



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR -KHENCHELA-
FACULTE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE
Département de Génie Mécanique



N° de série :.....

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité: Génie Mécanique

Option : Génie Mécanique

Analyse thermique d'un disque de frein pendant le processus de freinage

Réalisé par :

- *Ayeb Adel*
- *Lalaouna ramdane*

Membres de Jury :

Mr. S. Boulahrouz
Mr. R. Zaamouche

Encadré par :

Mr.Sid noureddine

2019/2020

REMERCIEMENT

Grâce à Dieu le tout puissant qu'ils m'ont accordé la patience et la volonté pour terminer ce travail ; merci mon Dieu.

Pour ce biais, nous adressons nos reconnaissances particulières à mes très chers parents et nos petites familles pour leurs soutiens et aide sans faille qu'ils nous ont apporté durant tout le cycle de nos scolarité.

Nous tenons à remercier chaleureusement mon respectueux directeur de mémoire Dr. SID NOUR EDDINE pour sa patience, ses conseils et sa grande disponibilité à tout moment au cours de la réalisation de ce travail.

nous remercions également tous les Enseignants du Département de Génie Mécanique et toutes l'équipes de département de génie mécanique ainsi tous les étudiants de Promotion

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et que l'on pas pus les citer.

**LALOUNA RAMDANE
AYEB ADEL**

Dédicaces

*Nous dédions ce travail à
Nos chers parents
Nos femmes
Nos enfants
Nos chers frères et sœurs.*

**LALOUNA RAMDANE
AYEB ADEL**

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Liste des figures | 8 |
| Liste des tableaux..... | 10 |
| Nomenclature..... | 11 |
| Introduction générale..... | 12 |
| Chapitre I :Généralités sur les disques de frein | |
| I.1-Introduction..... | 13 |
| I.2 Généralités le système de freinage..... | 14 |
| I.2.1 Fonction..... | 14 |
| I.2.2 Les différents types de frein a friction..... | 15 |
| a-Le frein à tambour..... | 16 |
| b- Frein à disque..... | 17 |
| I.2.3 Description d'un disque..... | 18 |
| I.2.4 Eléments d'un frein à disque..... | 19 |
| I.3 type des étriers..... | 21 |
| I.3.1 Frein à étrier coulissant..... | 21 |
| I.3.2 Frein à étrier fixe..... | 21 |
| I.4 Les différents Types de disque de frein..... | 22 |
| I.4.1 Le disque plein..... | 22 |
| I.4.2 Le disque percé, ventilé..... | 23 |
| I.4.3 Le disque en carbone..... | 23 |
| I.4.4 Les disques rainurés | 24 |
| I.4.5 -Les disques percés..... | 24 |
| I.4.6Le disque ventilé | 24 |
| I.5 Comparaison entre frein à disque et frein à tambour..... | 25 |
| I.5.1 Avantage..... | 25 |
| I.5.2 Inconvénients..... | 26 |
| I.6 les plaquettes..... | 26 |
| I.7 Problème des disques de frein..... | 27 |
| I.8 Les matériaux des disques de frein..... | 28 |
| I.8.1 Le disque..... | 28 |
| I.8.2 Les garnitures..... | 30 |
| I.8.3 Les supports..... | 30 |
| I.9Critères d'évaluation d'un system de frein..... | 30 |
| I.9.1 Efficacité..... | 31 |
| I.9.2 Confort..... | 31 |
| I.9.3 Endurance..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| I.9.4 Autres critères..... | 31 |
| I.10 Phénomènes thermique dans le disque..... | 32 |
| I .11 Phénomènes mécanique dans le disque..... | 32 |
| I .12 Matériaux conventionnels..... | 32 |
| I .12.1 Acier..... | 33 |
| I.12.2 Fontes..... | 33 |
| I.12.3 Carbone..... | 33 |
| I.13 Conditions d'utilisation | 34 |
| I.14.Conclusion..... | 34 |
| | |
| Chapitre II : Modélisation mathématique | |
| II. Généralités sur les transferts de chaleur..... | 36 |
| II.1 Introduction | 36 |
| II.2 Définition..... | 37 |
| II.2.1-Champ de température | 37 |
| II.2.2 - Gradient de température | 37 |
| II.2.3 -Flux de chaleur | 37 |
| | |
| II.3 Formulation d'un problème de transfert de chaleur | |
| II .3.1 Bilan d'énergie | 38 |
| II .3.2 Expression des flux d'énergie..... | 38 |
| a-Conduction..... | 39 |
| b-Convection..... | 41 |
| c-Rayonnement..... | 42 |
| | |
| II.4 Matériaux et méthodes..... | 42 |
| II.4 1 Définition du model..... | 43 |
| | |
| II.5 Etude thermique du frein à disque..... | 44 |
| II.5.1 Etude du contacte plaquette /disque..... | 44 |
| | |
| Chapitre III : Simulation numérique | |
| III. 1 Introduction..... | 47 |
| III. 2 Géométrie | 48 |
| III. 3 Maillage..... | 49 |
| III. 4 Matériaux..... | 49 |
| III. 5 Résultats de simulation..... | 51 |
| III. 5.1 L'influence de la vitesse initial..... | 51 |
| | |
| III. 5.2. L'influence de la mass..... | 55 |
| | |
| III.5.3 L'influence de température ambiante..... | 59 |

| | |
|--|----|
| III. 5.4Influence du type du matériau..... | 63 |
| III. 6 Conclusion..... | 68 |
| III. 7 Conclusion générale..... | 69 |
| III. 8 Bibliographie..... | 71 |

Liste des figures

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figure : I.1 | Schéma d'implantation du système de freinage | 11 |
| Figure : I.2 | Illustration d'un frein à tambour | 12 |
| Figure : I.3 | Fonctionnement d'un frein à tambour, au repos et lors du freinage | 13 |
| Figure : I.4 | Désignation des principaux éléments | 14 |
| Figure : I.5 | Exemples de freins à disque | 15 |
| Figure : I.6 | Désignation du disque plein | 16 |
| Figure : I.7 | Gorge calorifique | 17 |
| Figure : I.8 | Les éléments d'un frein disque | 17 |
| Figure : I.9 | Le système à étrier coulissant | 18 |
| Figure : I.10 | Le système à étrier fixe | 19 |
| Figure : I.11 | Le disque plein | 19 |
| Figure : I.12 | Le disque percé, ventilé | 20 |
| Figure : I.13 | Le disque en carbone | 20 |
| Figure : I.14 | Disque rainuré | 21 |
| Figure : I.15 | Disque percé | 21 |
| Figure : I.16 | Disque ventilé | 22 |
| Figure : I.17 | Différentes technologies de ventilation des disques | 22 |
| Figure : I.18 | Plaquette de frein | 24 |
| Figure : II.1 | Gradient de température | 34 |
| Figure : II.2 | Système et bilan énergétique | 35 |
| Figure : II.3 | Schéma du transfert de chaleur conductif | 37 |
| Figure : II.4 | Schéma du transfert de chaleur convectif | 38 |
| Figure : II.5 | Schéma du transfert de chaleur radiatif | 38 |
| Figure : II.6 | Modèle 3D du disque de frein et des plaquettes de frein (disque plein et ventilé) | 40 |
| Figure : II.7 | maillage d'un disque plein | 41 |
| Figure III.1 | Le modèle créé sur COMSOL (disque plein/ plaquette) | 48 |
| Figure III.2 | Maillage volumique de l'ensemble (disque/plaquette) | 49 |
| Figure III.3 | Les Matériaux du disque de frein | 49 |
| Figure III.4 | Les Matériaux de la plaquette | 50 |
| Figure III.5 | La répartition de la température du disque et plaquette | 51 |
| Figure III.6 | La répartition de la température du disque et plaquette | 51 |
| Figure III.7 | La répartition de la température du disque et plaquette | 52 |
| Figure III.8 | La répartition de la température du disque et plaquette | 52 |
| Figure III.9 | La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 53 |
| Figure III.10 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 53 |
| Figure III.11 | La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 54 |
| Figure III.12 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 54 |
| Figure III.13 | La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 55 |
| Figure III.14 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 55 |
| Figure III.15 | La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 56 |
| Figure III.16 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 56 |
| Figure III.17 | La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 57 |
| Figure III.18 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 57 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figure III.19 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 58 |
| Figure III.20 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 58 |
| Figure III.21 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 59 |
| Figure III.22 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 59 |
| Figure III.23 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 60 |
| Figure III.24 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 60 |
| Figure III.25 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 61 |
| Figure III.26 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 61 |
| Figure III.27 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 62 |
| Figure III.28 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 62 |
| Figure III.29 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 63 |
| Figure III.30 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 63 |
| Figure III.31 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 64 |
| Figure III.32 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 64 |
| Figure III.33 | La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$) | 65 |
| Figure III.34 | Variation de la température du D/P en fonction du temps | 65 |

Liste des tableaux :

| N° : | Titre | Page |
|------------------------|--|-------------|
| Tableau : I.1 | Composition du matériau acier inoxydable 28CrMoV5-08 | 30 |
| Tableau : I.2 | Composition et résistance des 03 sortes de fontes pour la conception des disques | 30 |
| Tableau : II.1 | Conductivité thermique de certains matériaux | 37 |
| Tableau : III.1 | PROPRIÉTÉS MATÉRIELLES. | 50 |
| Tableau : III.2 | Propriétés matérielles du disque et des plaquettes de frein | 63 |

NOMENCLATURE

MMC : Composite à matrice métallique
a : Diffusivité thermique[m² .s⁻¹]
Bi : Nombre de Biot
c : Chaleur spécifique[J.kg.k⁻¹]
D : Diamètre e Epaisseur
E : Effusivité thermique
f : Facteur de forme de rayonnement
F : Coefficient de forme de conduction
Fo : Nombre de Fourier
g : Accélération de la pesanteur
Gr : Nombre de Grashof
h : Coefficient de transfert de chaleur par convection
ΔH : Chaleur latente de changement de phase
I : Intensité énergétique
J : Radiosité
L : Longueur, Luminance
m : Débit massique
M :Emittance
Nu : Nombre de Nusselt
NUT : Nombre d'unités de transfert
P : Variable de Laplace
Pe : Périmètre Q Quantité de chaleur
Qc : Débit calorifique
r, R : Rayon, Résistance
Rc : Résistance de contact
Re : Nombre de Reynolds
S : Surface
t : Temps
T : Température
u : Vitesse
V : Volume
x, y, z : Variables d'espace Lettres grecques
α : Coefficient d'absorption du rayonnement
β : Coefficient de dilatation cubique
ε : Emissivité
φ : Densité de flux de chaleur
Φ : Transformée de Laplace du flux de chaleur
φ : Flux de chaleur
λ : Conductivité thermique, longueur d'onde
μ : Viscosité dynamique
ν : Viscosité cinématique
η : Rendement ou efficacité
Ω : Angle solide
ρ : Masse volumique, coefficient de réflexion du rayonnement
σ : Constante de Stefan-Boltzmann
τ : Coefficient de transmission du rayonnement
θ : Transformée de Laplace de la température

INTRODUCTION GENERALE

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 importants.

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.

Dans cette étude, on s'intéressera à la modélisation numérique du comportement thermique des disques de frein des véhicules en cours de freinage à l'aide du logiciel comsolmultiphysics 5.3.

L'objectif de cette thèse est de présenter une modélisation du comportement thermique du disques de frein.

La présentation de ce travail s'articule autour de trois chapitres :

Le chapitre I :présente une étude bibliographique fondée sur les disques de frein, la composition et les matériaux utilisés, ainsi que les différents phénomènes thermiques et mécaniques rencontrés.

Le chapitre II :consacré à la formulation analytique de l'équation de chaleur et les énergies tout endécrivant les modes de transfert thermique y intervenant.

Le chapitre III :porte sur la modélisation numérique du problème thermique du disque de frein et la mise en œuvre du logiciel comsolmultiphysics 5.3utilisé dans cette modélisation, ainsi que la présentation et à l'interprétation des différents résultats thermiques obtenus à l'aide du comsolmultiphysics 5.3

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale présentant une synthèse des résultats de simulation obtenus.

Chapitre I :

Généralités sur

Les disques de frein

I.1 Introduction

Grâce aux continuels progrès technologiques dans l'industrie du transport, 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 (grenailage, trempe par induction, etc.) génère de nouveaux types de frein et donc la nécessité de nouvelles études.

De plus, avec la concurrence industrielle toujours croissante, les problématiques changent, en plus du souci d'efficacité, de fiabilité et de confort, s'ajoute ceux du moindre coût et du délai de fabrication.

L'objectif pour l'ingénieur est de trouver le meilleur compromis entre ces exigences. Il s'agit alors remplacer, du moins, compléter les essais expérimentaux par des analyses numériques afin de tester plus de possibilités pour mieux s'approcher du meilleur compromis, réduire les coûts en fabriquant moins de prototypes et minimiser les durées d'étude en limitant le nombre d'essais.

I. 2 Généralités sur le système de freinage

I.2.1 Fonction

Le freinage automobile a pour fonction principale de ralentir la vitesse ou d'arrêter le véhicule en fonction des conditions de trafic. Le principe de base qui repose sur ce phénomène est de convertir l'énergie cinétique du véhicule en une autre forme d'énergie. Le phénomène du glissement est directement lié à la dissipation d'une part de cette énergie cinétique sous forme d'énergie vibratoire. La majeure partie de cette énergie est transformée en chaleur à l'aide d'un système de friction. Ce système de friction, qui agit sur les éléments en rotation, est placé dans chaque roue du véhicule. On demande au matériau de friction d'avoir des propriétés constantes malgré l'augmentation de température qu'il peut y avoir au cours du freinage.

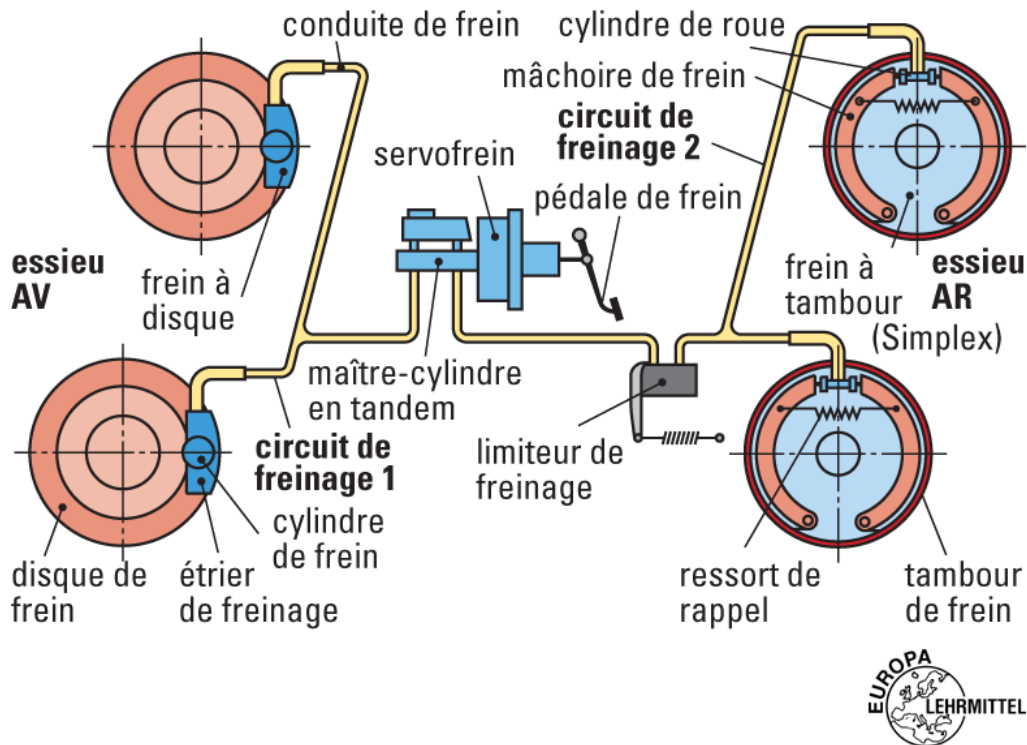


Figure.I.1 : Schéma d'implantation du système de freinage

Il existe aussi d'autres systèmes de freinage :

Freins aérodynamiques, freins rhéostatiques. ...Nous ne nous intéressons qu'aux freins à friction, très répandus dans l'industrie automobile, et qui sont les seuls à permettre à la fois le ralentissement et le maintien à vitesse constante des véhicules.

1.2.2 Les différents types de frein à friction

On compte aujourd'hui deux technologies principales qui sont utilisées pour le freinage automobile, à savoir :

- a- les freins à tambour,
- b -les freins à disque

a-Le frein à tambour

Cette technologie a été utilisée majoritairement sur les véhicules jusqu'à l'arrivée des freins à disque. Cela dit, son faible coût lui permet d'être toujours utilisée sur l'essieu arrière des véhicules, notamment en tant que frein de stationnement.

