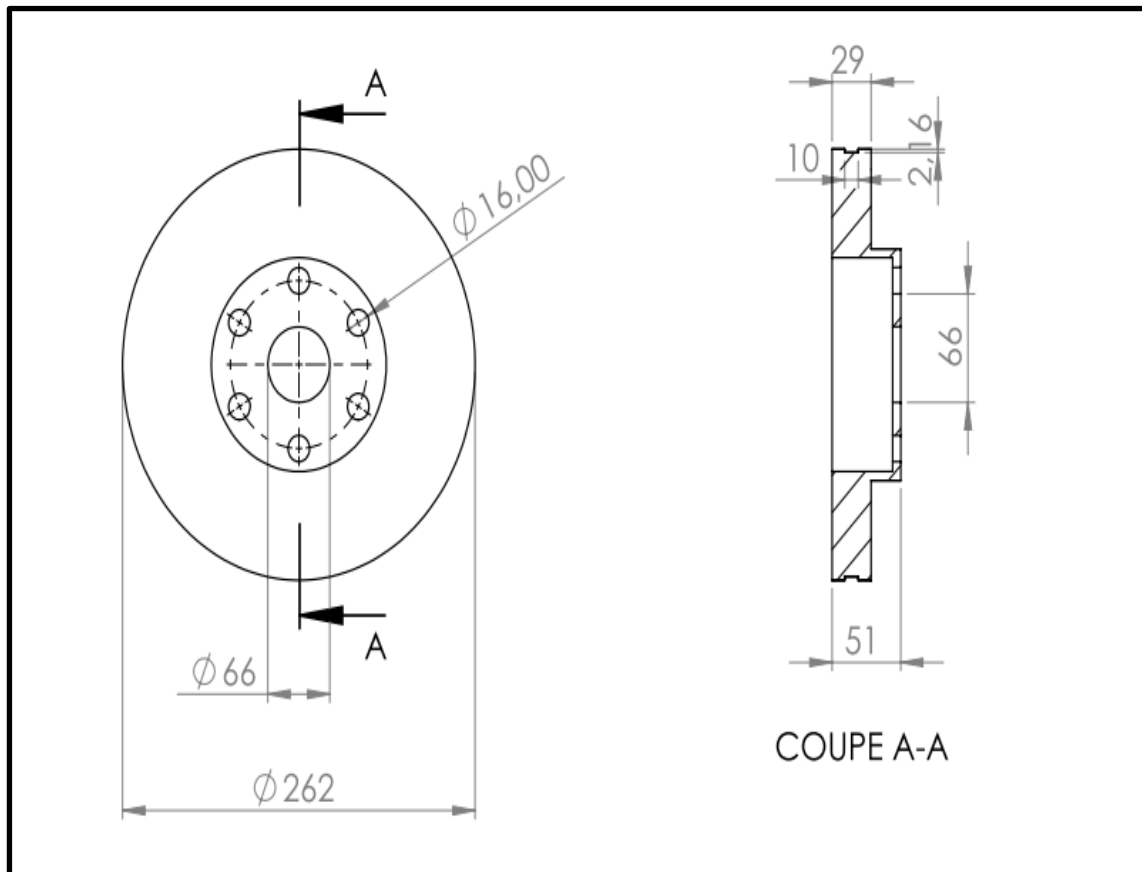


Fig.II.8: Vue détaillée disque plein

Tableau II. 2 : Caractéristiques techniques et géométrique de disque frein

<u>Caractéristiques techniques et géométrique de disque frein</u>	<u>Valeurs</u>
Masse du véhicule-m [kg]	1385
Vitesse initiale v_0 [km / h] / [trm]	28/74.27trm
Décélération a [m/S ²]	8
Rayon effectif du rotor R rotor r [mm] 100.5	100.5
Répartition du taux de la gaine de freinage Φ -[%]	20
Facteur de répartition de charge sur le disque ϵ_p	0.5
Surface de disque de balayé par les plaquettes A_d [mm ²]	35,993
Température initiale C°	60
Matériaux de fabrication de disque	Alliage d'aluminium

Tableau II. 3 : Données relatives aux matériaux Alliage d'aluminium

Masse volumique	2770, kg m ⁻³
Coefficient de dilatation thermique	2,3e-005 C ⁻¹
Chaleur spécifique	875, J kg ⁻¹ C ⁻¹
Limite à la rupture en compression Pa	0,0
Limite d'élasticité en compression Pa	2,8e+008
Limite d'élasticité en traction Pa	2,8e+008
Limite à la rupture en traction Pa	3,1e+008

Tableau II. 4 : Alliage d'aluminium / Perméabilité relative isotrope

Température C	Module de Young Pa	Coefficient de Poisson	Module de compressibilité Pa	Module de cisaillement Pa
	7,1e+010	0,33	6,9608e+010	2,6692e+010

Le deuxième pas de la chaîne de la simulation numérique du problème est le développement et l'adaptation du maillage de la géométrie. Un maillage de bonne qualité est indispensable pour la procédure du calcul afin que les résultats soient acceptables et utilisables et ainsi recueillir des conclusions.



Un « bon maillage » présente les caractéristiques suivantes :

- un domaine de calcul assez bien déterminé pour éviter l'influence des conditions aux limites sur les résultats ;
- un maillage fin au voisinage de l'objet (là où les phénomènes importants vont se produire) ;
- une transition « douce » entre les zones raffinées et non raffinées pour éviter les problèmes d'erreur numérique lors de la résolution ;
- et enfin, un nombre pas trop important de mailles pour ne pas alourdir les temps de calcul.

• Topologie du maillage

Les maillages structurés se caractérisent par une répartition géométrique des nœuds dans le domaine de calcul. Dans le cas de notre problème la géométrie d'un profil d'aile nous permet d'utiliser soit une topologie en C ou en O ou une topologie en H voir les figures V-13, 14, 15 Le maillage en H est plus naturel pour un profil d'aile et évite la ligne de coupure au niveau du bord de fuite du maillage en C, de plus à la topologie en H, l'orthogonalité des lignes de maillage est plus naturelle, donc plus facile à imposer. Enfin, le cisaillement des mailles est réduit si la correspondance des nœuds de la frontière extérieure est correctement effectuée.