Une illustration de ce type de système est présentée à La figure I.2

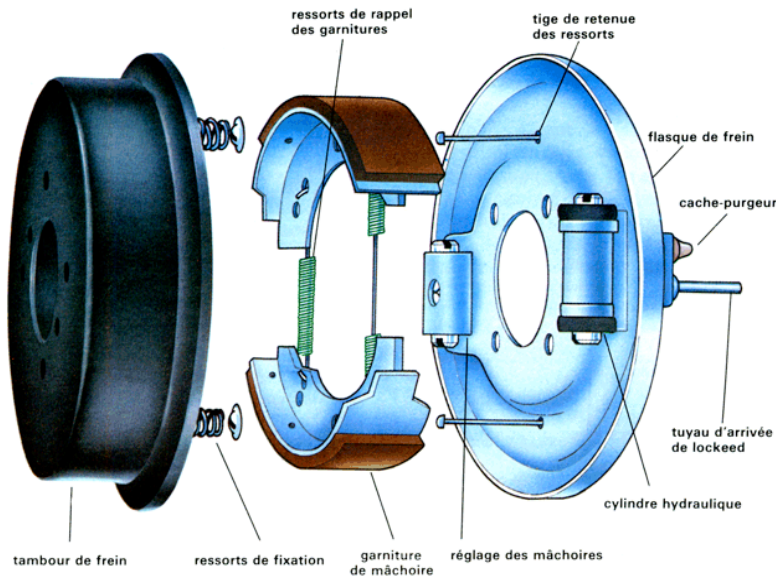


Figure I.2 : Illustration d'un frein à tambour

Fonctionnement

Le tambour est entraîné par la rotation de la roue. Les mâchoires, situées à l'intérieur de ce tambour, sont liées par un ressort de rappel qui les empêche, quand le conducteur n'appuie pas sur la commande de freinage, d'entrer en contact avec le tambour. Ces mâchoires sont recouvertes d'une garniture composée d'un matériau de friction. Une fois que le frein est actionné, le piston vient pousser les mâchoires qui pivotent et entrent ainsi en contact avec le tambour en rotation, ce qui a pour action de ralentir le véhicule C'est le ressort de rappel qui, en fin de freinage, permet d'éviter le blocage des roues en décollant les mâchoires du tambour.[3]

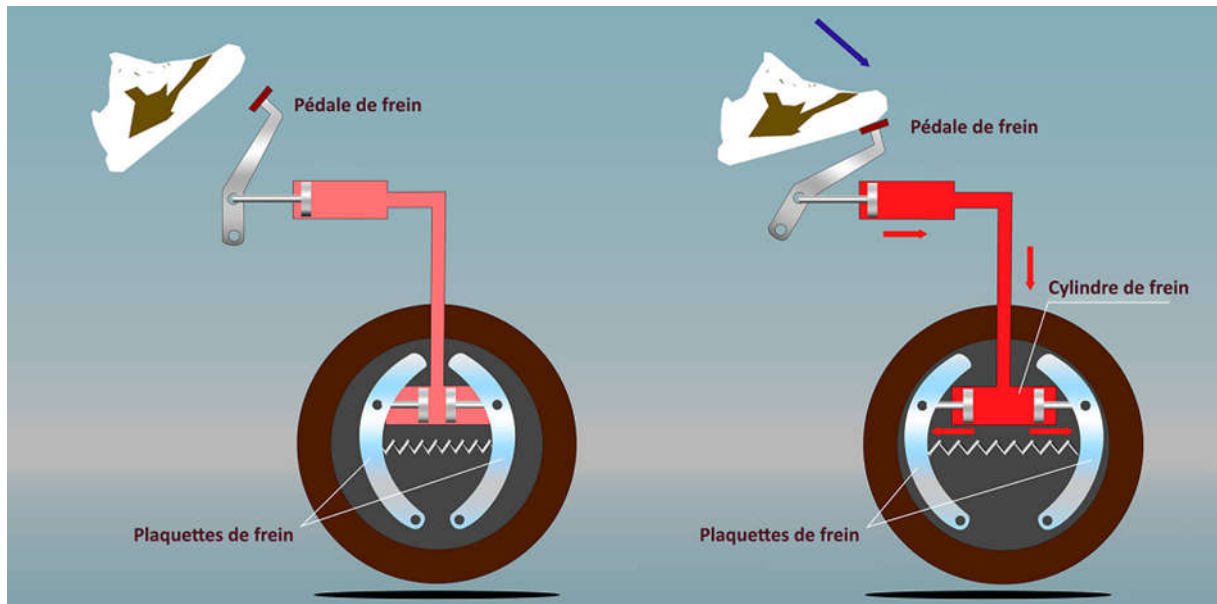


Figure I.3 : Fonctionnement d'un frein à tambour, au repos et lors du freinage

b-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 divers machines. Ce système transforme l'énergie cinétique du véhicule en chaleur.

Le frein à disque (Fig. I.4) 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

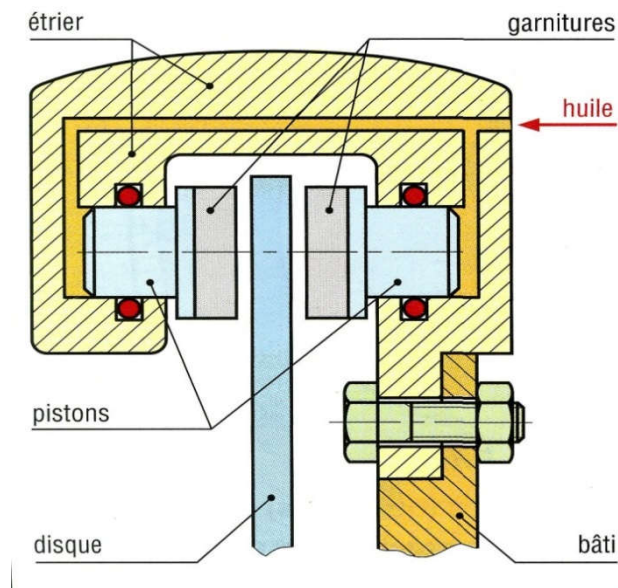


Figure. I.4 : Désignation des principaux éléments

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.5)

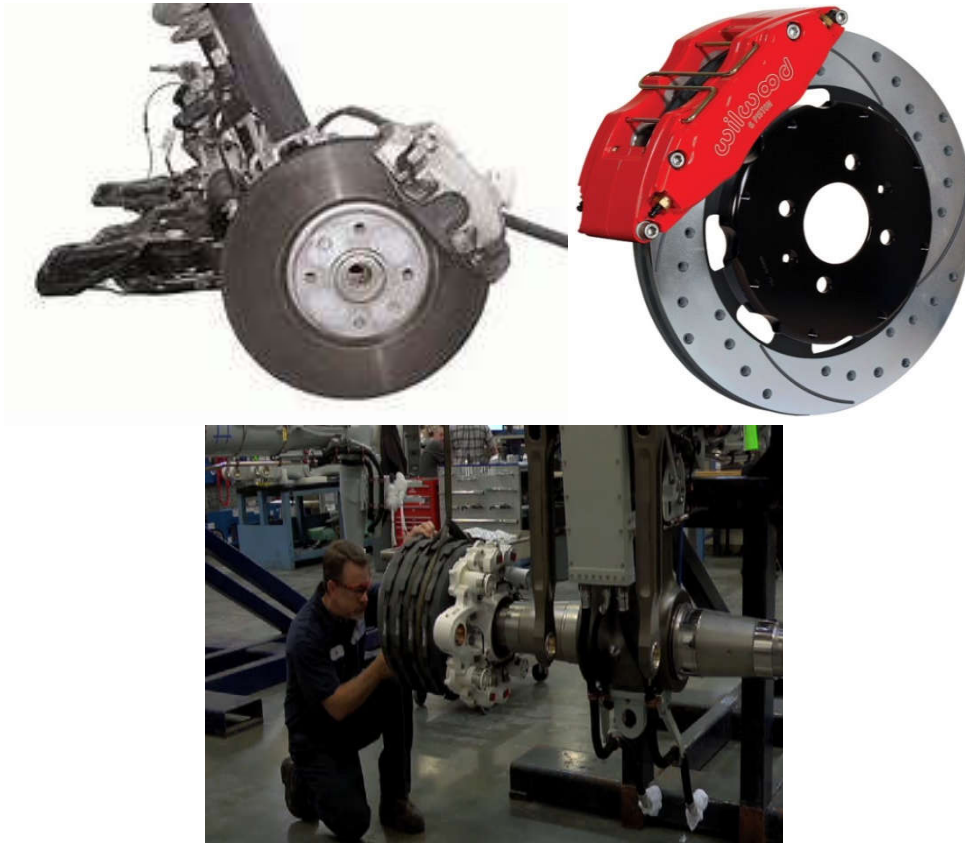


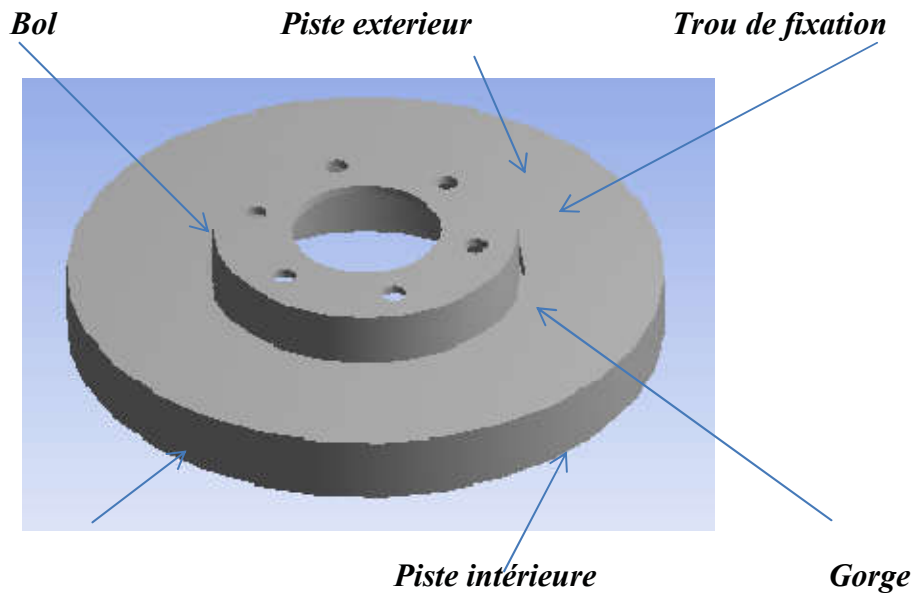
Figure. I.5 : Exemples de freins à disque.

I .2.3 Description d'un disque

Le disque est constitué d'un anneau plein avec deux pistes de frottement (Fig. I.6), 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.

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.



Couronne extérieure

Figure. I.6: désignation du 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.

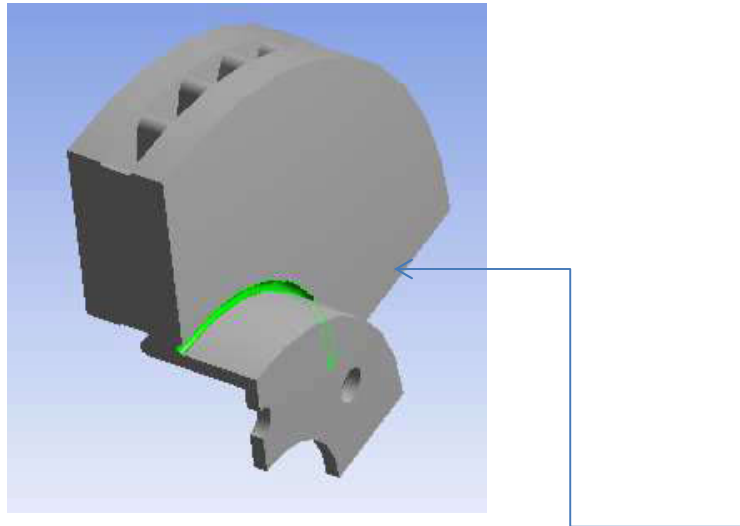
On peut parfois voir apparaître une fissure circumférentielle (du côté externe et/ou du côté interne du disque) qui se propage et provoque la rupture brutale du bol.

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.7).

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.



gorge calorifique

Figure I.7: Gorge calorifique.

I.2.4 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 illustrées sur la figure .I.8 :

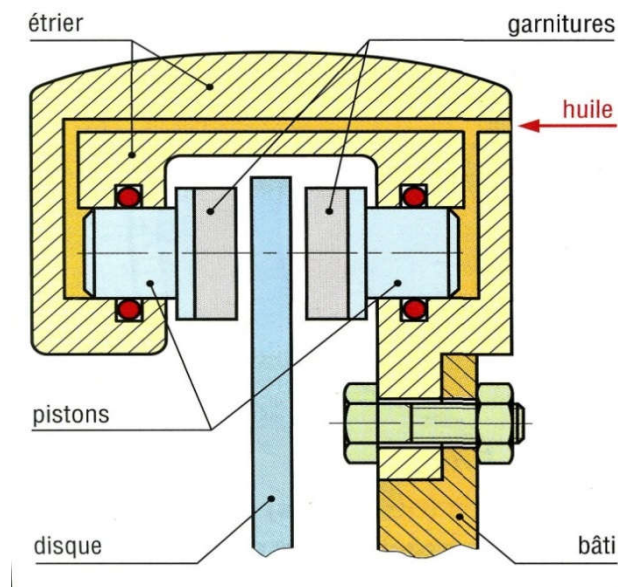


Figure. I.8 : Les éléments d'un frein disque.

I.3 TYPES DES ETRIERIERS

I.3.1 Frein à étrier coulissant

Lorsque le véhicule est en mouvement, le disque est en rotation. Dans le cas d'un système à étrier coulissant (Fig. I.9), pendant la phase de freinage, un circuit hydraulique commandé par la pédale de frein actionne le piston qui presse la première plaquette (plaquette interne) contre le disque. Lorsque celle-ci est en contact avec le disque, l'étrier se déplace par réaction grâce à un système de coulissage et entraîne la seconde plaquette contre le disque.

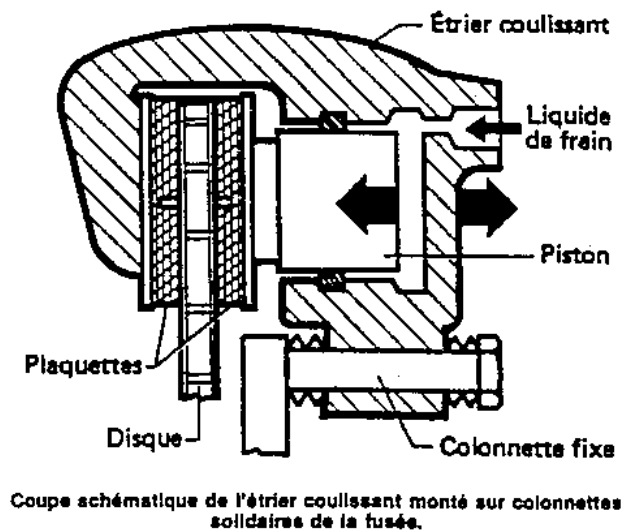
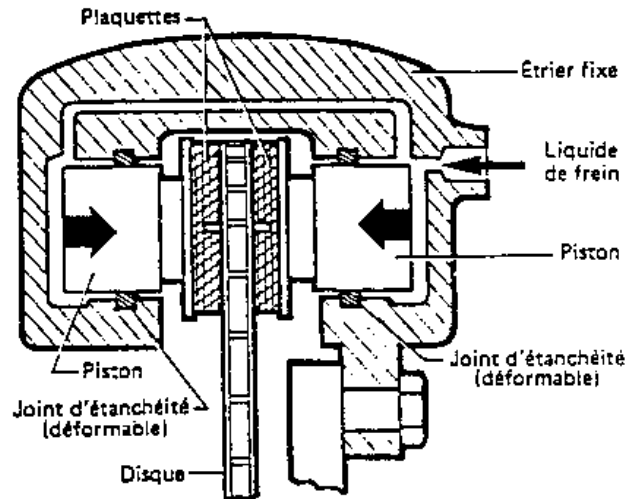


Figure. I.9 : Le système à étrier coulissant.

I.3.2 Frein à étrier fixe

Dans le cas de l'étrier fixe, qui est rigidement attaché à l'essieu et qui comporte deux pistons opposés alimentés par un même circuit hydraulique, les deux pistons viennent presser les deux plaquettes sur le disque lors de la mise en pression (Fig. I.10). L'avantage de ce dispositif par rapport à l'étrier coulissant est la moindre quantité de liquide mise en jeu (puisque chaque piston ne parcourt qu'une de mi-distance).



Coupe simplifiée d'un étrier fixe. Les pistons disposés de chaque côté du disque agissent directement sur une plaquette.

Figure I.10 : Le système à étrier fixe.

I.4. Les différents Types de disque frein

Le disque, solidaire de l'axe de roue, tourne à la même vitesse que celle-ci. Plus la quantité d'énergie cinétique convertie en chaleur sera élevée, plus le freinage sera efficace. Cependant, il ne faut pas que l'échauffement des pièces du système dû à cette dissipation d'énergie ne vienne influencer sur les performances du freinage. On trouve donc dans la conception des disques de nombreuses solutions pour dissiper cette chaleur. L'introduction d'une cloche de montage permet d'augmenter la surface globale du disque ce qui facilite le refroidissement. [2]

I.4.1 Le disque plein. (Le plus courant)



Figure I.11 : Le disque plein.

I.4.2 Le disque percé, ventilé

Il est utilisé sur des véhicules de sport et en compétition



Figure I.12 : Le disque percé, ventilé.

I.4.3 Le disque en carbone

Il est utilisé en Formule 1 et pour des véhicules de prestige



Figure I.13 : Le disque en carbone

I.4.4 Les disques rainurés



Figure I.14 : Disque rainuré.

I.4.5 Les disques percés



Figure I.15 : Disque percé.

I.4.6 Le disque ventilé

Il permet de mieux dissiper la chaleur de plus, il existe désormais des disques appelés ventilés dont différentes configurations sont présentées à la figure I.16. La piste de frottement n'est plus une pièce volumique pleine, elle est creusée de nombreux canaux qui, avec la rotation, facilitent l'écoulement d'air permettant le refroidissement du disque. Les disques sont majoritairement faits en fonte grise, ce qui leur confère une très bonne tenue à l'usure.

On trouve certaines applications spécifiques de disque en carbone, notamment pour la compétition automobile. Cependant, leur performance n'est observée que pour de très hautes

températures, causées par d'importantes puissances de freinage. Cela ne représente donc pas les cas d'application les plus communs dans l'industrie automobile



Figure I.16 : Disque ventilé.



Figure I.17 : Différentes technologies de ventilation des disques.

I.5 COMPARAISON ENTRE TAMBOUR ET DISQUE

I.5.1 Avantages

Par rapport aux freins à tambour, les freins à disque se distinguent par les avantages suivants [4] :

- _ 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.5.2 Inconvénients

Les inconvénients des freins à tambour se résument comme suit [4] :

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

I.6 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) [10]. Les plaquettes de frein automobile comportent des rainures (Fig.I.18). 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.

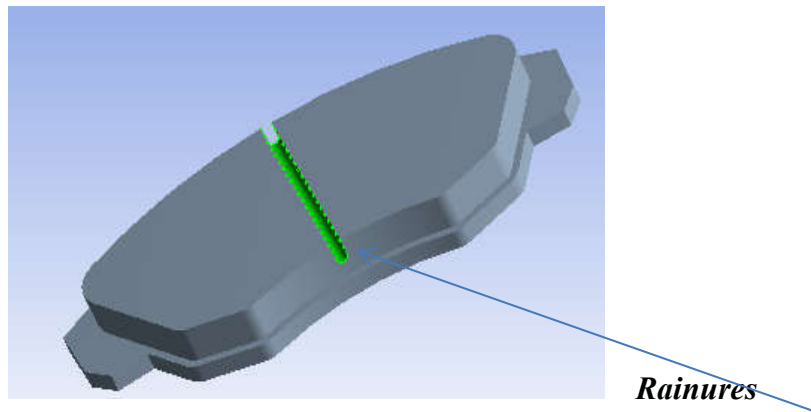


Figure I.18 : Plaquette de frein.

Une température trop élevée peut entraîner une perte d'efficacité presque totale du freinage.

La fabrication de la plaquette nécessite l'application de plusieurs techniques [9]:

- Support métallique** : obtenu par découpage (découpage fin pour la première monte) il subit des opérations de nettoyage et de grenailage.
- Matériau de friction** : pesage mélange (et remélange).
- L'ensemble**: cuisson, cautérisation (pour la première monte), rectification et peinture.
- Personnalisation**: plaque antibruit, marquage

I.7 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 la méthode de calcul fondamental qui prend 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 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.

1.8 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.

1.8.1 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 utilisée dans l'industrie automobile. En effet, la fonte est peu chère, se fabrique 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.

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 bimatière avec un moyeu (ou bol) en aluminium ou acier et une piste de freinage (couronne) en carbone-céramique vissée ou rivetée. Ces disques sont particulièrement coûteux mais plus légers et plus résistants à l'usure, à la corrosion et aux hautes températures.

Les disques de frein constituent la partie du frein à disque qui tourne avec la roue et il est très important à la fois en ce qui concerne la puissance de freinage en ce qui concerne à la fois la manipulation et l'utilisation du milieu.

fonte, Ces freins sont utilisés sur les véhicules à moteur et, en général, la concentration de carbone varie en fonction de la prédisposition d'utilisation. Ils sont complètement disparus du panorama moto des applications dans lesquelles il est utilisé comme fonte, ceci pour des raisons de poids: en fait, on essaie de réduire l'épaisseur des disques et au-dessous d'une certaine valeur la fonte devient dangereuse à utiliser.

Inoxydable, les disques sont formés à partir d'un alliage tel que du carbone et d'autres matériaux qui peuvent modifier ses caractéristiques, ce qui rend cette fracture d'alliage en deux catégories principales:

Acier au carbone (Carbone de l'acier), je suis aciers où l'alliage est principalement composé de fer et de carbone, tandis que les autres matériaux sont présents dans des pourcentages faibles ou absentes, utilisés pour des produits plus performants, ce qui nécessite toutefois un traitement de protection de galvanisation si non utilisés, ceux-ci Les aciers permettent plus d'énergie de freinage et une meilleure résistance aux contraintes mécaniques.

Acier inoxydable, ont une forte concentration de chrome et l'alliage est le plus souvent utilisé pour la route et les motos hors route, car ils sont des disques qui viennent plus facilement et rapidement à la température, aussi il est également utilisé pour des raisons esthétiques compte tenu du fait qu'il est difficile à la rouille.

Céramique ou carbo Céramique [14], ne sont utilisés que par quelques-uns des constructeurs automobiles les plus renommés (comme Porsche, connu sous l'acronyme est synonyme de P.C.C.B. Porsche frein composite céramique) et sont généralement en option à un coût de près de 10 000 euros. Les disques en carbone-céramique sont structurellement similaires à ceux de carbone, mais ont des surfaces chargées de silice. De cette façon, vous obtenez un disque de lumière tel que le carbone, mais avec une surface dure qui permet de faire travailler sur le frottement des plaquettes en carbo-composite. De cette façon, vous obtenez un grand coefficient de frottement, et une vie puissante du système de freinage de plus de 100.000 km. sur les voitures Porsche le système de freinage procure une performance de freinage supérieure à tout autre matériau utilisé ainsi que d'avoir une plus grande résistance à l'effet de « fading ». Un système similaire est également offert pour les voitures Ferrari, Lamborghini et d'autres maisons de luxe. Ils sont faits de carbure de silicium.

Carbone ou carbone-carbone, ces freins sont utilisés presque exclusivement dans les compétitions, depuis pour générer une force de freinage nécessite des températures élevées. Le choix du carbone est dû à une particularité: son coefficient de friction augmente lorsque la température augmente, c.-à-freins mieux quand il est chaud (par opposition à l'acier). Il est évident que l'avantage en termes de performance que l'acier. Le freinage se produit en raison de la « fusion » des plaquettes de disque dont les pièces jonction sont littéralement arrachée lors d'un freinage.

Faire usage de la Formule 1, LMP1 et Moto GP. Ils sont fabriqués avec du carbone sous forme de fibres (non graphitisé) et immergés dans une matrice graphitique.

Aluminium Il a été utilisé avec un revêtement de plasma dans certaines compétitions des années 80 pour réduire le poids total.

MMC (Composite à matrice métallique) le traitement des matériaux métalliques renforcés par des fibres ou des particules, ce qui permet des métaux qui ont normalement un plus grand coefficient de frottement par rapport aux métaux ferreux, mais une très faible durabilité et une résistance à la fatigue d'obtenir des performances bien supérieures à la fatigue et à l'usure, sans perdre de la puissance de freinage, sinon augmenter davantage.

I.8.2 Les garnitures

Pour les garnitures, on cherche un matériau qui génère un bon coefficient de frottement (le plus élevé possible et le plus constant possible, quelles que soient les variations de températures, de pression ou de vitesse).

Il faut cependant souligner que le comportement de friction dépend aussi du matériau qui compose l'autre structure flottante, à savoir le disque, des conditions d'appui de la plaquette. On veut aussi limiter les problèmes d'usure, de corrosion et de bruit (qui est un problème classique de pièces flottantes sur des solides en mouvement). Bien sûr, il y a aussi des contraintes de coût. Les garnitures sont faites de matériaux dits de friction. Ceux-ci sont composés d'abrasifs et de lubrifiants, d'élastomères, de poudre de métaux et autrefois, d'amiante.

I.8.3 Les supports

Les supports sont fabriqués avec un acier doux. Leur rôle est de répartir l'effort exercé par le piston hydraulique sur la totalité de la surface des garnitures, dans le but d'obtenir une surface de contact disque/plaquette la plus large et la plus homogène possible. Cela constitue un des critères de bon fonctionnement du frein.

Le support est la pièce intermédiaire entre les garnitures et le piston. Elle transmet donc la chaleur des garnitures (qui peut être élevée) vers le liquide dans le piston. Afin d'éviter ce phénomène, on utilise parfois des sous-couches qui servent d'isolant thermique.

Ces sous-couches permettent aussi d'absorber une partie des bruits et des vibrations engendrés par le système de frein à disque.

I.9 CRITERES D'EVALUATION D'UN SYSTEME DE FREINAGE

Le frein à disque doit répondre à différents types d'exigence, dont les principaux sont :
L'efficacité de freinage, l'endurance du système et le confort d'utilisation.

I.9.1 Efficacité

L'efficacité du frein se mesure par son aptitude à arrêter un véhicule en mouvement, sur une distance minimale, quelles que soient les conditions extérieures. L'effort qui sert à ralentir la rotation du disque doit donc être le plus élevé possible. En d'autres termes, il faut optimiser l'effort tangentiel issu du frottement des plaquettes sur le disque. Ainsi, plusieurs paramètres interviennent : **la pression de contact, la surface de frottement et le coefficient de frottement.**

Plus ces valeurs sont élevées, plus la distance d'arrêt du véhicule est faible.

La pression de contact disque/garnitures dépend essentiellement de la pression hydraulique dans le piston. Celle-ci varie entre 0 *bar* et 80 *bars* pour une voiture particulière.

La pression de contact dépend aussi de l'état de surface des deux pièces frottantes, de l'usure, des rigidités des matériaux, des dilatations thermiques, etc.

I.9.2 Confort

Les problèmes de confort rencontrés avec le frein à disque résident dans l'apparition de bruits et de vibrations dans certaines configurations de freinage. Théoriquement, les vibrations et les bruits sont reliés puisque le bruit est toujours engendré par des vibrations.

Cependant, on appelle communément **vibrations** les vibrations qui sont ressenties autrement que par les bruits. Dans le problème du frein, il s'agit principalement des vibrations de la pédale de frein et du volant. Elles sont essentiellement dues aux chocs entre le disque et les plaquettes et sont donc liées à la vitesse de rotation de la roue. Les fréquences de ces vibrations varient de quelques hertz à quelques centaines de hertz.

Les **bruits** sont générés par les instabilités du frottement des plaquettes contre le disque. Le frottement est donc ce qu'on appelle l'excitation du bruit. Le résonateur (la pièce vibrante) est le plus souvent le disque, mais il peut arriver que ce soit la plaquette ou l'étrier ou encore une autre pièce de l'assemblage.

I.9.3 Endurance

Un autre critère d'évaluation d'un frein à disque est son endurance. Plus précisément, il s'agit de garantir dans la durée l'ensemble des fonctions du système, éviter toute avarie dangereuse et définir un seuil d'usure à partir duquel les pièces doivent être changées. Pour dimensionner un disque de frein, il faut alors connaître les avaries susceptibles d'apparaître.

I.9.4 Autres critères

D'autres critères entrent en ligne de compte lors de la conception d'un frein : son coût (matière première, facilité de fabrication, etc.), son encombrement (on veut le réduire au minimum), son poids (plus un véhicule est léger, plus la vitesse maximale est élevée, et plus la consommation de carburant par kilomètre est faible).

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) ;
- _ Les gradients dans la gorge du disque.

I.11 PHENOMENES MECANIQUES DANS LE DISQUE

Les phénomènes mécaniques peuvent être classés en trois catégories :

- _ 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
- _ Le contact entre le disque et les plaquettes
- _ L'usure

I.12 MATERIAUX CONVENTIONNELS : ACIERS, FONTES

I.12.1 Acier

L'acier et la fonte sont les matériaux utilisés le plus couramment de nos jours dans l'industrie automobile. Les aciers sont des aciers inoxydables austénitiques tel que un X2 Cr Ni Mo 17-12 (ancienne désignation : Z2 CND 17-12 soit 0,02% de carbone, 17% de chrome et 12% de nickel ainsi que des traces de molybdène). Les propriétés mécaniques de ces aciers sont une grande ductilité ainsi qu'une grande résilience, en particulier à haute température.

Tableau I.2: Composition du matériau acier inoxydable 28CrMoV5-08 : [19]

| | C | Cr | Mo | V | Mn | p | S | Ni | Si |
|-------------|---------|---------|---------|----------|---------|--------|--------|------|---------|
| Elément (%) | 0.2-0.3 | 1.2-1.6 | 0.6-0.9 | 0.2- 0.4 | 0.5-0.9 | <0.015 | <0.007 | <0.4 | 0.4-0.1 |

I.12.2 Fontes

Les fontes à forte teneur en carbone sont aussi les matériaux les plus couramment utilisés dans l'industrie automobile, le tableau ci-après donne les compositions des alliages en fontes (FG) destinés à la fabrication des disques de frein.

Tableau. I.1 : Composition et résistance des 03 sortes de fontes pour la conception des disques

| Eléments de l'alliage | FG 25 alliée | FG 20 HC | FG 20 HC |
|-----------------------|--------------|---------------|-------------|
| C% | % 3.0 à 3.5 | 5 3.62 à 3.68 | 3.7 à 3.9 |
| Si% | 1.9 à 2.4 | max 2.1 | 1.8 à 2.2 |
| Mn% | % 0.6 à 0.9 | 0.65 à 0.80 | 0.5 à 0.8 |
| P% | max 0.12 | max 0.085 | max 0.12 |
| S% | max 0.10 | max 0.095 | max 0.10 |
| Cr% | 0.2 à 0.4 | 0.18 à 0.3 |0.1 |
| Mo% | 0.3 à 0.5 | 0.3 à 0.45 | - |
| Cu% | 0.2 à 0.3 | 0.3 à 0.45 |0.25 |
| Ni% | 0.1 à 0.3 | - - | - - |
| Ti% | - | 0.03 à 0.05 | - |
| Sc% | 0.82 à 1.01 | 1.0 à 1.03 | 1.01 à 1.10 |
| Dureté HB 30,750/5 | - | 180 à 225 | 160 à 200 |
| Rm N/mm | 250 à 300 |200 |150 |

I.12.3 Carbone

Le matériau composite qu'est le carbone a été découvert en 1958, à la suite de la pyrolyse d'une fibre composite avec une matrice organique. Ce matériau, composé d'un renforcement de carbone et d'une matrice carbone, ont été développés dans un premier temps pour une application dans le domaine aéronautique.

Les disques en carbone sont dotés des propriétés suivantes :

Un coefficient de frottement exceptionnel quelle que soit la température.

- _ Ils possèdent une grande stabilité physico-chimique, même à des températures supérieures à 1000°C.
- _ Ils ne sont pas sensibles aux chocs thermiques (dilatation négligeable) ou à la fatigue mécanique.
- _ Ils sont invulnérables à l'oxydation jusqu'à 500°C. Une couche anti oxydation permet une protection à plus haute température.
- _ Ils ont une capacité d'absorption thermique double de l'acier.
- _ Ils ont des caractéristique mécaniques spécifiques (comparable, quelle que soit la température, à l'aluminium quand il est froid) qui augmentent avec la température jusqu'à 2000° C.

I.13 Conditions d'utilisation

De façon à fonctionner avec le meilleur rendement et durer le plus longtemps possible, les températures des disques doivent être correctes et équilibrées. En général, les disques d'un véhicule devraient tous fonctionner à des températures identiques [13]. La température maximale du disque doit être accordée avec la qualité des plaquettes utilisées. Les faces du disque ne doivent pas dépasser les températures maximales recommandées pour chaque type de plaquette.

I.14.Conclusion

Historiquement, le premier matériau utilisé pour la fabrication des disques de frein était la fonte grise qui se distingue par une bonne conductivité thermique, une bonne résistance à la corrosion, par une faible émission de bruit au cours du freinage, un faible poids, une longue durée de vie, un frottement équilibré, un taux d'usure relativement bas.

Depuis plus d'un siècle, un grand nombre de matériaux de disques de frein a été développé, dont le plus fréquemment utilisé est la fonte grise vu ses qualités tribologiques citées précédemment. De nos jours, une grande importance a été accordée à l'étude du comportement tribologique et en fatigue de nouveaux matériaux de disques de frein tels que les composites, les céramiques et les alliages à base de fonte grise.

Chapitre II :

Modélisations

Mathématique

II. GENERALITES SUR LES TRANSFERTS DE CHALEUR

II.1 Introduction

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre. La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final.

Comme cela est bien connu, le système de freinage est utilisé pour amener le véhicule à s'arrêter ou à ralentir. L'énergie cinétique du véhicule est transformée en énergie thermique.

Les disques de frein et les plaquettes de frein absorbent la plus grande partie de cette énergie et, par la suite, cette énergie est dissipée dans l'environnement.

Actuellement, plus de 2000 matériaux et leurs variantes sont utilisés dans la fabrication de composants de frein.

Un disque de frein est généralement en fonte ou en composite céramique, tandis qu'un patin de frein est en matériau de friction.

Pendant le processus de freinage, la température, en raison du frottement entre un disque de frein et des plaquettes de disque, peut avoir des valeurs comprises entre 200 et 800 ° C .

La génération de chaleur est fonction de la masse du véhicule, du coefficient de frottement, des propriétés thermo physiques du matériau, de la vitesse et du taux de décélération.

II.2 Définition:

– **La chaleur** : c'est une forme d'énergie qui correspond à l'échelle microscopique à l'agitation des particules (énergie cinétique des électrons et atomes).

– **La température** : c'est un moyen de quantifier cette agitation. Il y a une relation entre quantité de chaleur et température. Les notions de quantité de chaleur et de température sont définies par la thermodynamique dans ses principes mêmes :

1 ère principe : L'énergie ne peut être ni créée, ni détruite, elle peut seulement se transformer d'une forme à une autre.

2 sème principe: La chaleur se propage du système le plus chaud vers le système le plus froid spontanément (tendance à l'uniformisation des températures).

II.2.1 Champ de température :

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas:

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire

II.2.2 Gradient de température :

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température : (1.1) Figure 1.1 : Isotherme et gradient thermique Avec :

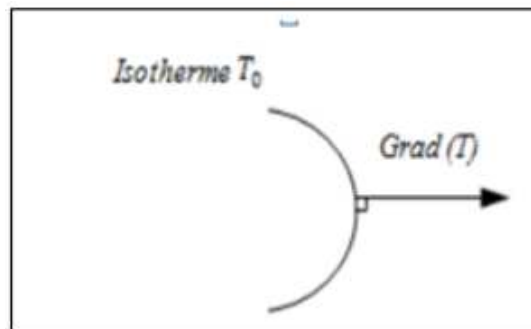


Figure II.1:Gradient de température.

$$\vec{\text{grad}}(T) = \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n}$$

Avec:

\vec{n} vecteur unitaire de la normale

$\frac{\partial T}{\partial n}$ Dérivée de la température le long de la normale

II.2.3 Flux de chaleur :

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur :

$$\Phi = \frac{1}{s} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (1.2)$$

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} \quad (1.3)$$

II.3 Formulation d'un problème de transfert de chaleur :

II.3.1 Bilan d'énergie :

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être

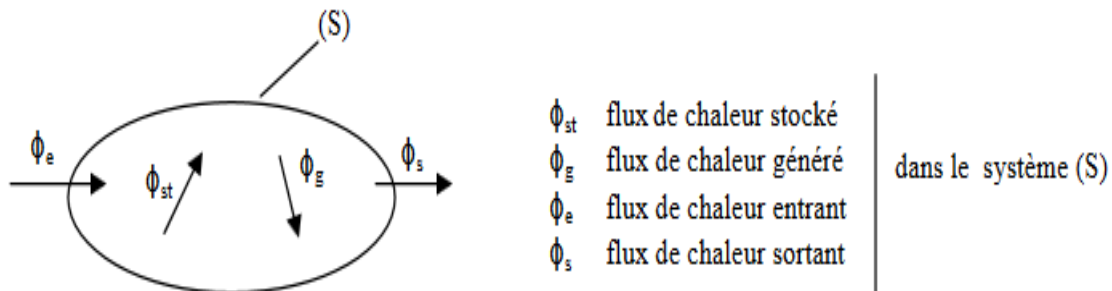


Figure II.2 : Système et bilan énergétique.