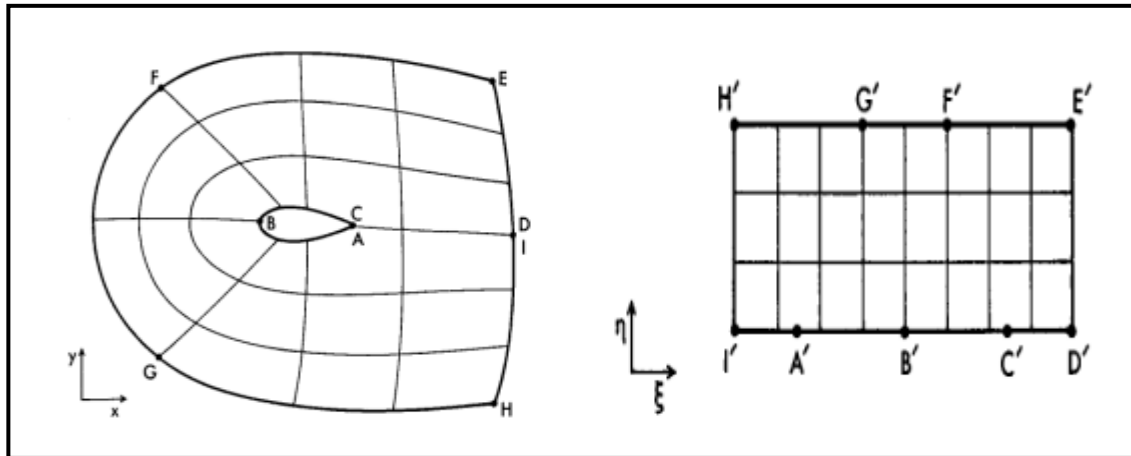


Fig.II. 9 : Maillage en C

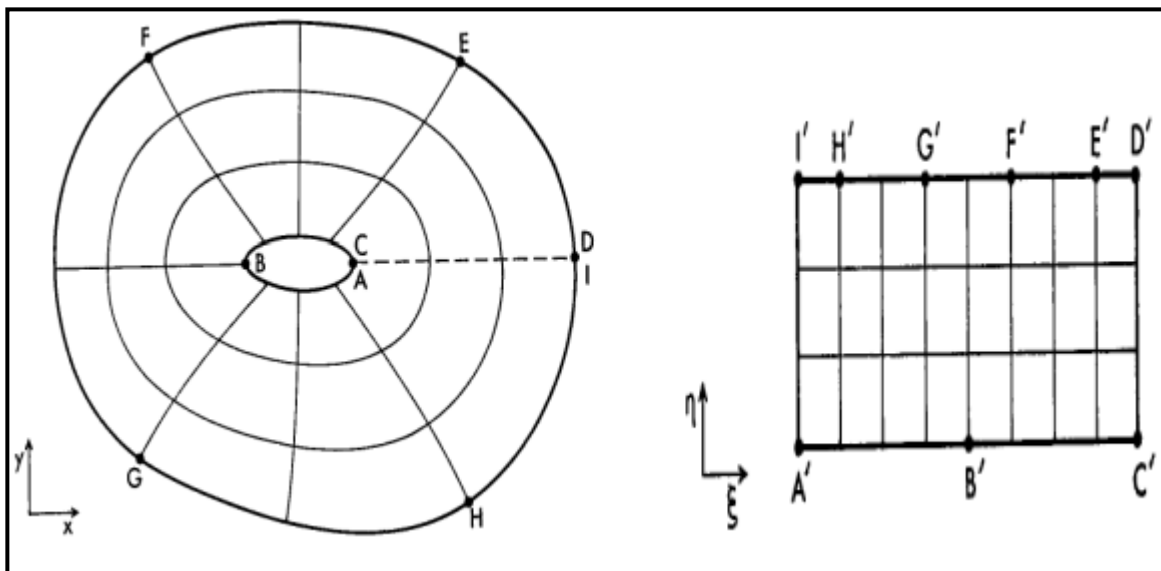


Fig.II.10 : Maillage en O

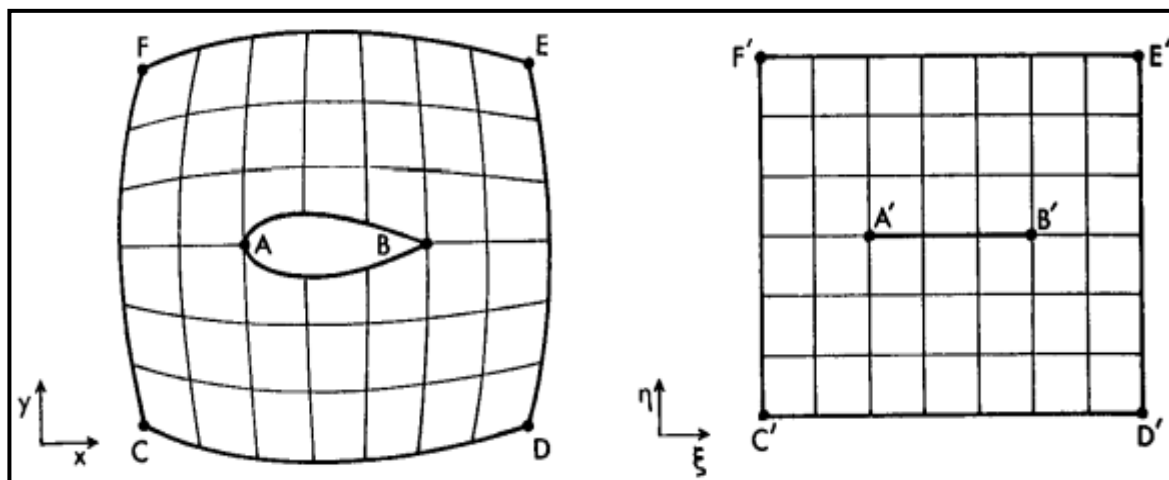


Fig.II.11: Maillage en H

- **Validation et choix de maillage**

Notre travail a été validé par rapport à un article de **Ali Belhocine***, **Mostefa Bouchetara** « Thermal analysis of a solid brake disc » Available online 27 August 2011

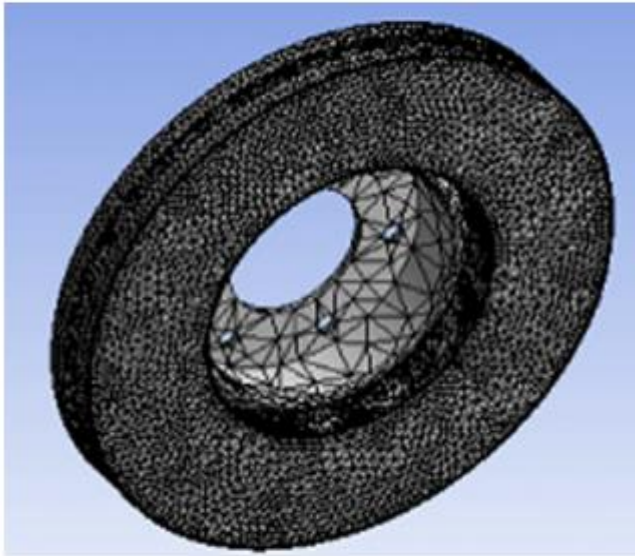


Fig II.12: Maillage de Disque de frein ventilé selon l'article, (154679 nodes 94117 elements)

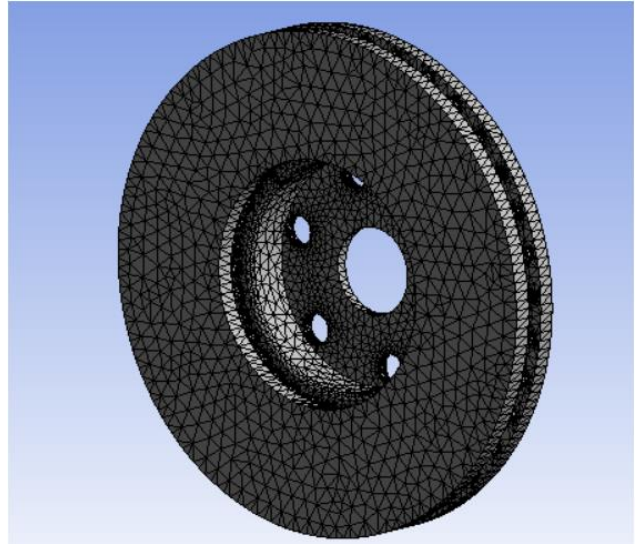


Fig II.13: Notre maillage Disque de frein ventilé (153974 nodes e 95199 elements)

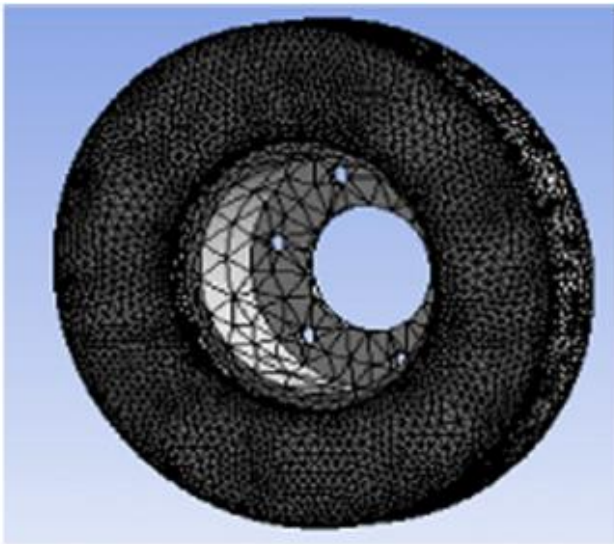


Fig II.14: Maillage de Disque de frein plein selon l'article, (172103 nodes 141121 elements)

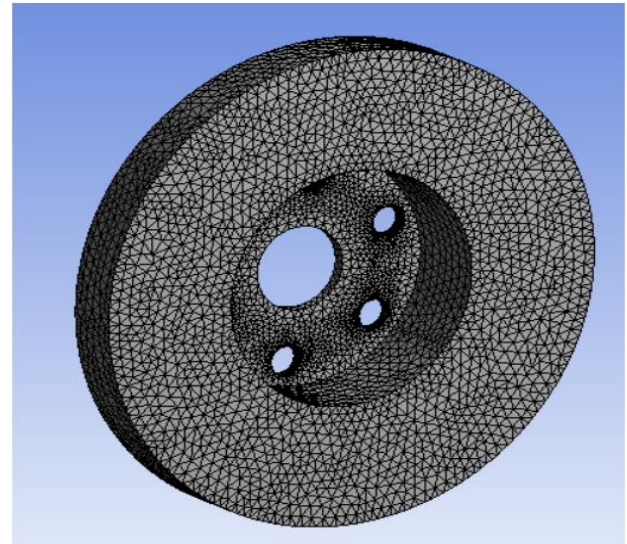


Fig II.15: Notre maillage Disque de frein ventilé (171988 nodes e 140996 elements)

Tableau II.5 : maillage Disque de frein plein et ventilé

Nom	<i>Maillage</i> Disque de frein plein	Nom	Maillage Disque de frein ventilé
Etat	Résolu	Etat	Résolu
Réglages par défaut		Réglages par défaut	
Physique de préférence	Mécanique	Physique de préférence	Mécanique
Pertinence	66	Pertinence	26
Statistiques		Statistiques	
Nœuds	171988	Nœuds	153974
Eléments	140996	Eléments	95199

II.3) Etude Thermique stationnaire

- Repérage des conditions aux limites :

Tableau II.6 : Unités

Système d'unités	Métrique (m, kg, N, s, V, A) Degrés tr/min Celsius
Angle	Degrés
Vitesse de rotation	tr/min
Température	Celsius

Tableau II.7 : Etude thermique stationnaire.

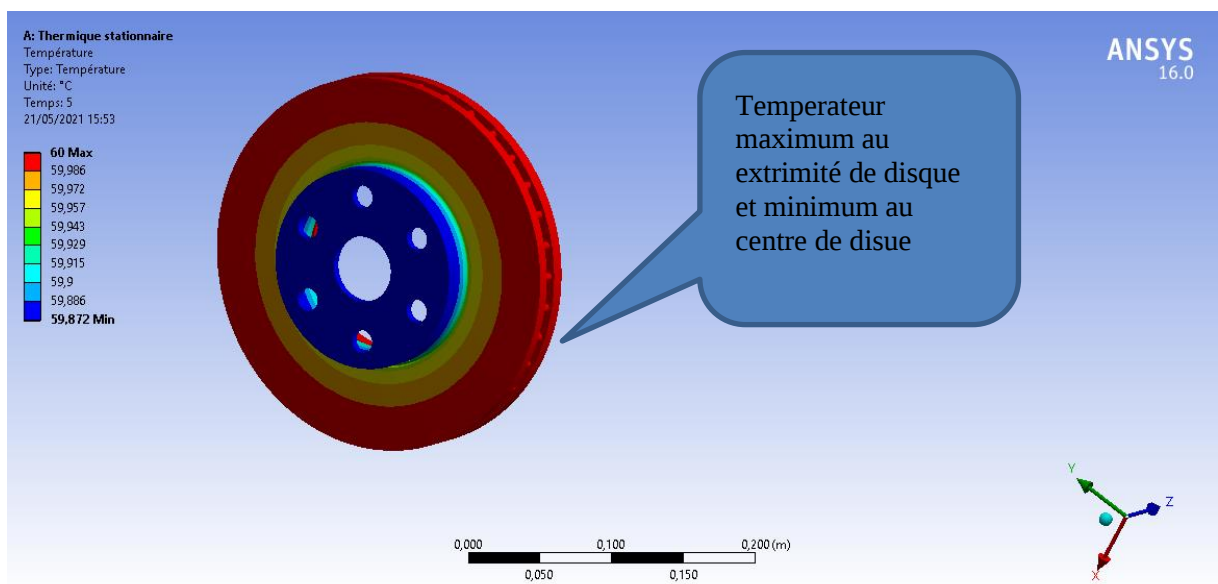
Nom	<i>Thermique stationnaire</i>
Etat	Résolu
Définition	
Type de Physique	Thermique
Type d'analyse	Stationnaire
Cible du solveur	ANSYS Mechanical