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$\Phi_e + \Phi_g = \Phi_s + \Phi_{st} \quad (1.4)$$

II.3.2 Expression des flux d'énergie

Il faut ensuite établir les expressions des différents flux d'énergie. En reportant ces expressions dans le bilan d'énergie, on obtient l'équation différentielle dont la résolution permet de connaître l'évolution de la température en chaque point du système. La dissipation de chaleur se fera via:

- Conduction à travers l'ensemble de freinage,
- Radiation vers les composants à proximité,
- Convection à l'atmosphère.

La dissipation de chaleur par conduction sur les composants à proximité peut entraîner des joints endommagés, une vaporisation du liquide de frein ou des roulements de roue endommagés.

La quantité totale de dissipation thermique par rayonnement représente moins de 5% de la dissipation thermique totale [19].

La dissipation de chaleur la plus importante se produit par convection dans l'atmosphère.

En utilisant la loi de Newton du refroidissement, la convection peut être exprimée comme:

$$Q = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

Où Q est le taux de transfert de chaleur, h le coefficient de convection, A_s la surface du disque, T_s la température de surface et T_∞ est la température de l'air ambiant.

Afin de maximiser le transfert de chaleur d'un disque de frein et de maintenir la température du disque au minimum, la valeur de la surface A_s ou la valeur du coefficient de convection h doit être augmentée.

L'utilisation d'un disque de frein ventilé augmentera la surface car il y a une surface supplémentaire exposée à l'atmosphère qui conduira à un meilleur refroidissement [20].

La méthode des éléments finis permet d'analyser la conduction thermique dans le système de freinage à disque.

Notre tâche était d'étudier la génération et la dissipation de chaleur dans un frein à disque pendant un freinage de panique pendant deux secondes et après une période de relâchement de six secondes à l'aide de *COMSOL Multiphysics 5.3*.

La voiture (1600 kg) roule initialement à 90 km / h. Soudain, le conducteur actionne les freins pendant deux secondes, puis relâche les freins pendant 6 secondes.

Les roues sont supposées ne pas glisser contre la surface de la route, En utilisant la simulation 3D, nous avons observé des changements de température sur le disque de frein pendant le freinage et le processus de refroidissement après le freinage.

a - Conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température.

La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts :

Une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : [21] la densité de flux est proportionnelle au gradient de température.

Ou sous forme algébrique :

$$\Phi = - \lambda S \vec{\text{grad}} (T) \quad (1.5)$$

Ou sous forme algébrique:

$$\Phi = - \lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.6)$$

Avec :

Φ Flux de chaleur transmis par conduction(W)

λ Conductivité thermique du milieu (W m-1 °C-1)

x Variable d'espace dans la direction du flux(m)

S Aire de la section de passage du flux de chaleur (m2)

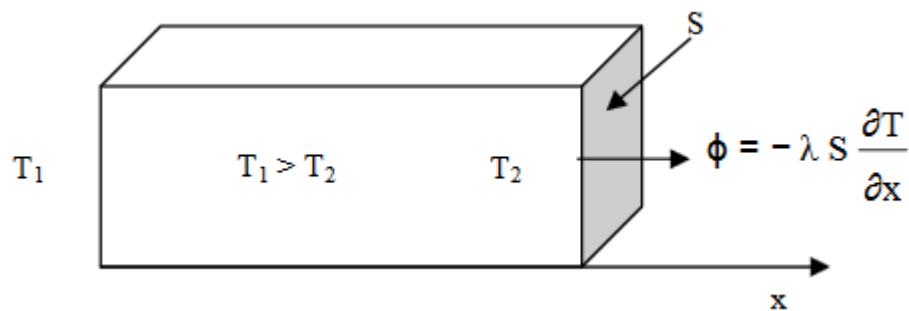


Figure II.3 Schéma du transfert de chaleur conductif.

On trouvera dans le tableau 1.1 les valeurs de la conductivité thermique λ de certains matériaux parmi les plus courants.

Un tableau plus complet est le suivant

Tableau. II.1 : Conductivité thermique de certains matériaux.

| Matériau | λ (W.m ⁻¹ .°C ⁻¹) | Matériau | λ (W.m ⁻¹ .°C ⁻¹) |
|--------------------|--|-------------------------|--|
| Argent | 419 | Plâtre | 0,48 |
| Cuivre | 386 | Amiante | 0,16 |
| Aluminium | 204 | Bois (feuillu-résineux) | 0,12-0,23 |
| Acier doux | 45 | Liège | 0,044-0,049 |
| Acier inox | 15 | Laine de roche | 0,038-0,041 |
| Glace | 1,88 | Laine de verre | 0,035-0,051 |
| Béton | 1,4 | Polystyrène expansé | 0,036-0,047 |
| Brique terre cuite | 1,1 | Polyuréthane (mousse) | 0,030-0,045 |
| Verre | 1,0 | Polystyrène extrudé | 0,028 |
| Eau | 0,60 | Air | 0,026 |

b - Convection

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton:

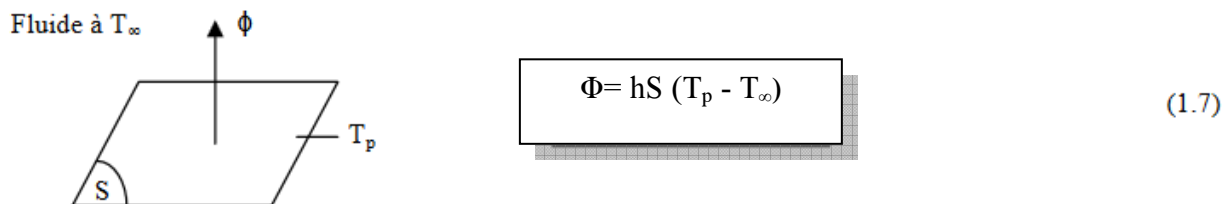


Figure II.4 : Schéma du transfert de chaleur convectif

Avec :

Φ Flux de chaleur transmis par convection (W)

h Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m⁻² °C⁻¹)

T_p Température de surface du solide (°C)

T_∞ Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

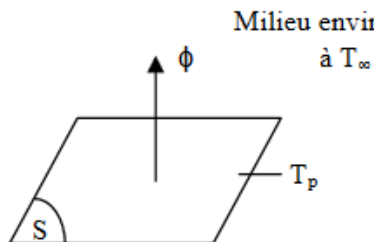
S Aire de la surface de contact solide/fluide (m²)

Remarque :

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

C - Rayonnement

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation [17]:



Milieu environnant
à T_{∞}

$$\Phi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_{\infty}^4) \quad (1.8)$$

II.5 : Schéma du transfert de chaleur radiatif

Avec :

Φ Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ Constante de Stefan ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

ε_p Facteur d'émission de la surface

T_p Température de la surface (K)

T_{∞} Température du milieu environnant la surface (K)

S Aire de la surface (m^2)

II.4 matériaux et méthodes

L'énergie cinétique du véhicule en mouvement peut être exprimée comme:

$$E = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2) \quad (2)$$

Où m est la masse du véhicule, v_1 vitesse initiale et v_2 vitesses réduites. Si nous négligeons la traînée et d'autres pertes, la puissance de ralentissement des freins est égale à la dérivée négative de l'énergie cinétique (Petinrin et al. 2012):

$$P = -\frac{d}{dt} \left(\frac{mv^2}{2} \right) = -mv \frac{dv}{dt} = -mR^2 \omega(t) \alpha \quad (3)$$

Où m est la masse du véhicule, R est le rayon de la roue, ω est la vitesse angulaire et α est l'accélération angulaire. La force de friction par unité de surface, f est approximativement

constante sur la surface de huit plaquettes (deux plaquettes par disque de frein) et est dirigée en face du vecteur de vitesse du disque de frein:

$$P = -8 \int \int f_f dA \cdot v_d = -8 f_f(t) \omega(t) \int r dA \quad (4)$$

En utilisant les deux équations précédentes, la force de friction peut être déterminée comme:

$$f_f = -\frac{mR^2 \alpha}{8r_m A} \quad (5)$$

Où r_m est la distance entre le centre du disque de frein et le centre de masse de la plaquette, et α est l'accélération négative pendant le ralentissement.

La puissance thermique générée sur la zone de contact peut être définie comme:

$$q(r, t) = -f_f \cdot v_d(r, t) = -\frac{mR^2 \alpha}{8r_m A} r(\omega_0 + \alpha t) \quad (6)$$

La dissipation thermique des surfaces du disque de frein et des plaquettes vers l'air ambiant est décrite par convection et rayonnement comme:

$$q_{diss} = -h(T - T_{ref}) - \varepsilon \sigma (T^4 - T_{ref}^4) \quad (7)$$

Où h est le coefficient du film convectif, ε est l'émissivité du matériau et σ est la constante de Stefan-Boltzmann.

II.4.1 Définition du modèle

Le modèle du disque de frein complet avec les dimensions principales est illustré à la Figure II.6

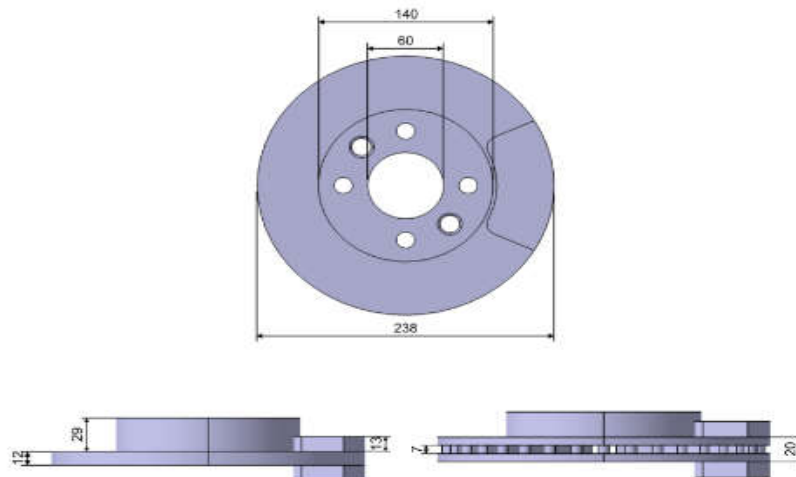


Figure II.6 : Modèle 3D du disque de frein et des plaquettes de frein (disque plein et ventilé).

Le maillage du disque de frein et des plaquettes de frein a été effectué à l'aide de Comsol Multiphysics 5.3.

Le maillage complet du disque complet se compose de 77626 éléments tétraédriques, tandis que le maillage complet du disque ventilé se compose de 95341 éléments tétraédriques.

La masse du véhicule utilisé pour l'analyse est de 1600 kg.

La vitesse initiale est de 90 km / h. Soudain, le conducteur actionne les freins pendant deux secondes, ce qui ralentit le véhicule à une vitesse de 10 m / s², puis relâche les freins pendant 6 secondes.

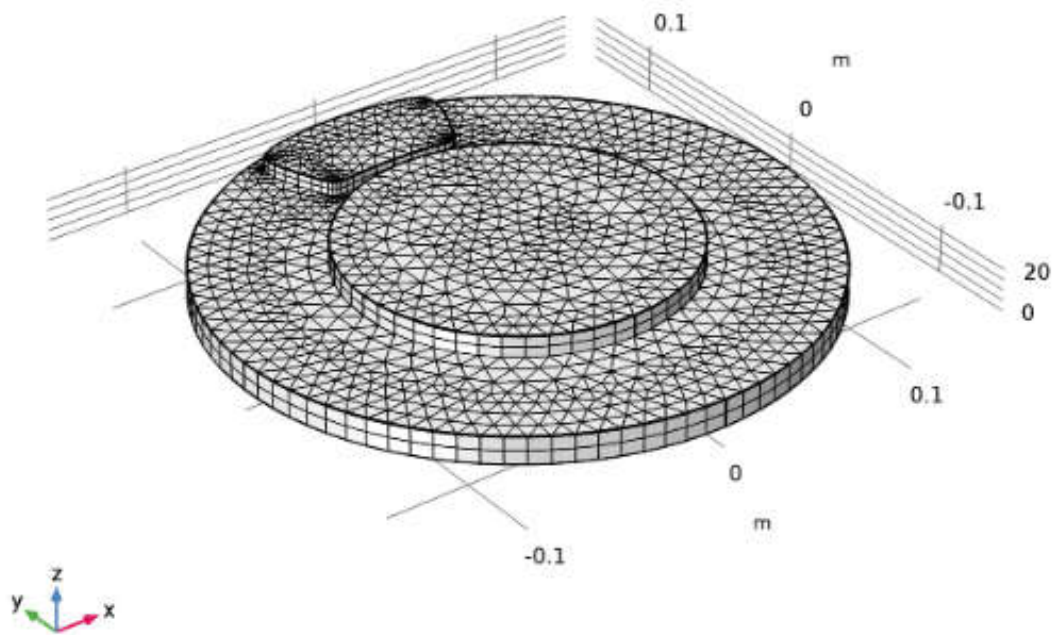


Figure II.7 : maillage d'un disque plein

II.5 Etude thermique du frein à disque

Pour cette étude thermique, deux phénomènes sont à prendre en compte : dans un premier temps, le contact plaquette/disque, et notamment le flux de chaleur engendré par le frottement, et ensuite, le refroidissement du disque par l'air ambiant (par conduction).

II.5.1 Etude du contact plaquette/disque

Nous allons étudier ici les différents phénomènes thermiques se produisant lors d'un freinage au niveau du contact plaquette/disque.

Tout d'abord, la force de frottement est fonction du coefficient de frottement des plaquettes sur le disque, et de la pression de contact de l'étrier. Soit :

$$F_{p/d} = \mu \cdot P$$

Avec μ le coefficient de frottement.

On peut donc obtenir l'expression du flux de chaleur à l'interface plaquette/disque. Ce flux est homogène à une puissance, la puissance développée par la force de frottement sur le disque lancé à une certaine vitesse. D'où l'expression du flux thermique :

$$\Phi = \mu \cdot P \cdot V$$

Avec V la vitesse linéaire. On peut ainsi obtenir l'expression de la densité de flux :

$$\varphi = \frac{\mu \cdot P \cdot V}{S}$$

Avec S la surface de contact plaquette/disque.

Le flux thermique dissipé au niveau de l'interface plaquette/disque est transformé en chaleur, une partie est transmise à la plaquette, l'autre est transmise au disque. On a donc :

$$\Phi_{total} = \Phi_{plaquette} + \Phi_{disque}$$

Et on peut introduire un coefficient traduisant la part transmise à la plaquette, et celle transmise au disque :

$$\alpha = \frac{\Phi_{plaquette}}{\Phi_{total}} \quad \text{et} \quad \Phi_{disque} = (1 - \alpha)\Phi_{total}$$

On est alors en présence de deux cas distincts :

- Contact statique (régime permanent) :

$$\alpha = \frac{k_{plaquette}}{k_{plaquette} + k_{disque}}$$

Avec k les conductivités thermiques des matériaux formant la plaquette et le disque.

- Contact dynamique (régime transitoire) :

Dans ce cas, le coefficient alpha est dépendant de l'effusivité thermique de chaque matériau et de la surface :

$$\alpha = \frac{S_{plaquette} \cdot \beta_{plaquette}}{S_{plaquette} \cdot \beta_{plaquette} + S_{disque} \cdot \beta_{disque}}$$

Avec $\beta = \sqrt{k\rho c}$ l'effusivité thermique.

Afin de simplifier l'étude, on se placera dans le cas d'un contact parfait, c'est-à-dire dans le cas d'un contact statique.

Chapitre III :

La Simulation

Numérique

Par Le Logiciel

COMSOL 5.3

III.1 Introduction

Ce travail traite de l'analyse de la génération et de la dissipation de chaleur dans un frein à disque d'une voiture pendant le freinage d'urgence et la période de relâchement suivante.

L'objectif de ce travail est d'étudier et d'analyser la répartition de la température du disque rotor pendant le fonctionnement à l'aide de COMSOL MULTIPHYSICS. Le travail utilise les techniques d'analyse par éléments finis pour prédire la répartition de la température sur le disque de frein et pour identifier la température critique du disque de frein. Les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement) ont été analysés.

Les résultats obtenus à partir de l'analyse montrent que différents matériaux du disque, la température d'air, le poids de la voiture et la vitesse initial sur le même ralentissement de la voiture lors d'un freinage anti-panique présentent une distribution de température différente.

Donc, les analyses faites sur le comportement thermique et mécanique de ces prototypes permettent de bien faire un choix optimal et économique des solutions technologiques qui représentent les réelles pistes d'amélioration qui répondront au besoin de l'ingénieur en charge de la conception des disques de frein.

III.2 Géométrie

La figure III.1 représente une image de la géométrie du disque /plaquette crier avec le logiciel COMSOL multiphysics 5.3 .

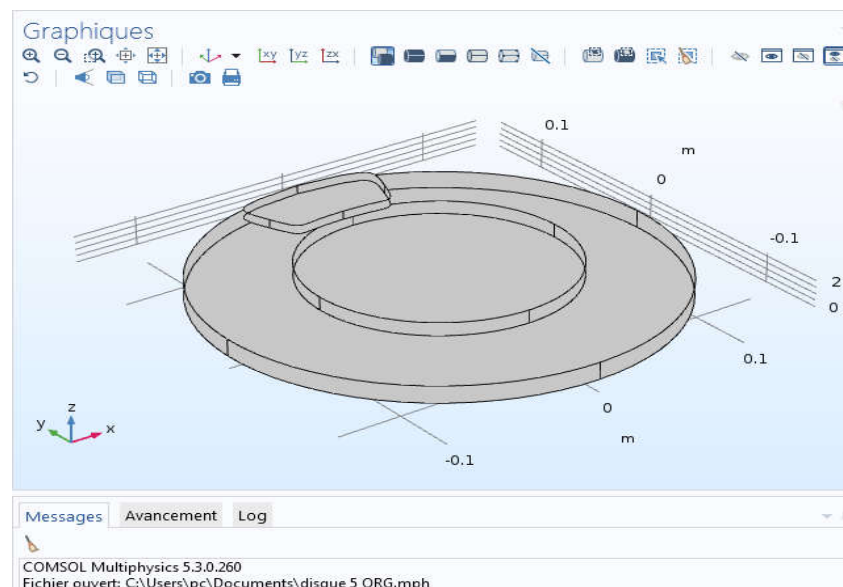


Figure III.1: Le modèle crée sur COMSOL (disque plein/ plaquette)

III.3 Maillage

La figure III.2 représente une image de maillage volumique d'où le maillage complet se compose d'environ 5700 éléments.

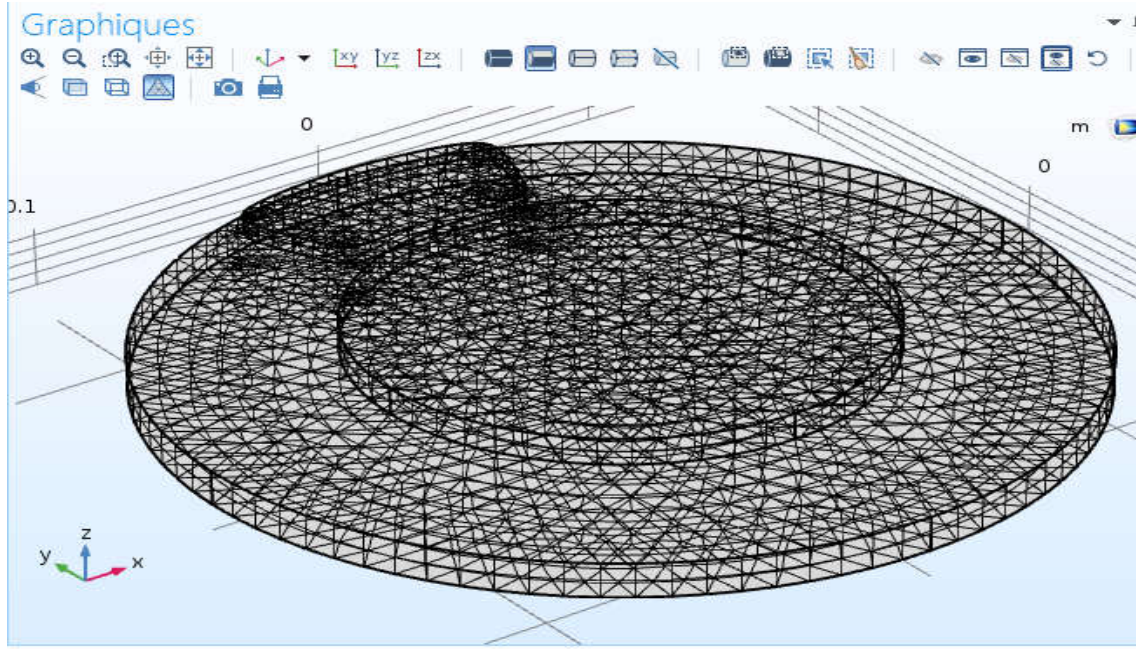


Figure III.2: Maillage volumique de l'ensemble (disque/plaquette)

III.4 Matériaux

La Figure III.3 et la Figure III.4 représentent des images de la constitution du disque /plaquette d'où le disque son matériau est l'acier et la plaquette est l'amiante comme nous indiquons sur ce tableau représentatif .

| Propriété | Nom | Valeur | Unité |
|---------------------------------|-----|--------|----------|
| Conductivité thermique | k | 82 | W/(m...) |
| Masse volumique | rho | 7870 | kg/m³ |
| Capacité thermique à pressio... | Cp | 449 | J/(kg·K) |

Figure III.3: Le Matériau du disque de frein.

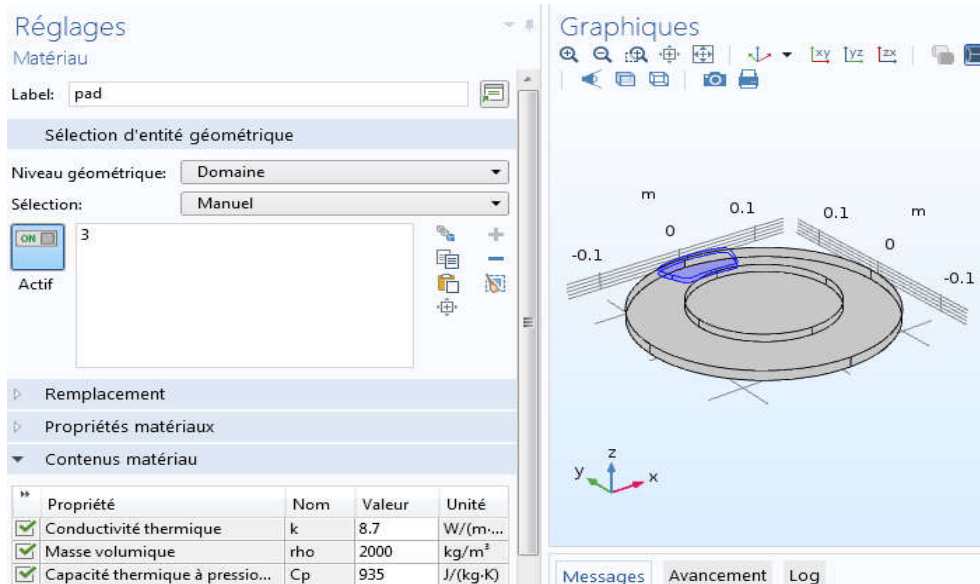


Figure III.4 : Le Matériau de la plaquette.

Tableau III.1: PROPRIÉTÉS MATÉRIELLES.

| Propriété | discription | Disque | plaquette |
|-----------------------------|------------------------|--------|-----------|
| ρ (kg/m ³) | Densité | 7870 | 2000 |
| C_p (J/(kg·K)) | Capacité thermique | 449 | 935 |
| k (W/(m·K)) | Conductivité thermique | 82 | 8.7 |

III. 5 Résultat de Simulation

III. 5.1 L'influence de la vitesse initiale

a. $V_0=25$ m/s

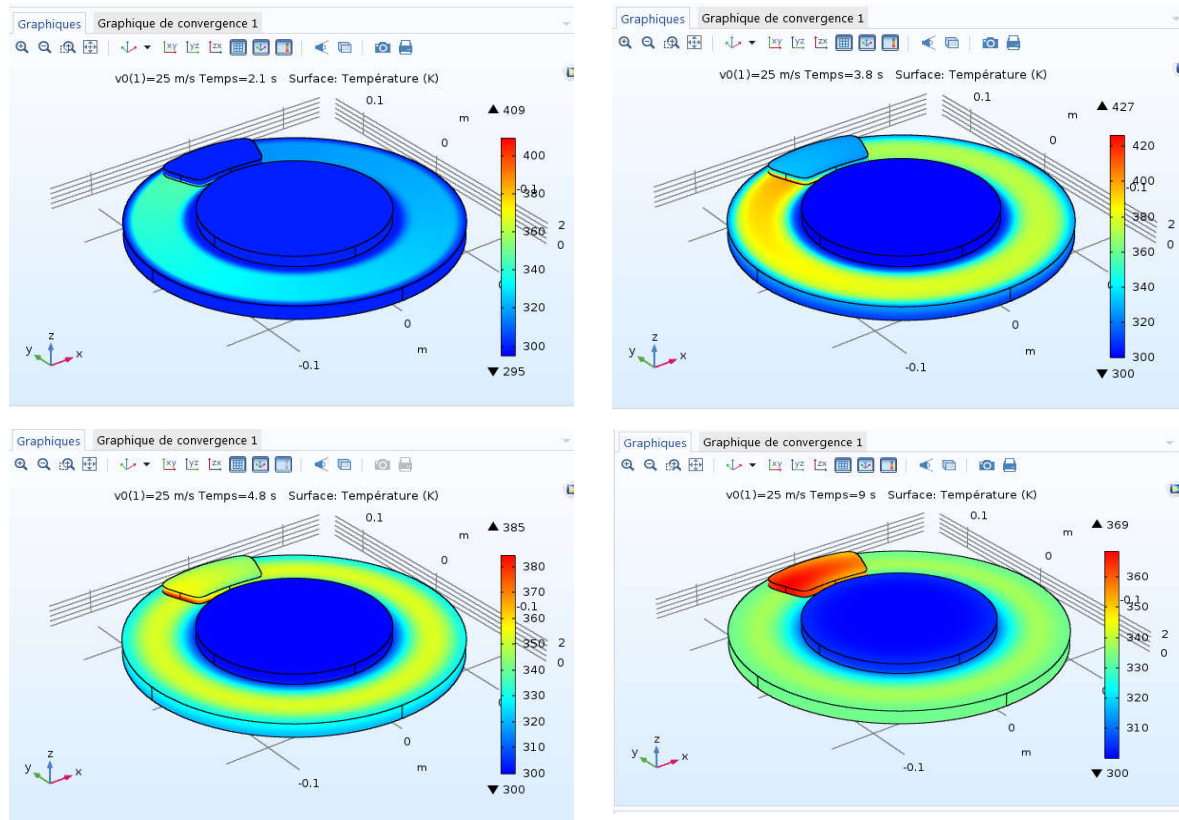


Figure III.5: La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s$ et $9s$)

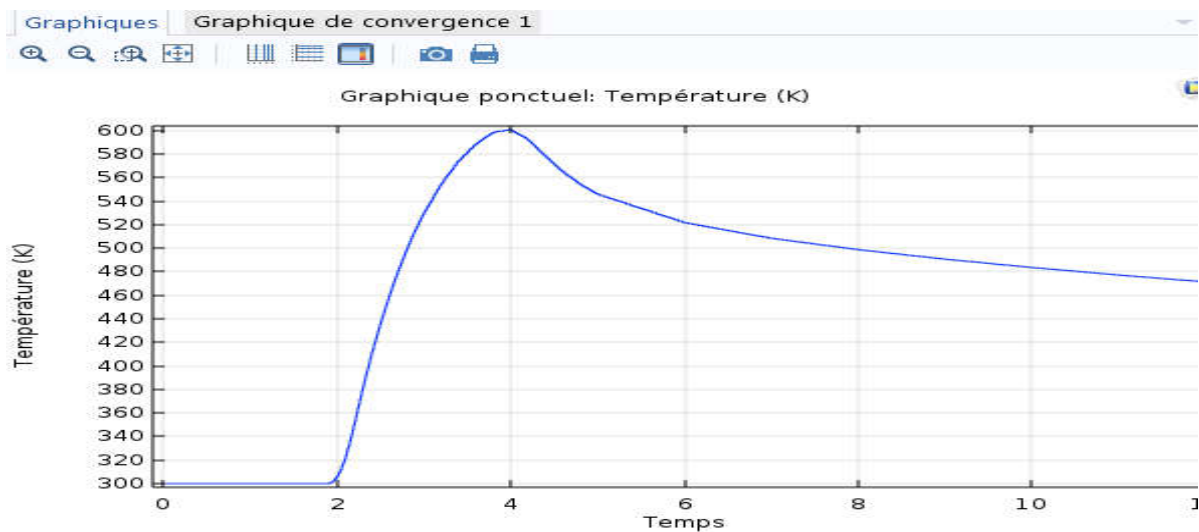


Figure III.6: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

b. $V_0=35$ m/s

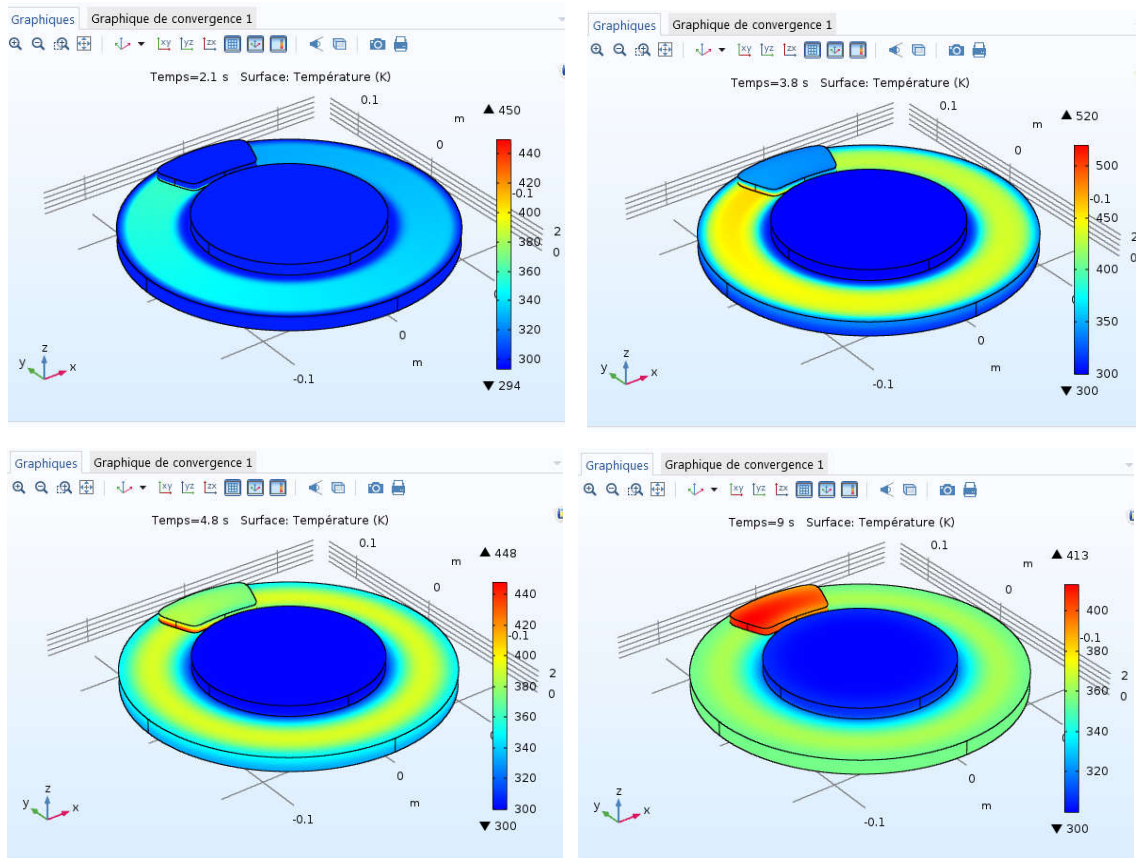


Figure III.7: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2. s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$)

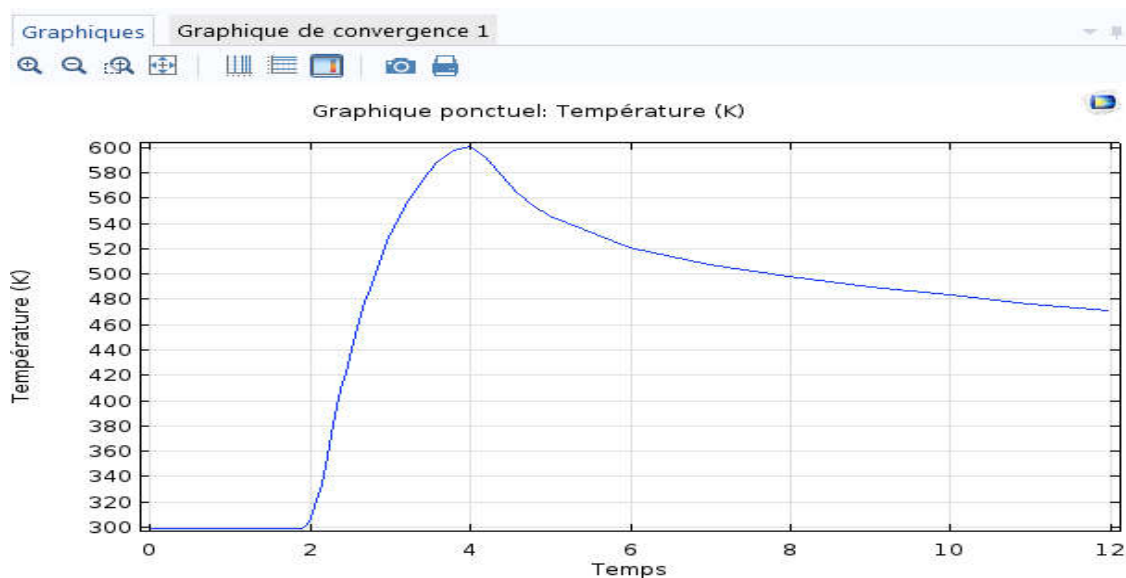


Figure III.8: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

c. $V_0=45$ m/s

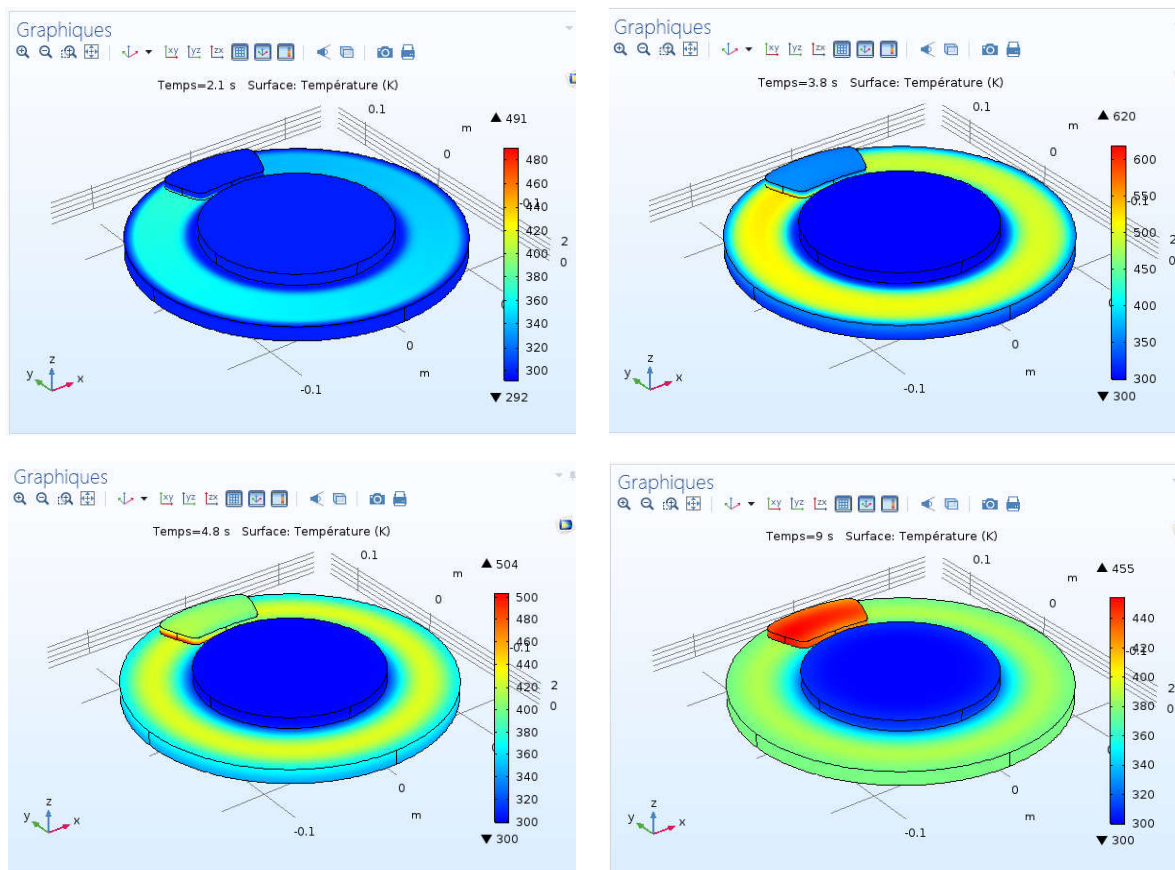


Figure III.9: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t= 2. s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$)