Tableau 8 : Contrôles d'incrément

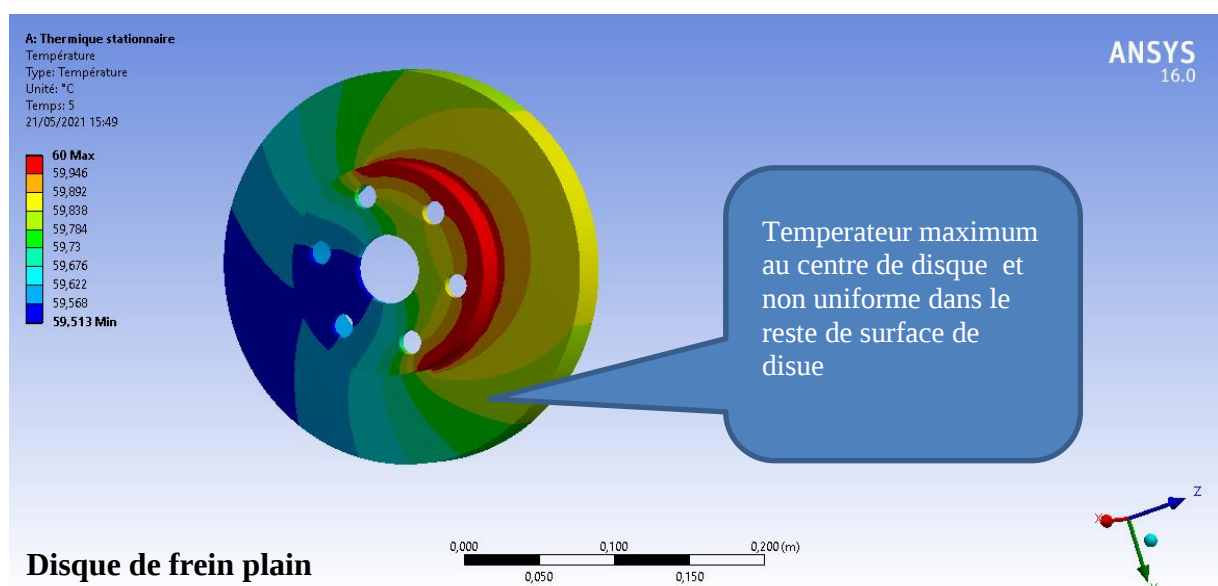
Etape	Temps final pour cet incrément
1	1, s
2	2, s
3	3, s
4	4, s
5	5, s

II.4) Présentation des résultats de simulation :

II.4.1) Température



Disque de frein ventilé



Disque de frein plain

Tableau II.9 : valeur minimum et maximum de temperature

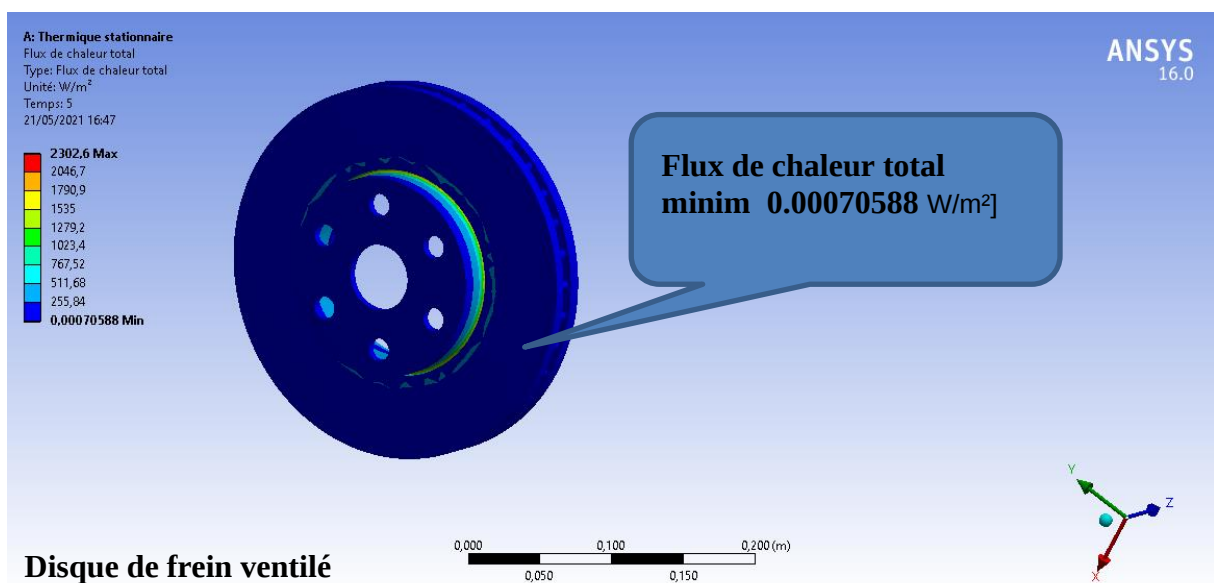
Temps [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
1,	59,872	60,00
2,		
3,		
4,		
5,		

II.4.1.1) Interpretaion : d'après les resultats de simulation des deux sique de frien ventilé et plein en remarque une distrubution et une evolution de la temperature totalement differents au niveau du corps des deux disques

➤ **Disque de frein ventilé :** la distrubustion de la temperature au niveau de surface de disque et uniforme de la base de disque jusqu'au les extrimités de ce dérnier cette distrubution grace à l'ailette situé a l'interieur de disque qui fait dégaé le maximum de temperature vers les extrimités de disque.

➤ **Disque de frein plein :** la distrubustion de la temperature au niveau de surface de disque non uniforme de la base de disque jusqu'au les extrimités de ce dérnier cette distrubution due au absence d'outil qui permetre a destrubué et dégagé la temperature vers les extrimités de disque.

II.4.2) Flux de chaleur total



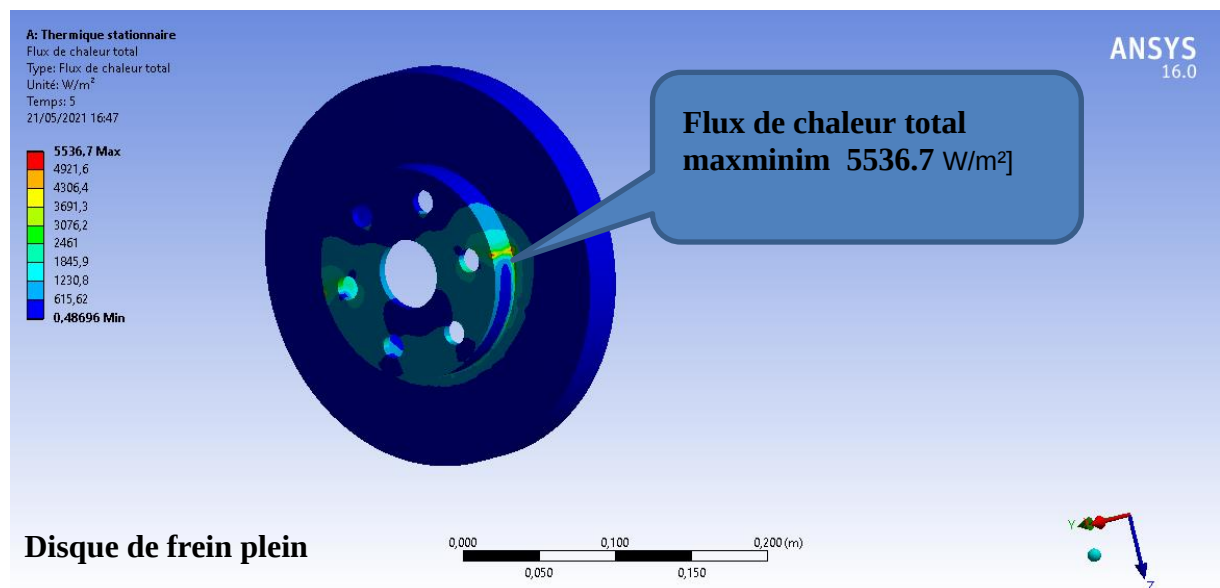


Tableau II.10 : valeur minimum et maximum de Flux de chaleur total

Temps [s]	Minimum [W/m²]	Maximum [W/m²]
1,	1,2021e-004	2189,2
2,	1,2013e-004	
3,		
4,		
5,		

II4.2.1) Interpretaion : d'après les résultats de simulation des deux disques de frein ventilé et plein en remarque une distribution et une évolution de Flux de chaleur total totalement différents au niveau du corps des deux disques

➤ **Disque de frein ventilé :** le flux de chaleur total pour le disque de frien ventilé et presque nulle au minim dans le total de la surface de disque avec une presence presque négligeable au niveau de centre de disque. Cette valeur minim aussi dué au role important des ailettes de ventilateur qui font le rol d'un refroidisseur qui refroidie le cours qui se mis sous effort de température et pression élevé.