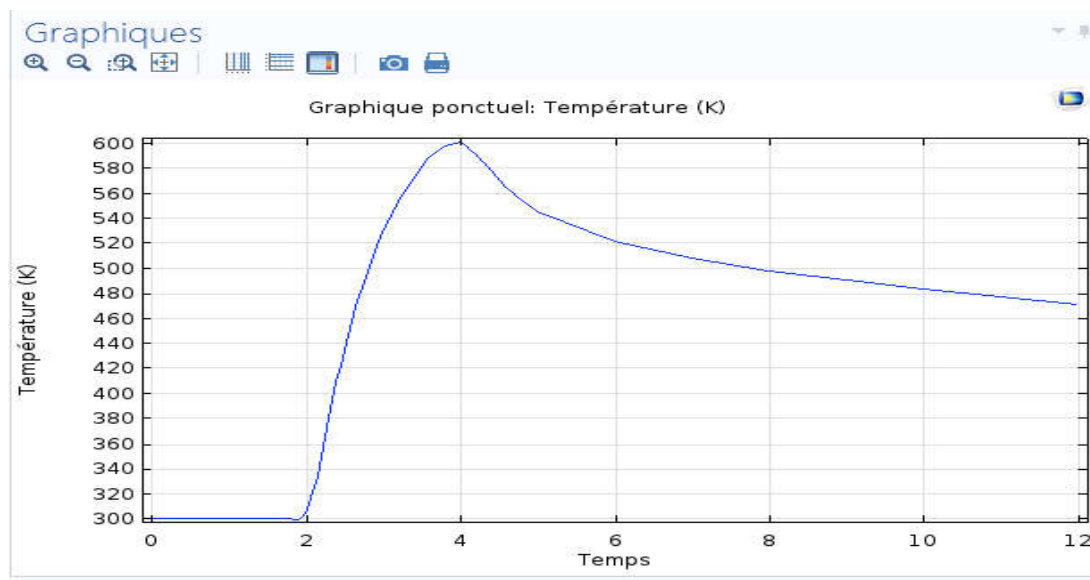


Figure III.10: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

d. $V_0=55$ m/s

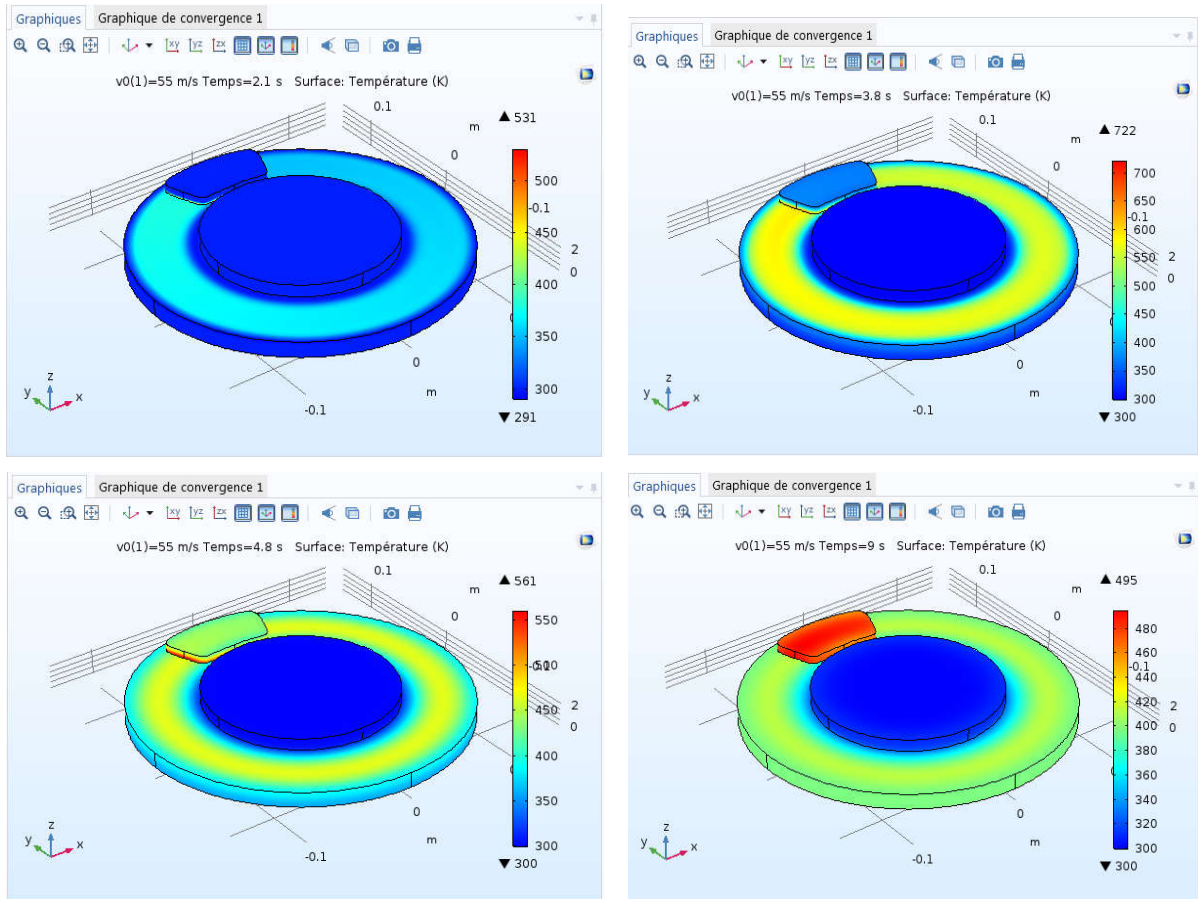


Figure III.11: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t= 2. s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$)

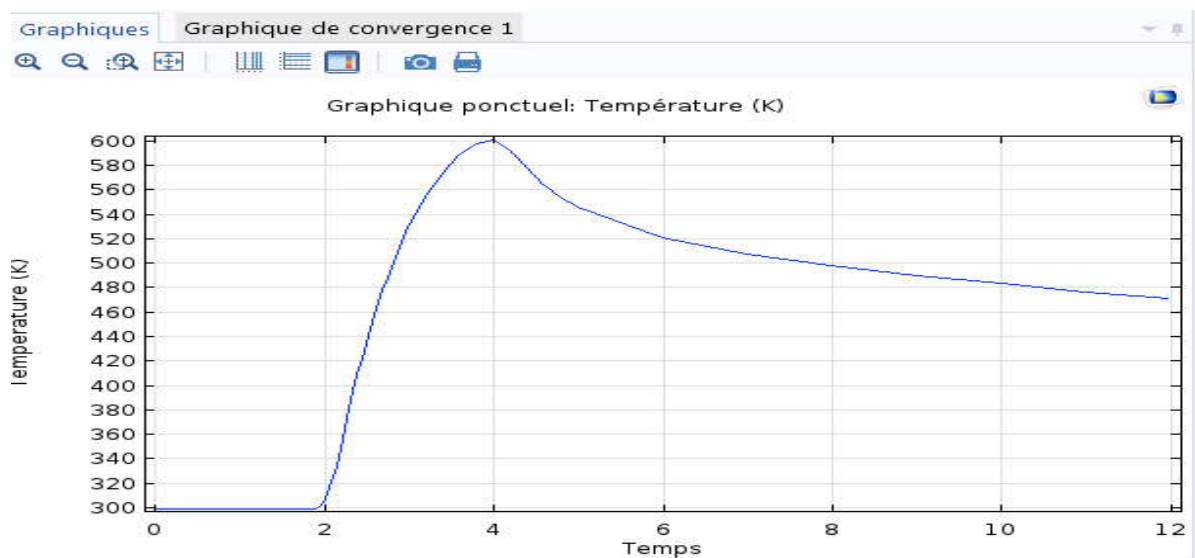


Figure III.12: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

On remarque :

- que la température du disque est maximal à l'instant $t=3.8s$ où le conducteur est freiné pendant 2s, à l'instant $t=2s$ jusqu'à $t=4s$.

La comparaison des profils des températures figure III.6, figure III.8, figure III.10 et figure III.12 montre la distribution de la température dans le système disque plein/plaquette. La température est atteinte jusqu'à $600 K^{\circ}$ dans les quartes cas.

III. 5.2. L'influence de la masse

a. $m = 500 Kg$

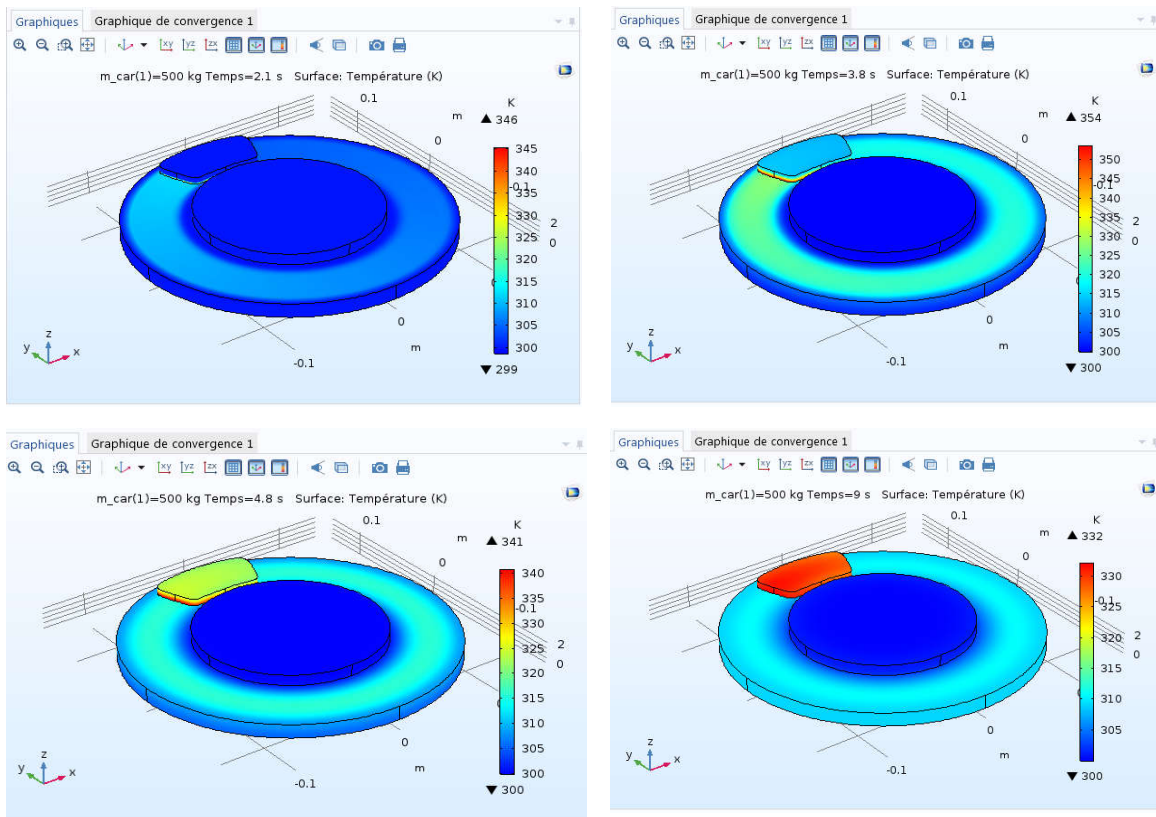


Figure III.13.: La répartition de la température du D/P à l'instant($t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s$)

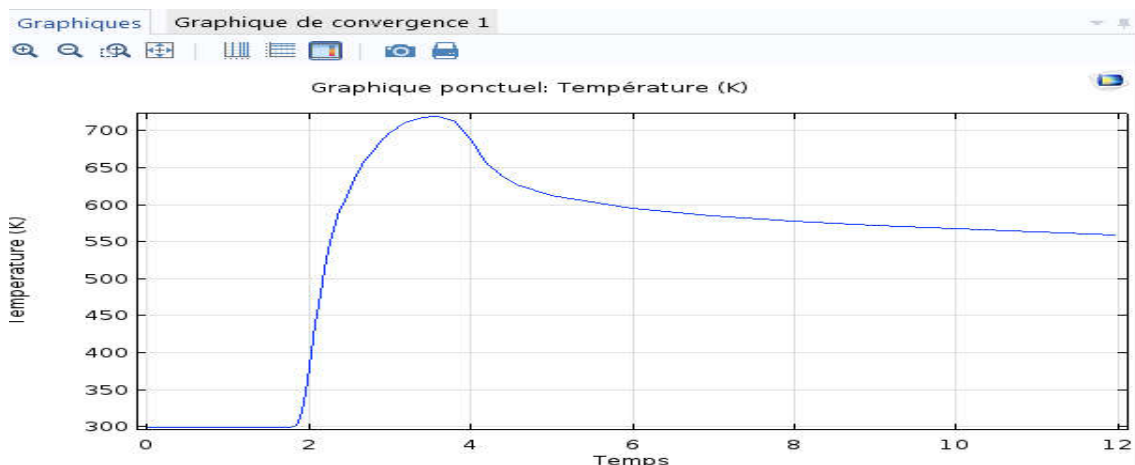


Figure III.14: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

b. $m = 1000 \text{ Kg}$

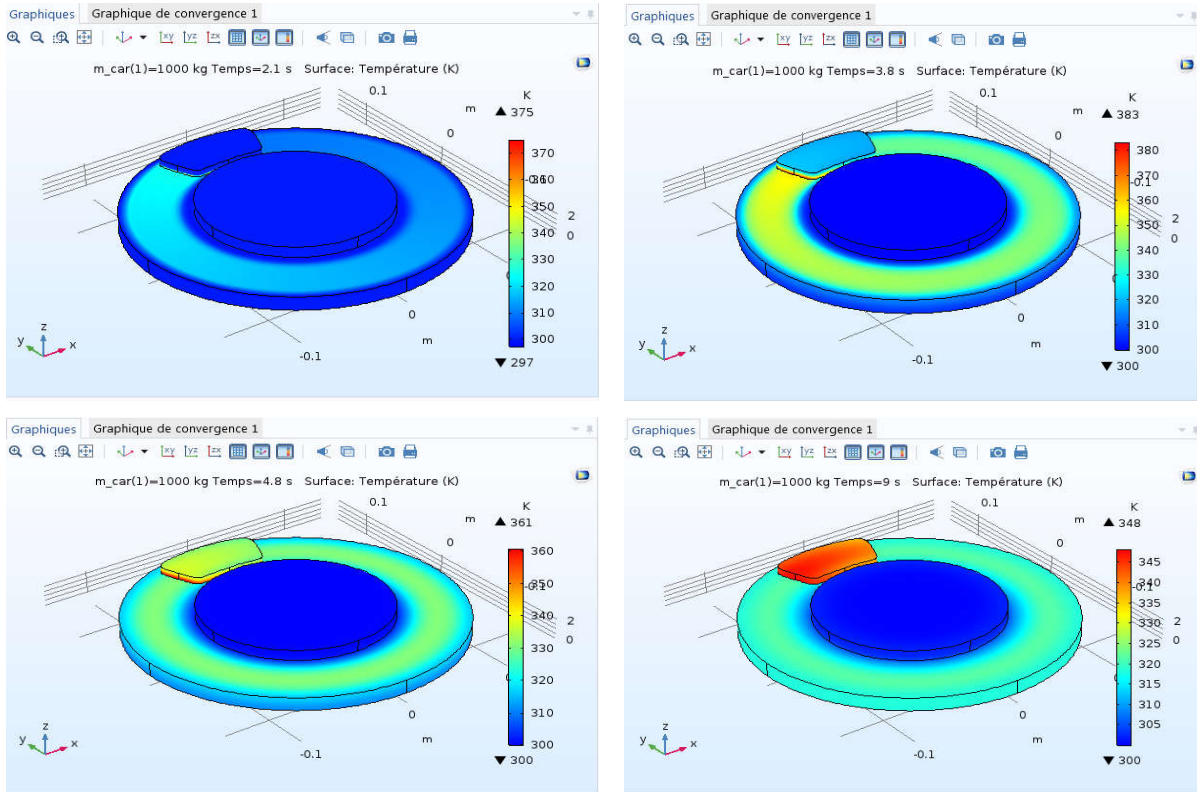


Figure III.15: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2. \text{s} ; 3.8 \text{s} ; 4.8 \text{s} ; 9 \text{s}$)

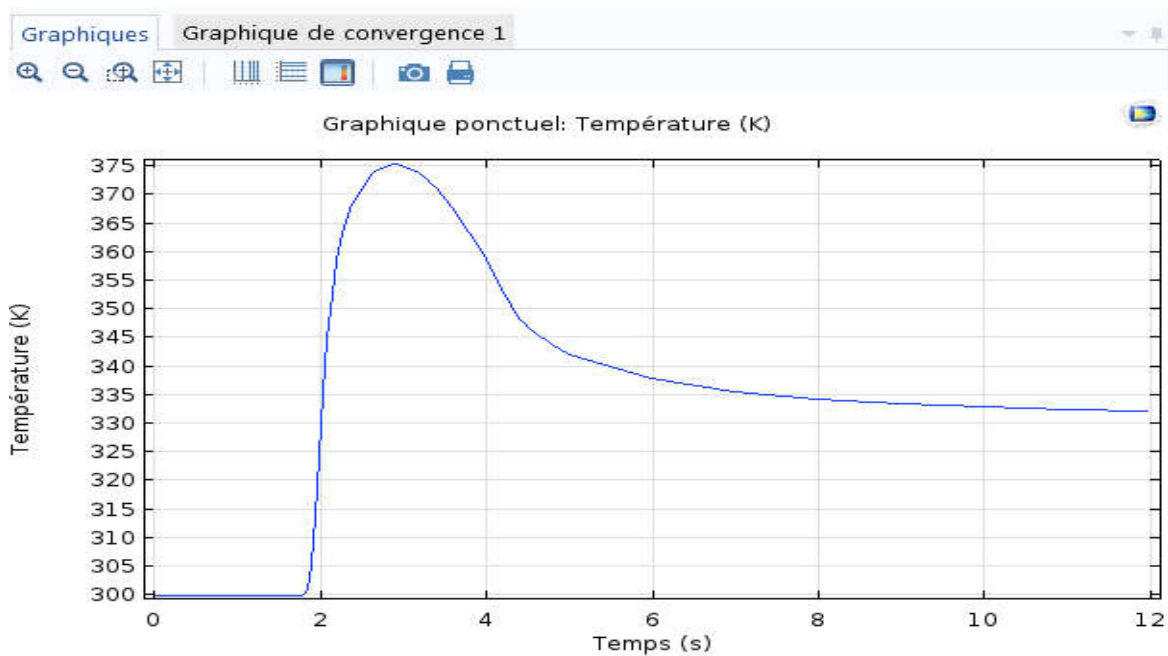


Figure III.16: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

c. $m = 2000 \text{ Kg}$

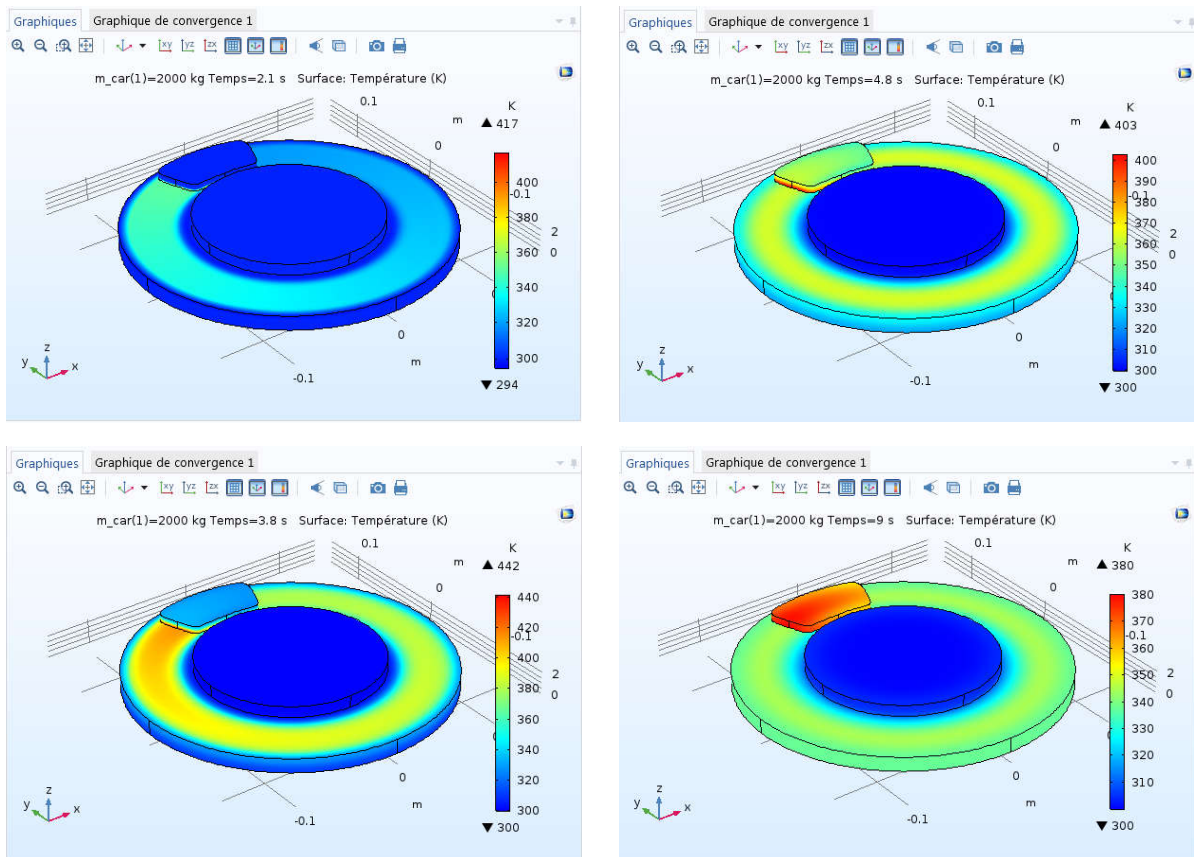


Figure III.17: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.2 \text{ s} ; 3.8 \text{ s} ; 4.8 \text{ s} ; 9 \text{ s}$)

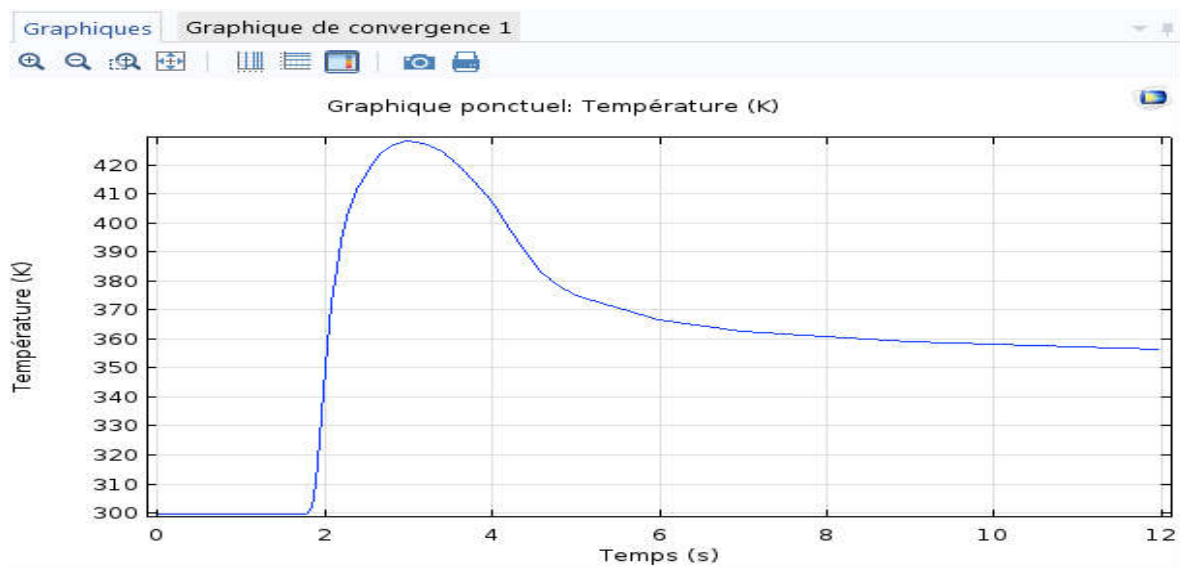


Figure III.18: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

d. $m = 3000 \text{ Kg}$

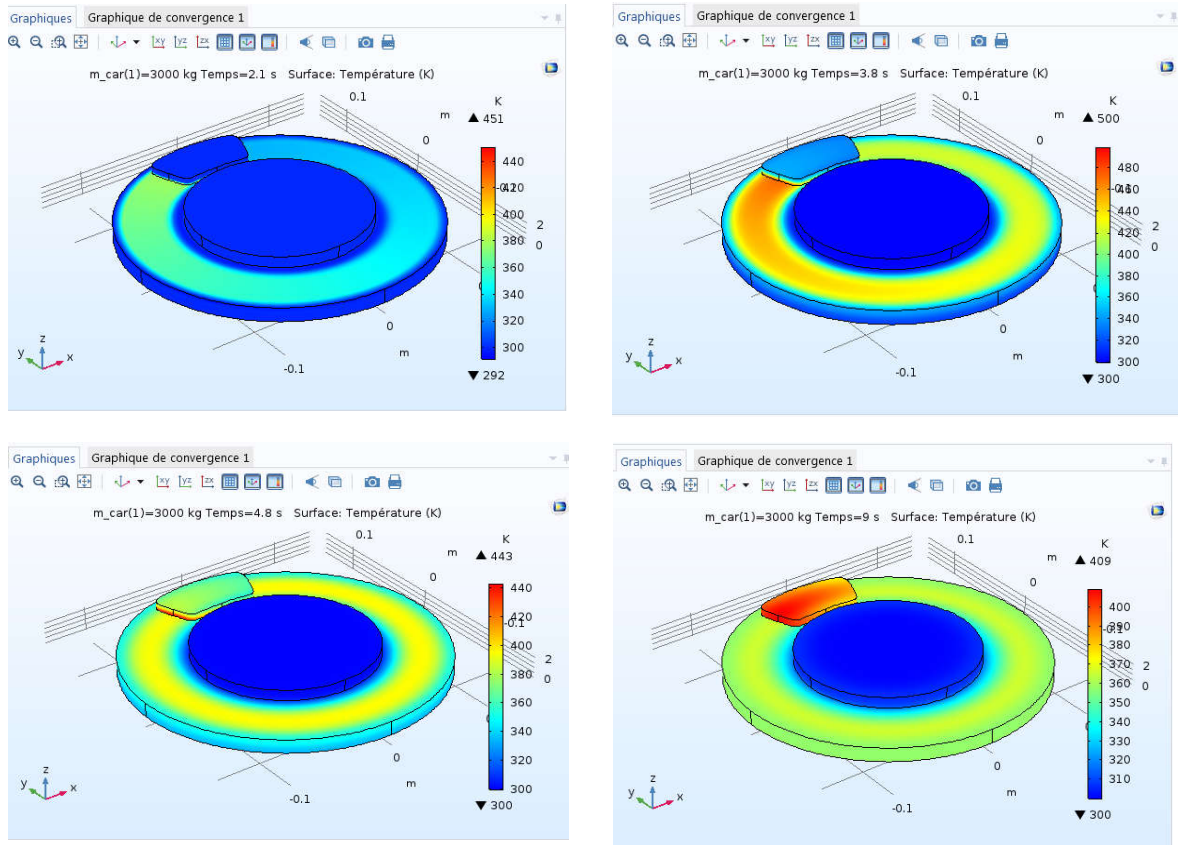


Figure III.19: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2. \text{s} ; 3.8 \text{s} ; 4.8 \text{s} ; 9 \text{s}$)

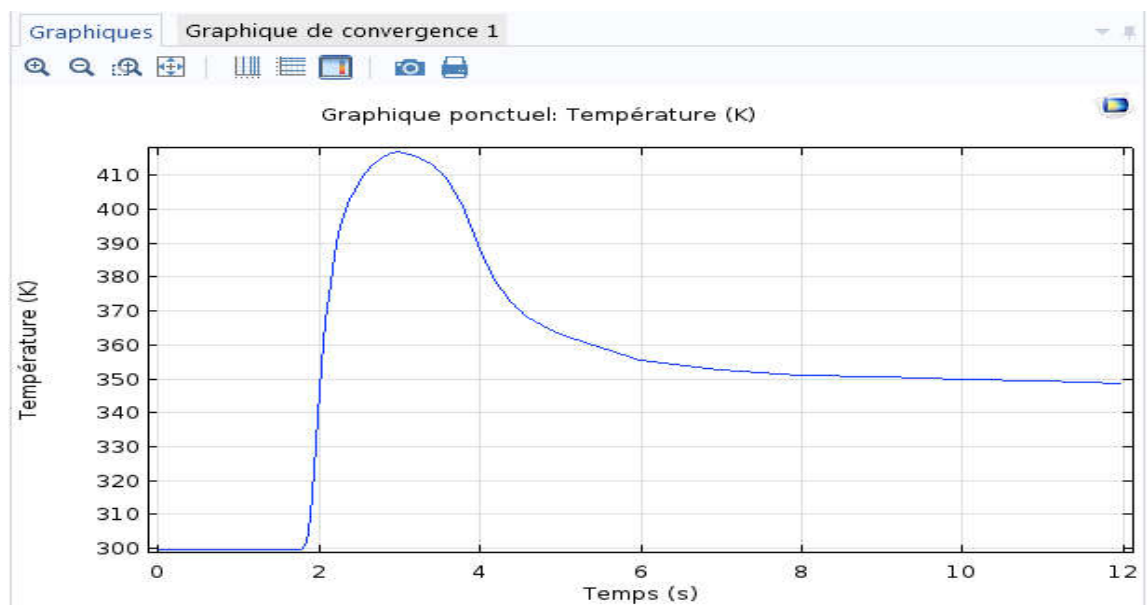


Figure III.20: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

Les résultats de la simulation numérique montrent que les températures du système disque plein/ plaquette ont augmenté avec la masse du véhicule (Figure III.13, figure III.15, figure III.17 et figure III.19). Les températures ont atteint jusqu'à 354 K, 383 K, 403 K et 500 K respectivement dans les quatre cas.

III.5.3 L'influence de température ambiante

a. $T=300\text{ K}^\circ$

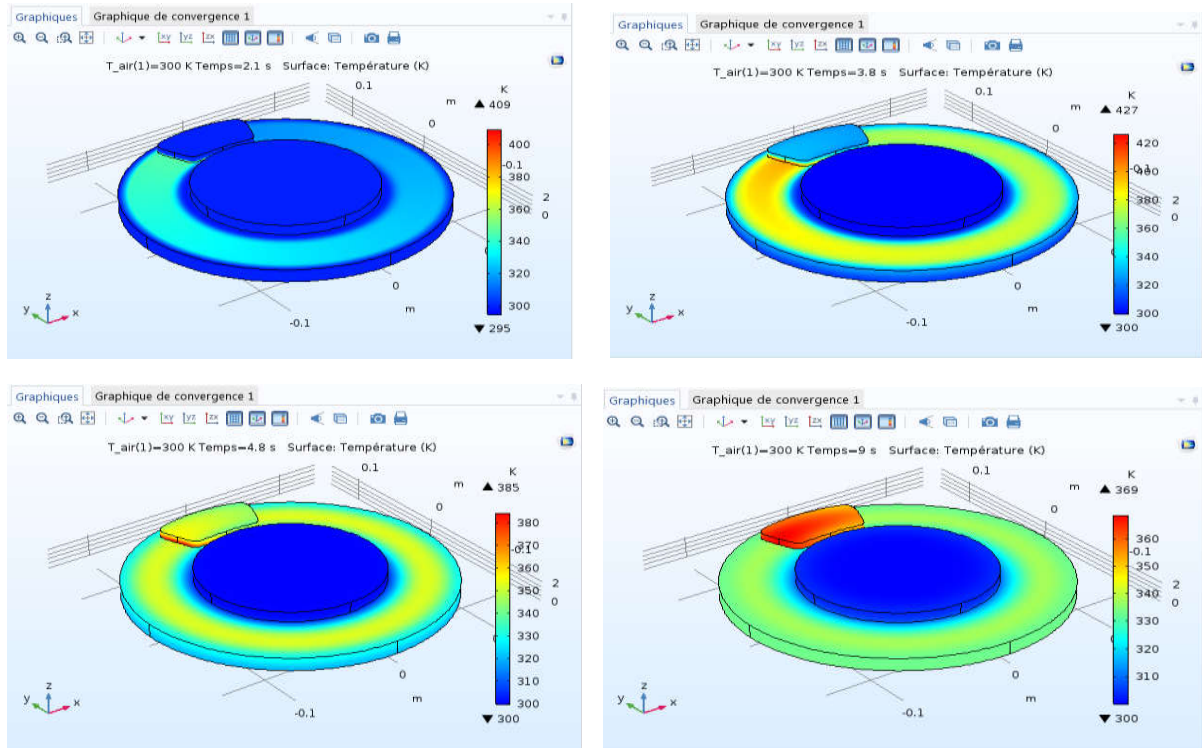


Figure III.21: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2. s ; 3.8 s ; 4.8 s ; 9 s$)