➤ **Disque de frein plein :** en remarque un flux de chaleur total un peut élevé par rapport au cel de disque de frien ventilé au niveau de centre de disque ces valaures de flux due absence d'outil au niveau de la conception de disque plein qui assure une opération de refroidissement du corps de disque.

II.4.3) Flux de chaleur directionnel

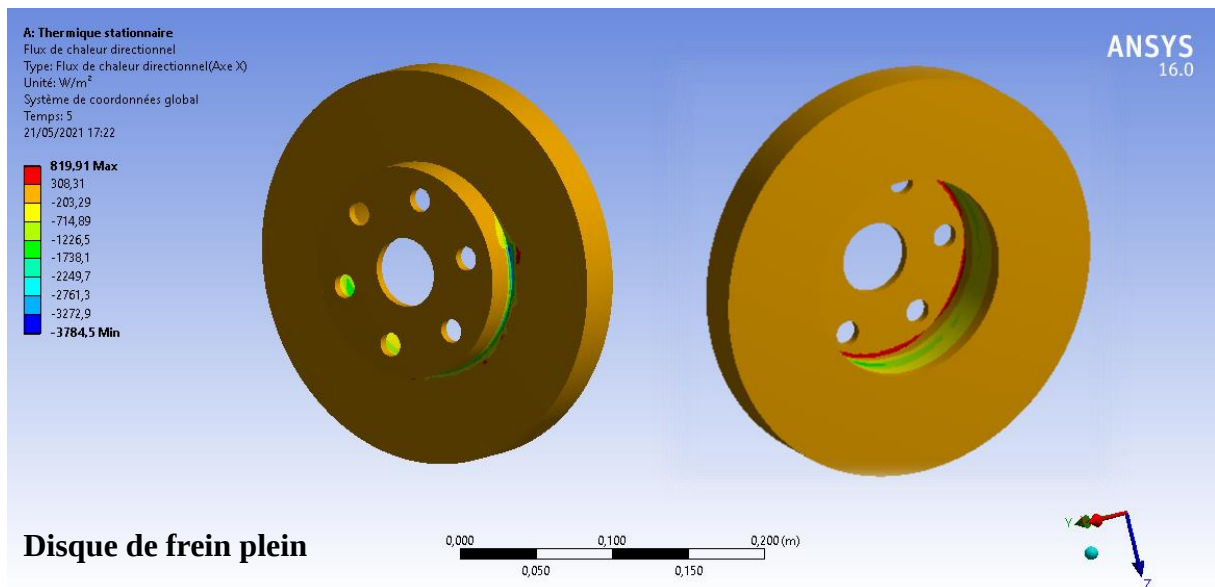
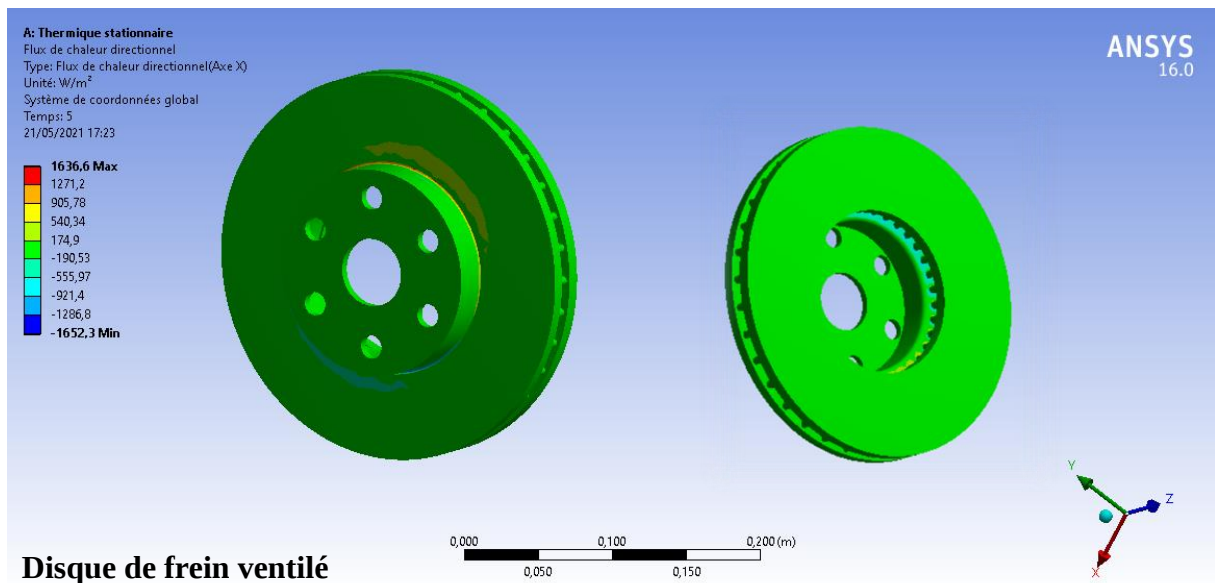


Tableau II.11 : valeur minimum et maximum de Flux de chaleur directionnel

Temps [s]	Minimum [W/m ²]	Maximum [W/m ²]
1,	-1667,1	1686,5
2,		
3,		
4,		
5,		

II.4.3.1) Interprétation : d'après les résultats de simulation des deux disques de frein ventilé et plein on remarque une distribution et une évolution de Flux de chaleur directionnel totalement différents au niveau du corps des deux disques

➤ **Disque de frein ventilé** : le flux de chaleur directionnel pour le disque de frein ventilé est presque minimal dans le total de la surface de disque et aussi uniforme. Cette valeur minimale aussi due au rôle important des ailettes de ventilation qui assure une direction bien déterminée au flux de chaleur dans notre cas vers l'extérieur du disque.

➤ **Disque de frein plein** : on remarque un flux de chaleur directionnel peut être élevé par rapport à celui du disque de frein ventilé au niveau du centre du disque ces valeurs de flux directionnel due à l'absence d'outil au niveau de la conception du disque plein qui assure une direction uniforme de flux de chaleur directionnel.

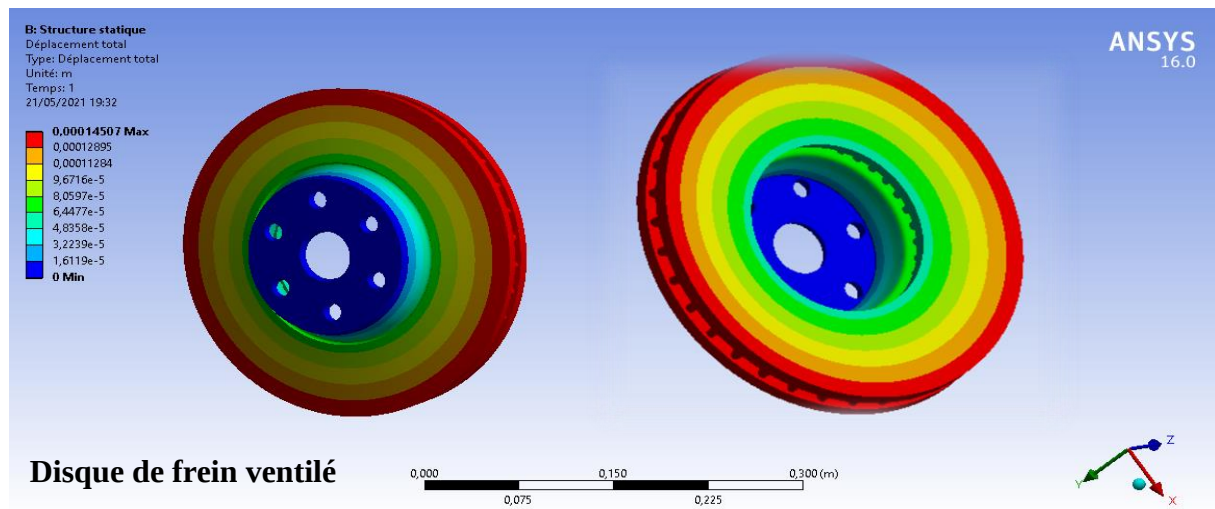
II.5) Après tous les résultats de la simulation obtenue le disque de frein ventilé est performant le meilleur par rapport au disque de frein plein

II.5.1) Structure statique

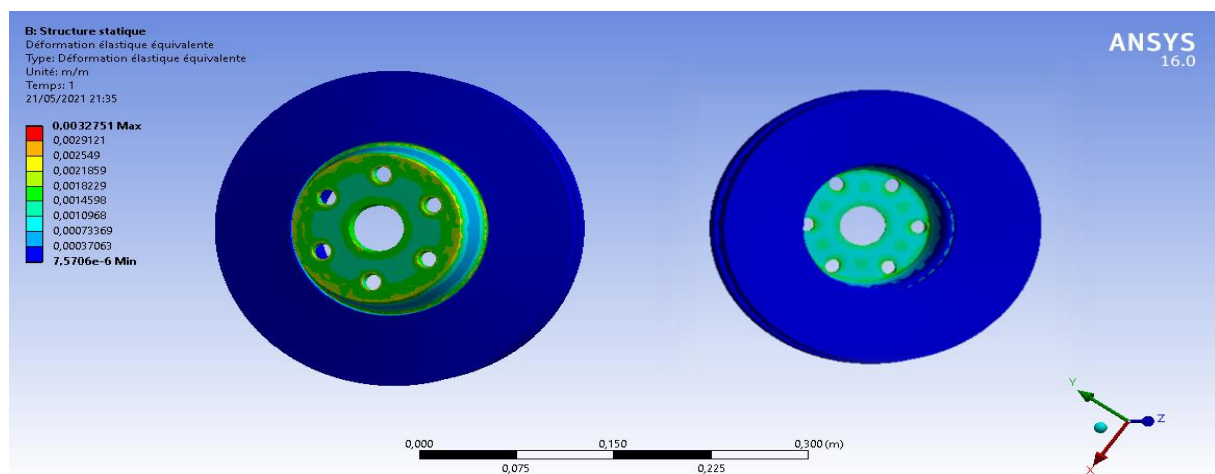
Tableau II.12 : paramètres de calcul structure statique

Nom de l'objet	Structure statique
Etat	Résolu
Définition	
Type de Physique	Structure
Type d'analyse	Structure statique
Cible du solveur	ANSYS Mechanical
Options	
Température de l'environnement	22, °C

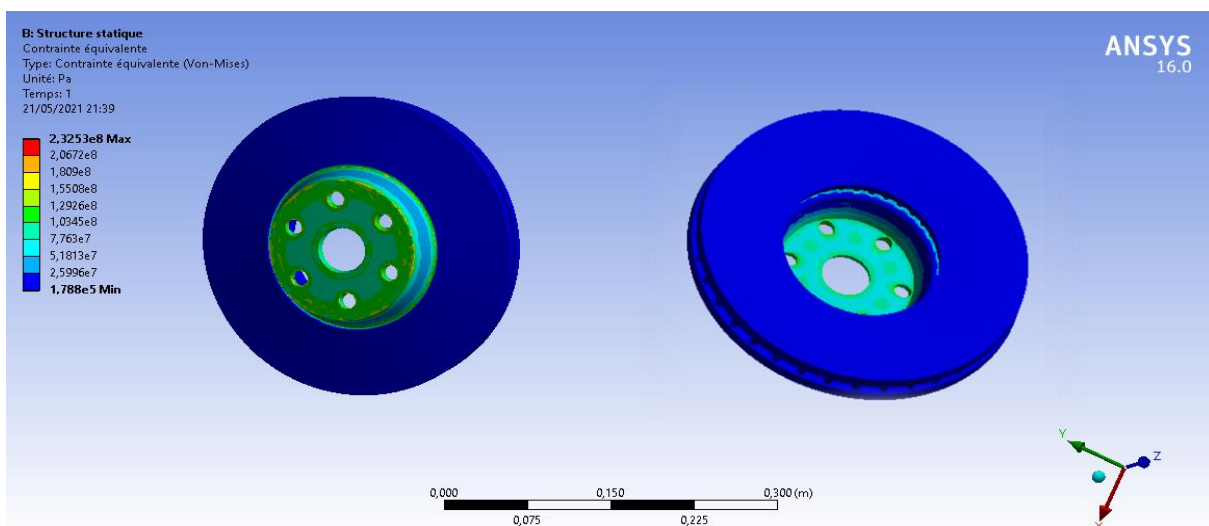
II.6) Déplacement total



II.7) Déformation élastique équivalente

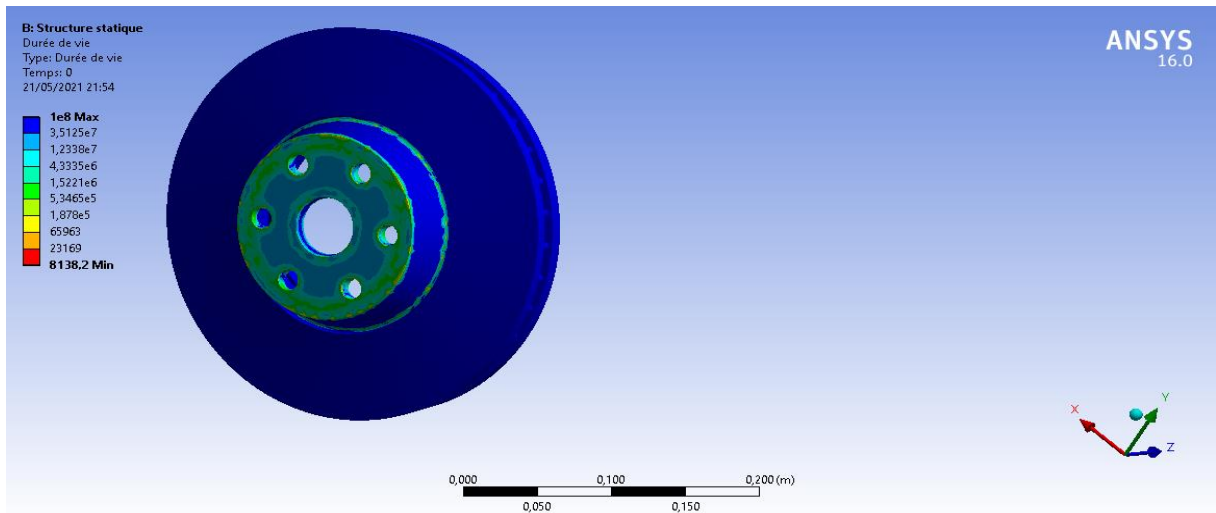


II.8) Contrainte équivalente

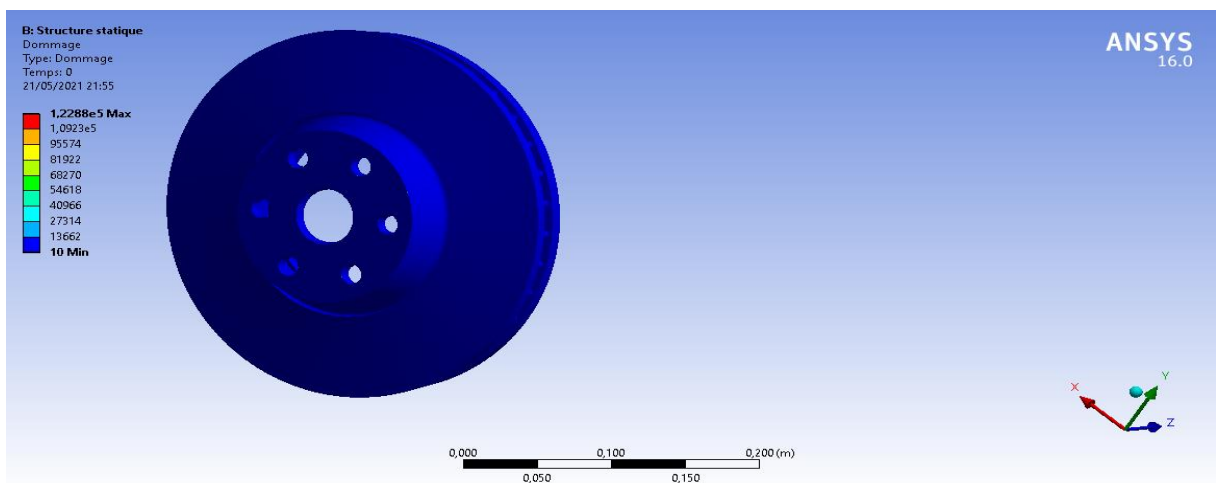


II.9) Outil Fatigue

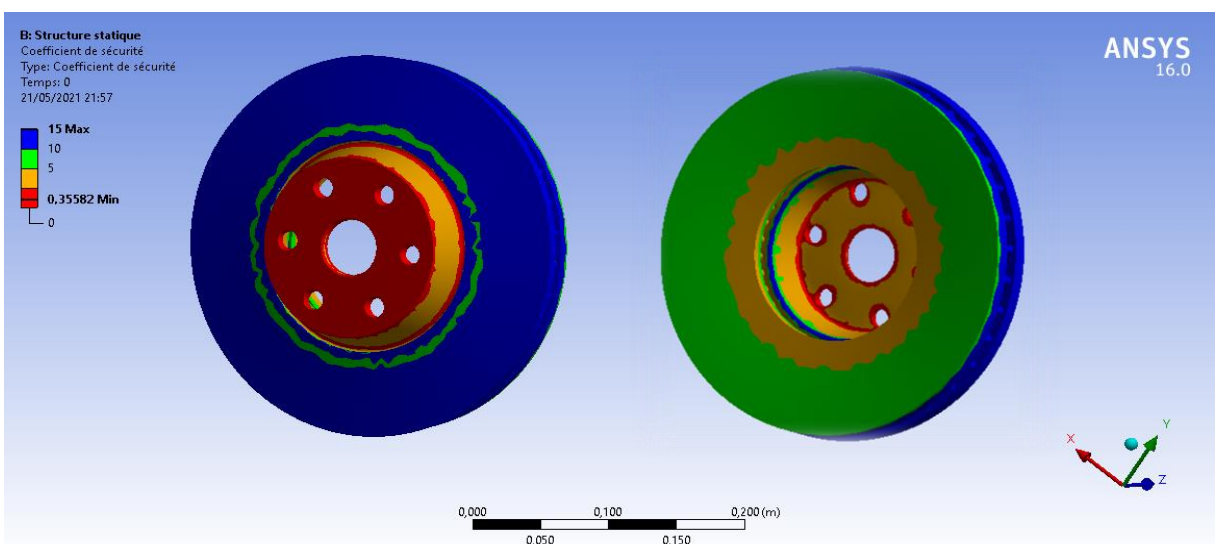
- Durée de vie



- Dommage



- Coefficient de sécurité



II.10) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une simulation numérique du comportement thermique d'un disque plein et ventilé. Signifie que le code informatique ANSYS 16.0 pour un mode de freinage déterminé. En plus de l'influence de la ventilation du disque, nous avons également étudié l'influence du freinage mode sur le comportement thermique du frein à disques. Le numérique la simulation montre que la ventilation radiale joue un rôle très important en refroidissement du disque en phase de freinage. Les résultats obtenus sont très utiles pour l'étude du comportement thermomécanique du frein à disque (contraintes, déformations, efficacité et usure). Grâce à la simulation numérique, nous avons pu constater que la qualité des résultats concernant le champ de température est influencée par plusieurs paramètres tels que: Paramètres technologiques illustrés par la conception, Paramètres numériques représentés par le nombre d'élément et le pas du temps. [9]

Chapitre III

Gamme de fabrication du disque

III.1) introduction

L'objectif de la gamme de fabrication est de définir l'ordre des opérations d'usinage, les moyens utilisés et les différentes prises de pièces associées.

Les contraintes sont nombreuses :

- Utilisation du parc machines présent
- Utilisation des outils présents
- Respect des spécifications du dessin définition
- Cout minimum

III.2) Analyse du dessin définition du disque

Les points essentiels dans l'analyse de fabrication sont les suivants :

- Le nombre de pièces à réaliser par unité de temps.(Cadence)
- La matière du disque.
- Le formes globale de la pièce (complexité géométrique du disque).
- Analyser les spécifications suivant les trois axes : valeurs des IT, spécifications géométriques, surfaces fonctionnelles.
- Choix des montages porte pièces pour chaque phase.

III.2.1) Phase, sous-phase, opérations:

Chaque phase correspond à un poste d'usinage donné: Une fraiseuse, un tour

Les sous phases correspondent à une série d'usinages sans démonter la pièce

Les opérations correspondent aux différents usinages sans changement d'outil.

III.3) Type de machine

Nous pouvons fabriquer les disques de frein par tournage. La machine utilisée est donc le tour.

- **Le tour**

Cette machine sert principalement à usiner des pièces de révolution. La pièce est fixée dans le mandrin. Celui-ci est mis en rotation par le moteur de broche. L'outil suit une trajectoire qui interfère avec la pièce. L'outil est muni d'une arête coupante, il en résulte un enlèvement de matière : les copeaux.



Fig. III.1 : Exemple d'un tour à commande numérique: EMCO PC Turn 345

- Conditions de coupe:

A) Vitesse de coupe en tournage:

La vitesse de coupe est la vitesse relative de l'outil par rapport à la pièce. Il s'agit donc de la vitesse tangentielle au point de la pièce coïncidente avec la pointe de l'outil. Cette vitesse qui s'exprime toujours en mètres par minute (m/min) se calcule ainsi:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times N}{1000}$$

Avec :

V_c : vitesse de coupe en m/min.

d : diamètre du disque au point d'usinage en mm.

N : correspond à la fréquence de rotation de la pièce en tours par minute.

En permutant les termes de la formule précédente, on obtient :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d}$$

B) Vitesse d'avance en mm/tr

En tournage, on choisit la vitesse d'avance en fonction de l'état de surface désiré.

En fraisage : $V_f = f_z \times Z \times N$

V_f = avance en mm/min

f_z = avance par dent en mm. (dent/tour)

Z = nombre de dents de la fraise

N = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min

En tournage, si on veut calculer la vitesse d'avance de l'outil, on applique cette formule :

$$V_f = f \times N$$

f = avance en mm/tour

B.3) Profondeur de passe mm

C'est la valeur du surépaisseur d'usinage à enlever par passe. Elle est exprimée en mm.

Le brut : Le disque brut doit être obtenu par moulage avec les évents et avec un trou de centre (alésage) de diamètre de 64mm.

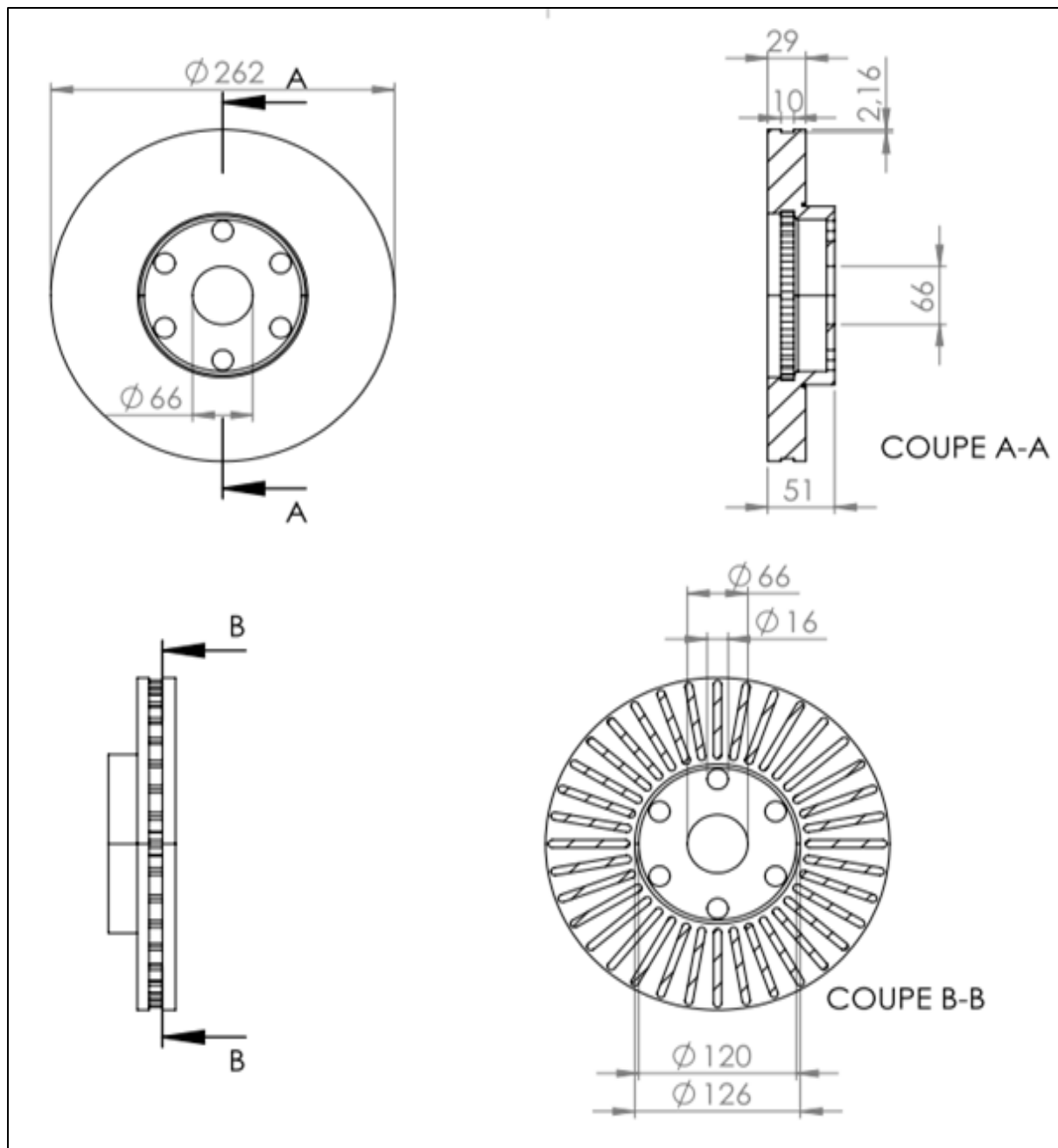


Fig III.2 : Le disque mis à l'étude .

III.4) Variantes de fabrication du disque:

Les méthodes de fabrication du disque peuvent être diverses, surtout au niveau du choix des machines outils à utiliser.

Pour les surfaces chariotées et dressées, la différence de choix entre machine universelle ou une machine à commande numérique n'est pas grande au niveau du rendement.

Quant au perçage des trous qui sont énormes et qui sont au nombre de 29 dans notre cas. Le choix des perceuses multibroches est plus argumenté qu'un autre. Dans ce cas, utilisant deux

perceuses multibroches préréglées, la première pour le perçage des 4 trous ϕ 13mm et la deuxième pour le perçage des 4 rangées de 6 trous ϕ 10mm.

III.5) Solution de fabrication utilisant la Commande Numérique.

Pour que le disque soit achevé complètement sur une seule machine, on peut utiliser un tour à commande numérique dotée d'une tourelle à outils entraînés.

Pour cela, on a rédigé 2 programmes principaux qui font les appels de quelques sous programmes et de quelques cycles.

L'usinage de la première face est assuré par le programme principal **mainprg.mpf** qui fait appel au sous programme **face1dsq.spf** grâce au cycle de **contournage cycle95(...)**

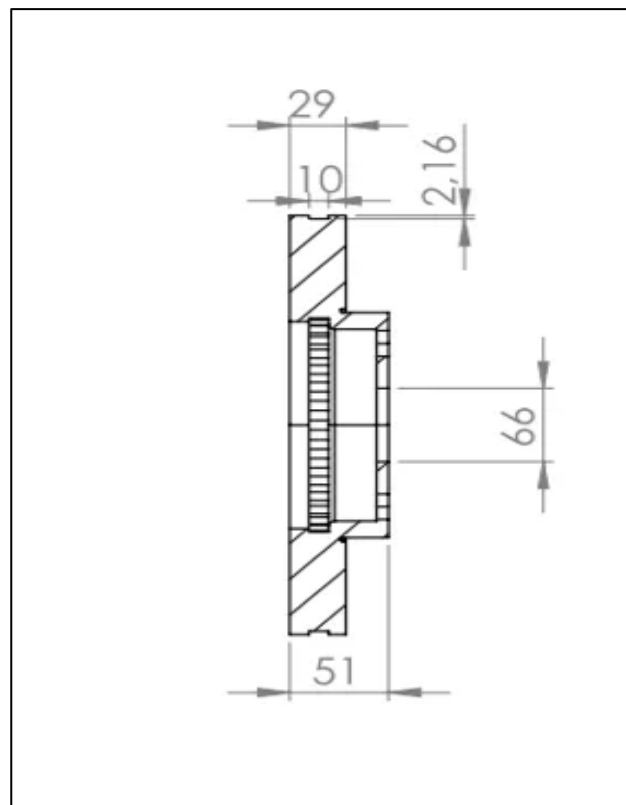


Fig. III.3 : Esquisse utilisée lors de la conception du disque et nécessaire pour la détermination des différents points fixant la trajectoire de l'outil en CN.

- **Le sous programme face1dsq.spf:**

N30 G0 X262 Z-22 CHF=2

N40 G1 X122

N50 Z0 CHF=2

N60 X64 CHF=2

N70 M17



Fig. III.4 : Fenêtre du logiciel de commande Sinumerik WINNC 840D présentant la Simulation de la trajectoire de l'outil (couleur verte) pour l'usinage de la Face1dsq.

- **Le programme principal MAINPRG.mpf pour la face1**

N10 G54 TRANS Z37

N20 G96 S200 F0.2 LIMS=500

N30 T1 D1 M4 M6

N40 G0 X266 Z2

N70 CYCLE95("FACE1DSQ",2,0.2,0.3,0.5,0.2,0.1,0.1,10,0,0,0)

N80 G0 X300 Z100

N100 M30

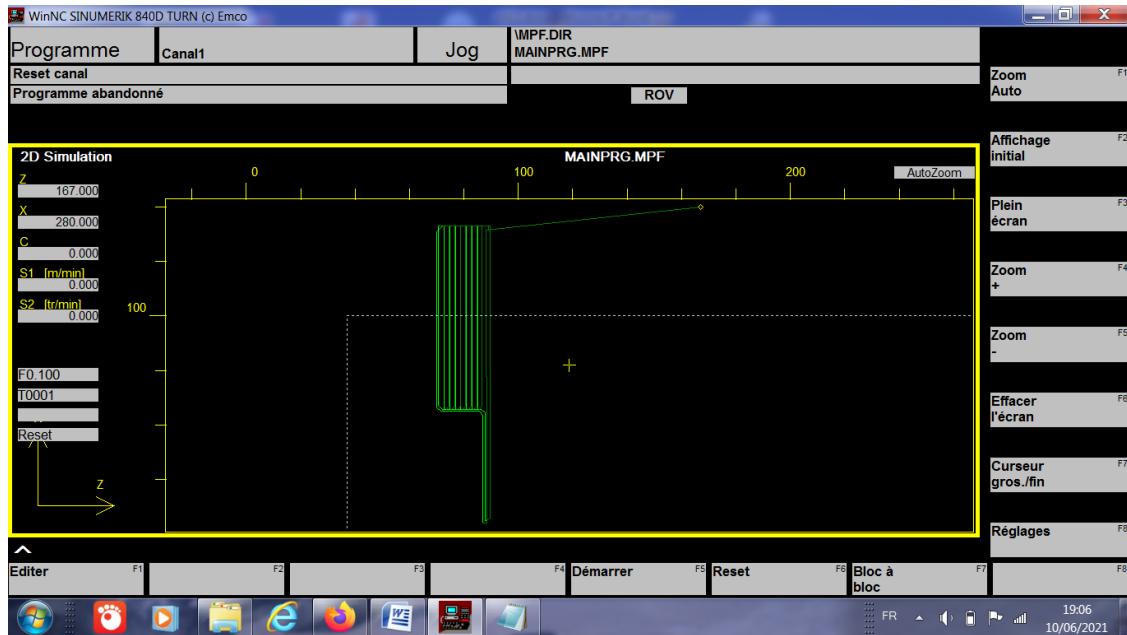


Fig. III.5 : Fenêtre du logiciel de commande Sinumerik WINNC 840D présentant la Simulation de la trajectoire de l'outil (couleur verte) pour l'usinage de mainpfg.mpf relatif à la Face1.

L'usinage de la deuxième face est assuré par le programme principal **Mainprgr2.mpf** qui fait appel aux sous programmes suivants:

1. **Face2dsq.spf** qui assure l'usinage de la 2^{ème} face grâce au **cycle de contournage cycle95(...)**.
2. **Diamext.spf** qui assure l'usinage du diamètre extérieur grâce au **cycle de contournage cycle95(...)**.
3. **Alesage2.spf** qui assure l'usinage du trou central étagé grâce au **cycle de contournage intérieur cycle95(...)**.

- **Le sous programme Face2dsq.spf**

```
N10 G0 X262 Z0
```

```
N20 G1 X116
```

```
N50 M17
```

```
;-----
```

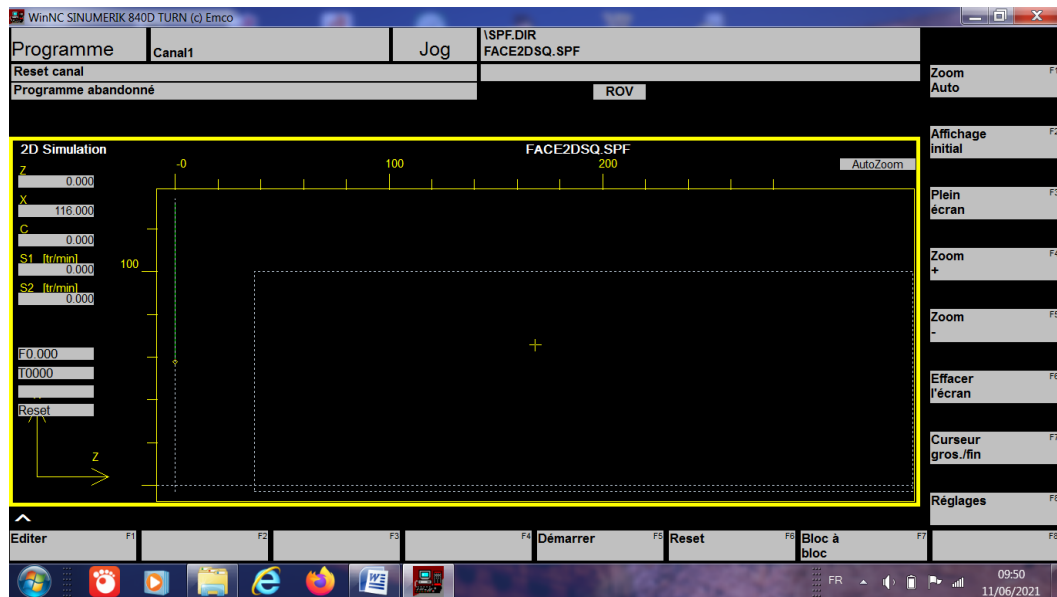


Fig. III.6 : Fenêtre du logiciel de commande Sinumerik WINNC 840D présentant la Simulation de la trajectoire de l'outil (couleur verte) pour l'usinage de la Face2ds.spf

Le sous programme DiamExt.spf

```
N10 G0 X262 Z0
N20 G1 Z-29
N50 M17
```

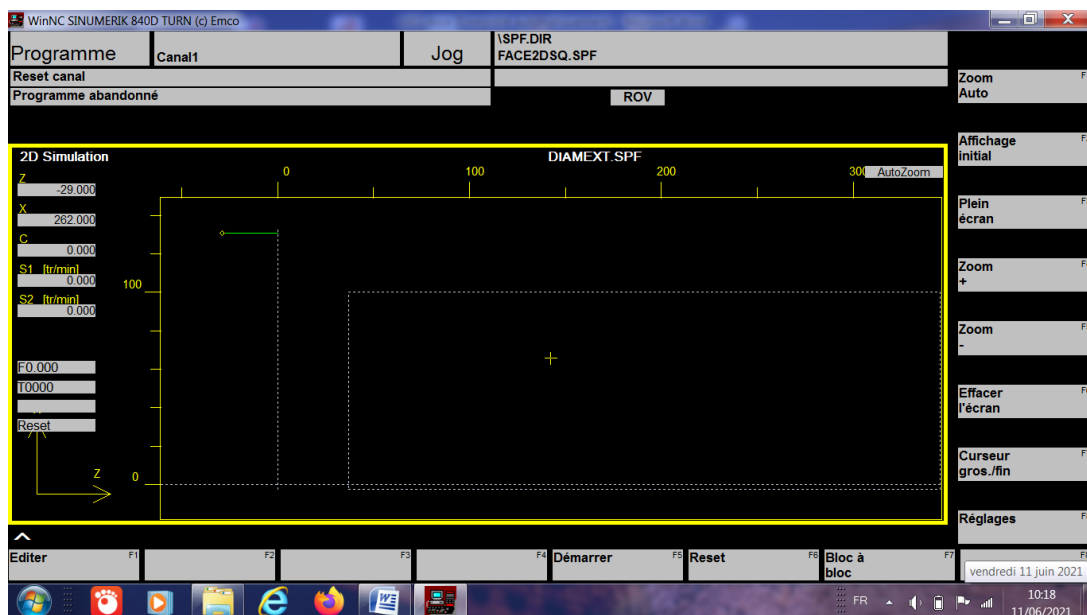


Fig III.7 : Simulation du diamètre extérieur: DiamExt.spf

Le sous programme Alesage2.spf

N10 G0 X110 Z0

N20 G1 X110 Z-19.5

N30 X-100 CHF=2

N40 Z-29.5 CHF=2

N60 M17



Fig. III.8: Fig III.5 : Simulation de l'alésage: Alésage2.spf

L'usinage des 6 trous excentrés de diamètre 16mm est assuré par l'activation du 2^{ème} broche. ceci exige que la machine choisie doit être équipée d'une tourelle à outils entraînés. Dans notre cas, on a pris le tour à Commande numérique EmcoPcTurn 325A pilotée par le logiciel de commande SinumerikWinNC 840D.

Le **cycle** de **perçage cycle83(...)** est appelé autant de fois que de trous.

L'arrêt de la broche principale est assurée par **SPOS[1]=0** et l'ordre de la rotation des forets est assurée par **SETMS(2)**.

Pour tous les trous sur la face 2 du disque, on a changé le repère d'usinage en coordonnées polaires, autant de fois que de trous.

III.6) Rédaction des différents programmes :

- Le programme principal Mainprg2.mpf pour la face2, le diamètre extérieur, l'alésage, le perçage de la série des 6 trous D16

N10 G54 TRANS Z37

N20 ;-----

N30 G96 S200 F0.2 LIMS=500

N40 T1 D1 M4 M6

N50 ;-----

N60 ;DRESSAGE FACE2

N70 G0 X268 Z2

N80 CYCLE95("FACE2DSQ",1.2,0.02,0.2,0.2,0.1,0.1,0.1,10,0,0,0)

N90 G0 Z100

N100 ; DEGAGEMENT DE L'OUTIL

;N110 ;-----

;N120 ;PERCAGE DU TROU DU CENTRE

;N130 G17

;N140 T2 D1 M4 M6

;N150 ; T2 OUTILS A ALESER

;N160 G0 X0 Z0

;N170 CYCLE81(2,,1,-45,0)

;N180 G18

;N190 ;-----

;N200 G0 Z100

;N210 ; DEGAGEMENT DU FORET

N220 ;ALESAGE DU TROU ETAGE DE CENTRE

N230 T3 D1 M4 M6

N240 ; T3 BARRE D'ALESAGE OU OUTIL A CHARIOTER ET A DRESSER

N250 G0 X110 Z2

N260 CYCLE95("ALESAGE2",1.5,0.3,0.3,0.3,0.2,0.2,0.2,11,0,0,0)

N270 X0 Z100

N280 ; DEGAGEMENT DE LA BARRE

N290 ;-----

N300 ; LES 4 TROUS DIAM 16

N310 G17 ; CHOIX DU PLAN XY POUR LES TROUS EXCENTRES

N320 DIAMOF

N330 T4 D1 ;FORET DIAM16

N340 SPOS[1]=0

N350 SETMS(2)

N360 S2=300 M2=3

N370 G95 S500 M3

N380 G0 X46 Z2 F0.1

N390 G1 Z-30 . Profondeur des trous diam16

N400 ;-----

N410 CYCLE83E(1,-30,-10,3,0,0,1,1) ; la profondeur du trou 16 est de 25 mais on fait 30

N420 Z2

N430 AROT Z90

N440 CYCLE83E(1,-30,-10,3,0,0,1,1)

N450 Z2

N460 AROT Z90

N470 CYCLE83E(1,-30,-10,3,0,0,1,1)

N480 Z2

N490 AROT Z90

N500 CYCLE83E(1,-30,-10,3,0,0,1,1)

N510 Z2

N520 N510

N530 ;-----LA GORGE SUR LE DIAM EXT

N540 T5 D1 ; T5 outil à gorger, largeur d'arête 6mm

N550 G0 X110

N560 X263 Z-9.5

N565 G01 X254

N568 G0 X264

N569 X300 Z 100

N570 ;-----

N580 G0 X100 Z10 M5

N590 SETMS(1)

N600 G18

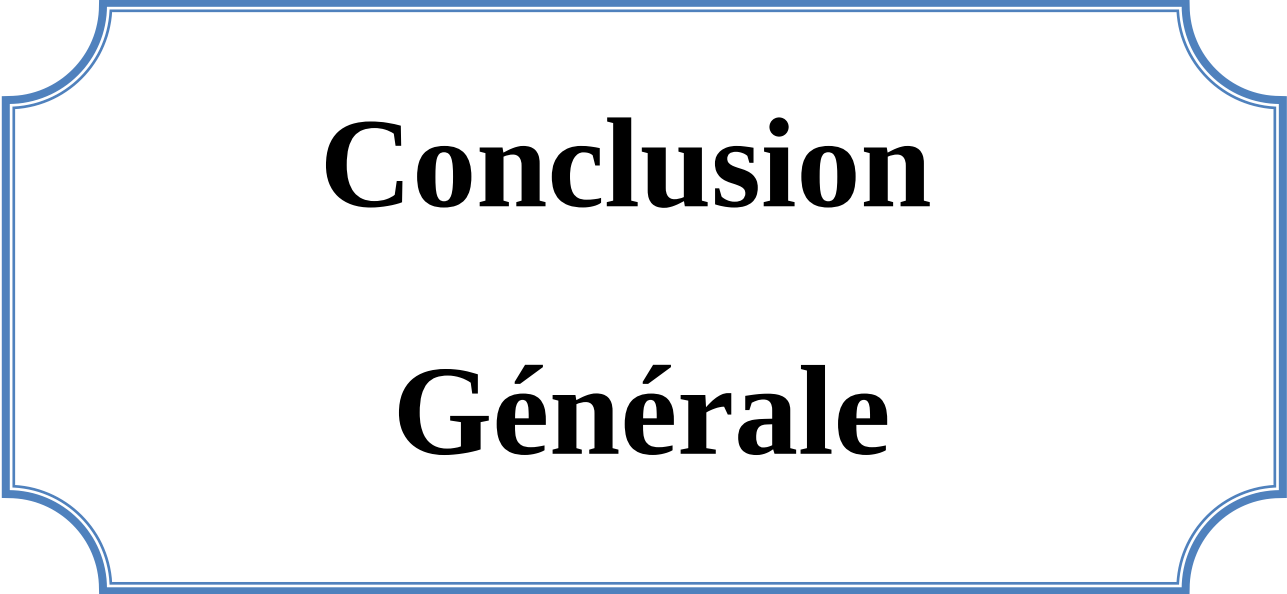
N610 M30



Fig. III.7 : Simulation du programme principale Master2.mpf lors de l'usinage de la face2, perçage du trou du centre, alésage du trou central étagé, la rangée des 6 trous ϕ 16mm et la gorge du diamètre extérieur.

III.7) Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appris les outils nécessaires à la fabrication du disque et avons simulé sa fabrication à l'aide du programme SINUMERIK WIN NC 840D



Conclusion

Générale

Conclusion générale

Dans ce travail, on a exposé les différents systèmes de frein utilisés dans les véhicules. Et comme nous visons spécifiquement le disque, on rassemblé beaucoup de connaissances sur ce dernier : Citons les différentes configurations géométriques (percés, rainurés,...). Les différents matériaux utilisés,... Dans le deuxième chapitre Nous avons comparé le disque plein et le disque ventilé et nous avons conclu que la ventilation radiale joue un rôle très important en refroidissement du disque en phase de freinage.

Le troisième chapitre est réservé à l'étude de fabrication du disque de frein. Dans cette partie on a choisi une variante de disque et après une analyse de fabrication, on a voulu montrer le pouvoir de la commande numérique pour résoudre ce type de problème. Ceci nous a conduit à développer et simuler un ensemble de programmes à commande numérique en utilisant le logiciel de commande Sinumerik Win NC 840D. Ce que nous recommandons pour la continuité de ce travail est le développement des parties théoriques en incluant l'effet de la température ce qui conduit à passer de l'élasticité à l'élasticité thermo.

Mots clés:

frein, disque, programme CNC

خاتمة عامة:

في هذا العمل ، كشفنا عن أنظمة الفرامل المختلفة المستخدمة في المركبات. وبما أننا نستهدف القرص على وجه التحديد ، فقد جمعنا الكثير من المعرفة حول هذا الأخير: دعونا نقتبس من التكوينات الهندسية المختلفة (مثقوب ، محفور ، ...) المواد المختلفة المستخدمة ، ... في الفصل الثاني قمنا بمقارنة القرص الصلب والقرص المتهوى وخلصنا إلى أن التهوية الشعاعية تلعب دورًا مهمًا جدًا في تبريد القرص أثناء الكبح.

الفصل الثالث مخصص لدراسة تصنيع قرص الفرامل. في هذا الجزء اخترنا متغير القرص وبعد تحليل التصنيع ، أردنا زيادة قوة التحكم العددي لحل هذا النوع من المشاكل. قادنا ذلك إلى تطوير ومحاكاة مجموعة من برامج CNC باستخدام برنامج التحكم Sinumerik Win NC 840D. ما نوصي به لاستمرارية هذا العمل هو تطوير الأجزاء النظرية من خلال تضمين تأثير درجة الحرارة التي تؤدي إلى الانتقال من المرونة إلى المرونة الحرارية

كلمات مفتاحية:

مكابح ، قرص ، برنامج CNC

Bibliographie

Bibliographie

- [1]. M. P. MIGNOLET, D. EICK, M. V. HARISH. Free vibration of flexible rotating disks. Journal of Sound and Vibration "1996
- [2]. NICOLAS MOËS. Mécanique des milieux continus. Cours. École centrale de Nantes.
- [3]. DE SILVA, CLARENCE W. "Frontmatter" Vibration: Fundamentals and Practice. Boca Raton: CRC Press. LLC, 2000.
- [4]. ABDUL HAMID MOHAMAD. Réponse forcée des ensembles tournants de turbomachines application au cas d'une turbine à gaz. Thèse de doctorat INSA de Lyon 2002.
- [5] Ameer Fareed Basha Shaik, Ch. Lakshmi Srinivas, "Structural and Thermal Analysis of Disc Brake With and Without Cross drilled Rotor of Race Car", International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, Vol.1, PP 39-43, 2012.
- [6] Guru Murthy Nathil, T N Charyulu, "Coupled Structural/ Thermal Analysis of Disc Brake" IJRET, Vol.2, PP 539-553, 2012.
- [7] Michal Kuciej, Piotr Grzes, "The Comparable Analysis of Temperature Distributions Assessment in Disc Brake Obtained Using Analytical Method and FE Model", Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.18, PP 236-250, 2011.
- [8] Ali Belhocine, Mostefa bouchetara, "Thermal behavior of dry contacts in the brake discs" international journal of automotive engineering, Vol.3, PP9-17, 2011.