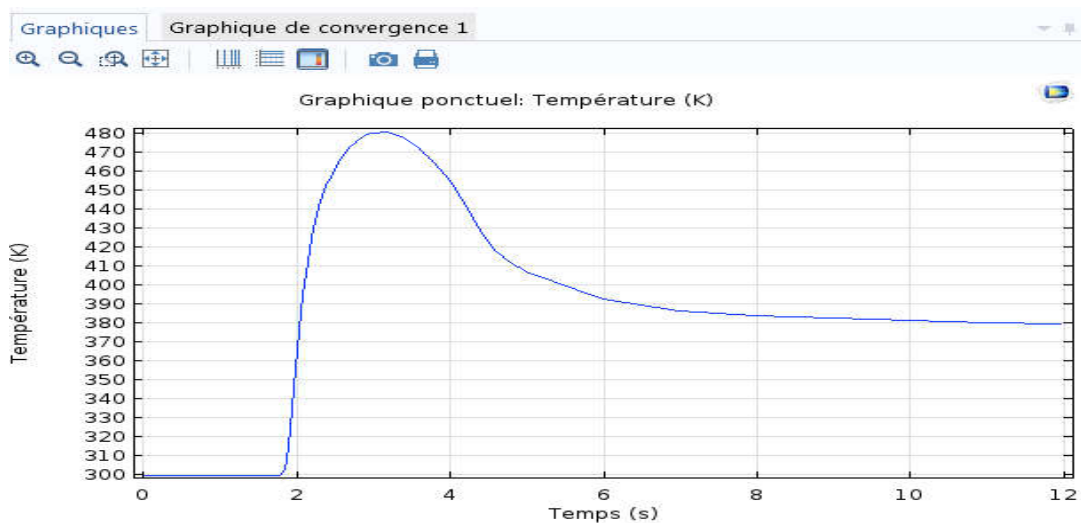


Figure III.22: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

b. $T=305K^{\circ}$

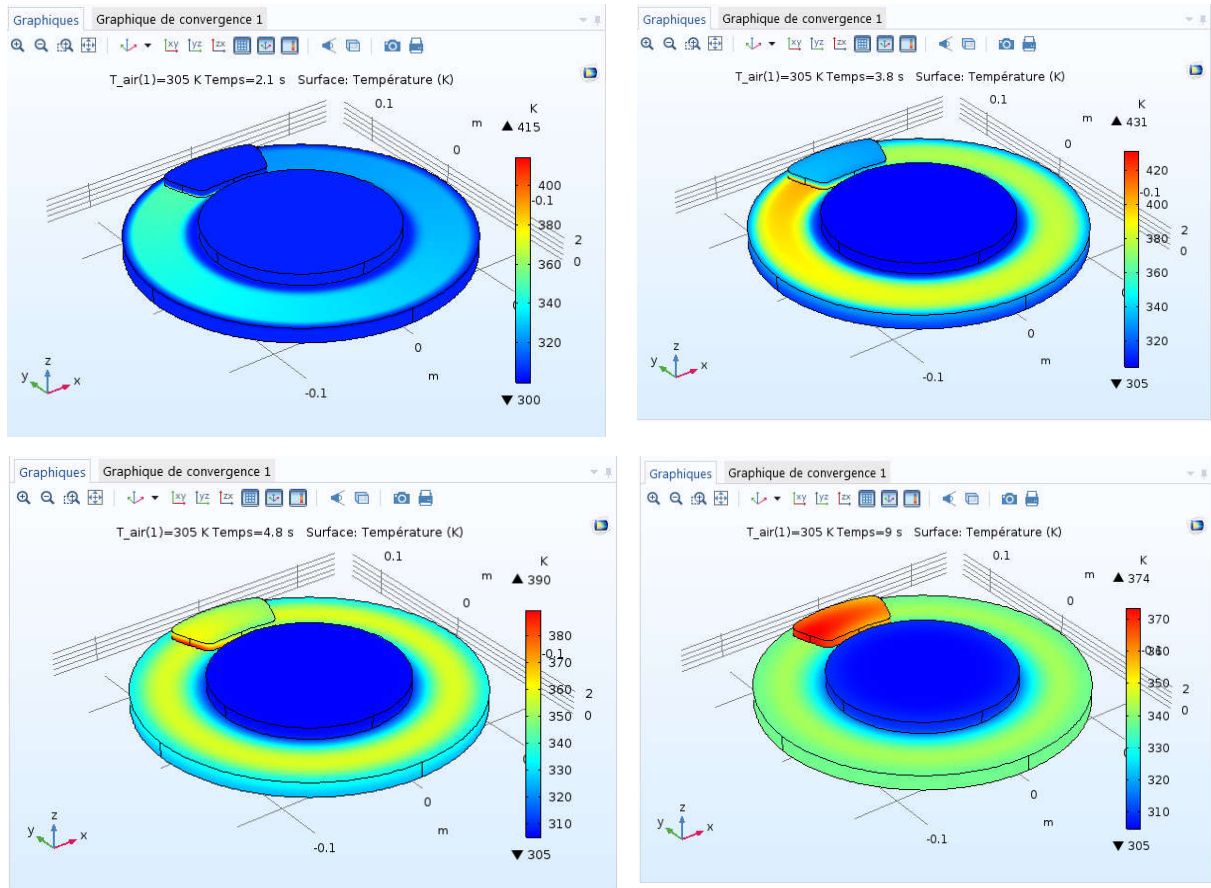


Figure III.23: La répartition de la température du D/P à l'instant $t = 2.1\text{ s}$; 3.8 s ; 4.8 s ; 9 s

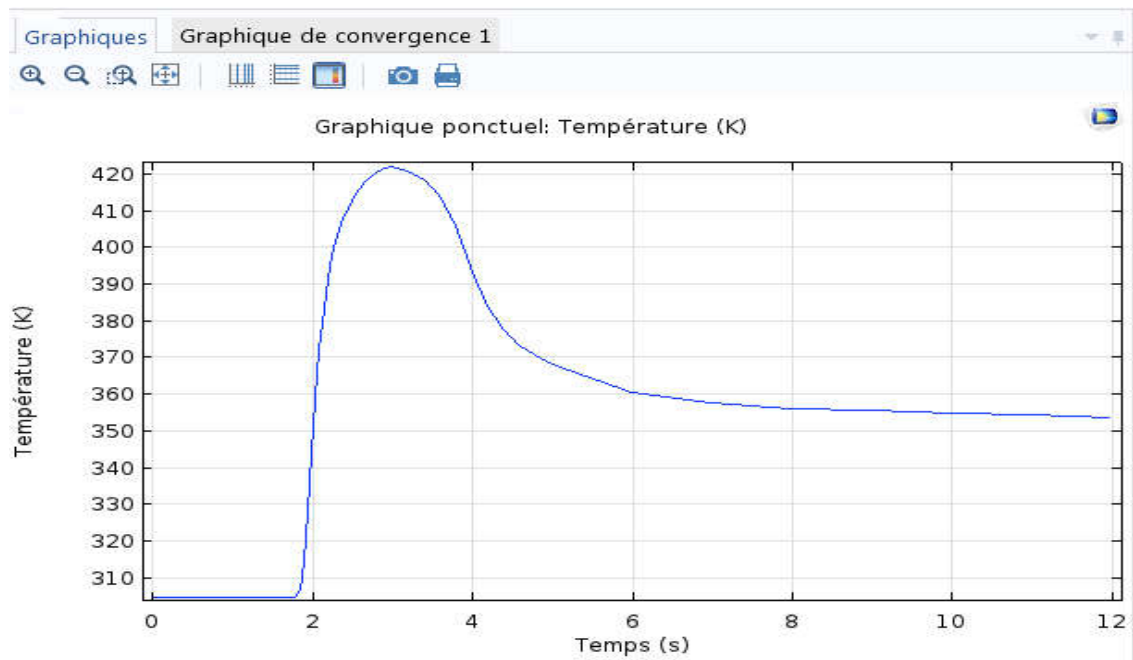


Figure III.24: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

c. $T=310\text{K}^{\circ}$

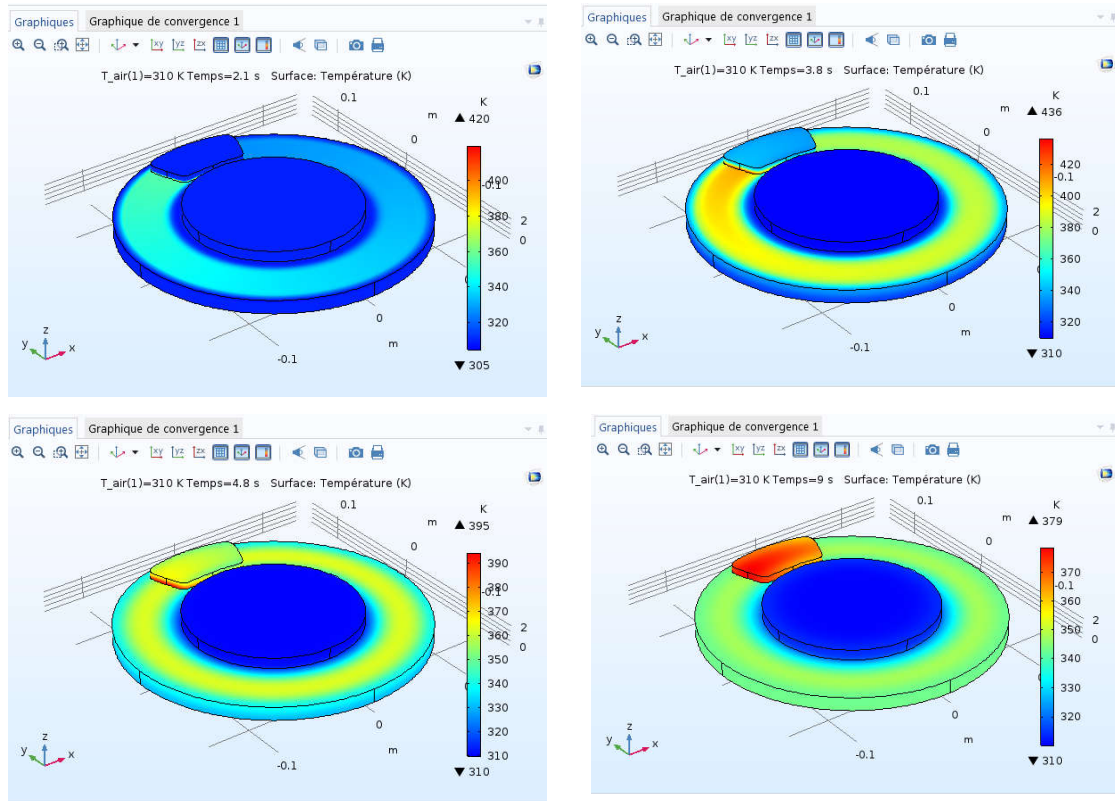


Figure III.25: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.1\text{ s} ; 3.8\text{ s} ; 4.8\text{ s} ; 9\text{ s}$)

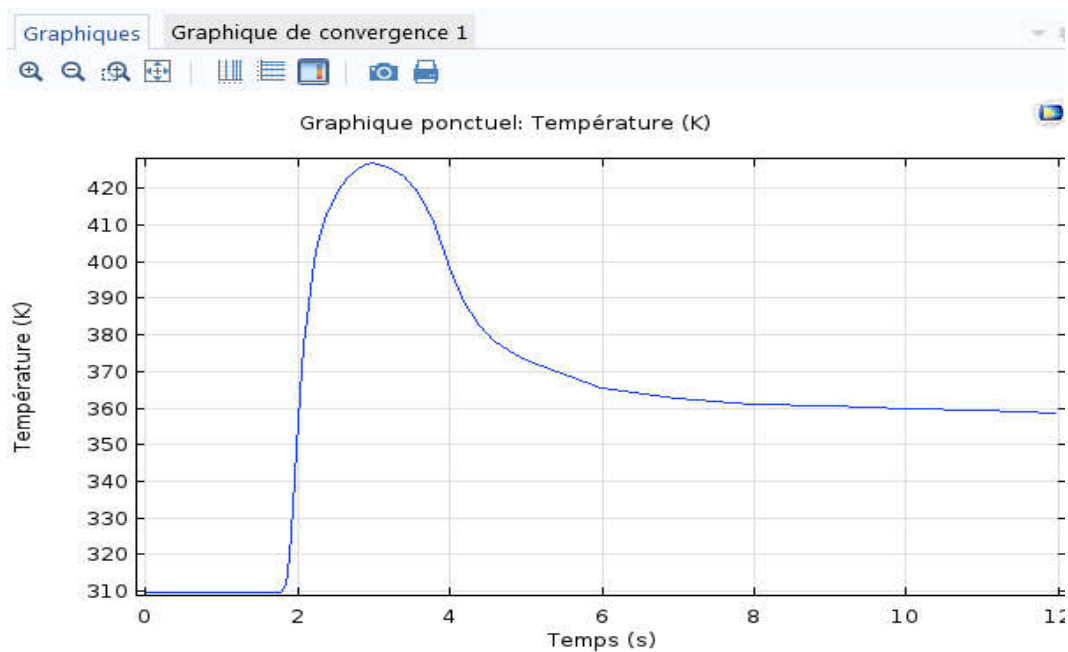


Figure III.26: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

d.T=315K°

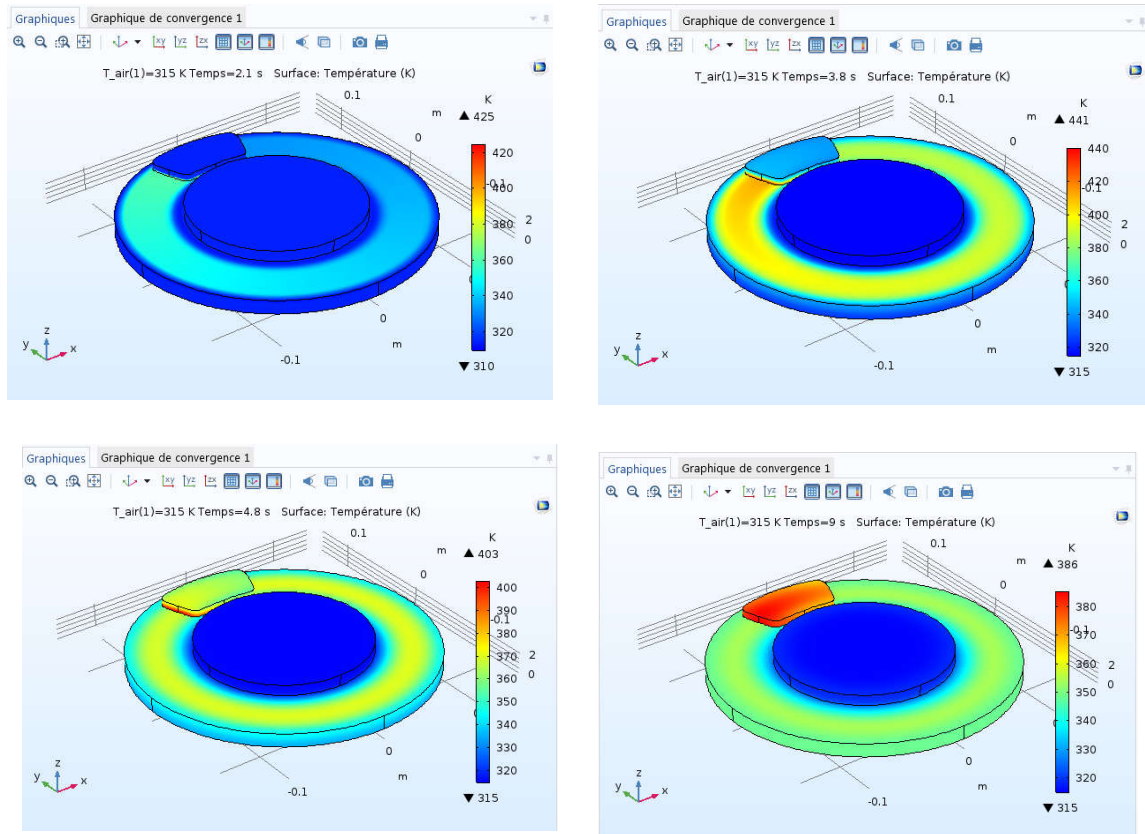


Figure III.27: La répartition de la température du D/P à l'instant (t= 2.s ; 3.8s ; 4.8s ; 9s)

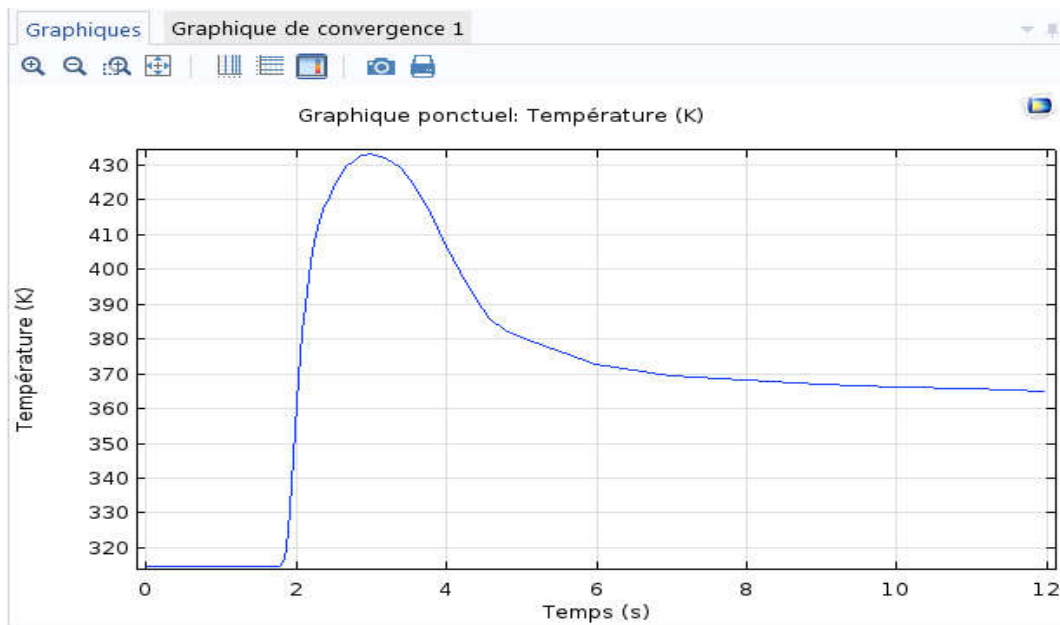


Figure III.28: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

On distingue que la température ambiante joue un rôle très importants sur le comportement du disque, c.-à-d. une baisse de température un bon refroidissement du disque par convection.

Et par contre quand la température est très élevée on risquera le surchauffe du disque.

III. 5.4 Influence du type du matériau

Tableau III.2: Propriétés matérielles du disque et des plaquettes de frein

| Propriété matérielle | FONTE GRISE | ALLIAGE AL | CERAMIC Al₂O₃(99.5 %) | Amiante (plaquette) |
|--|------------------------|-----------------------|--|--------------------------------|
| Densité [kg/m³] | 7200 | 2700 | 3800 | 2000 |
| Capacité thermique [J/(kg*K)] | 460 | 840 | 600 | 935 |
| Conductivité thermique [W/ (m*K)] | 50 | 140 | 27.5 | 8.7 |

a. La fonte grise

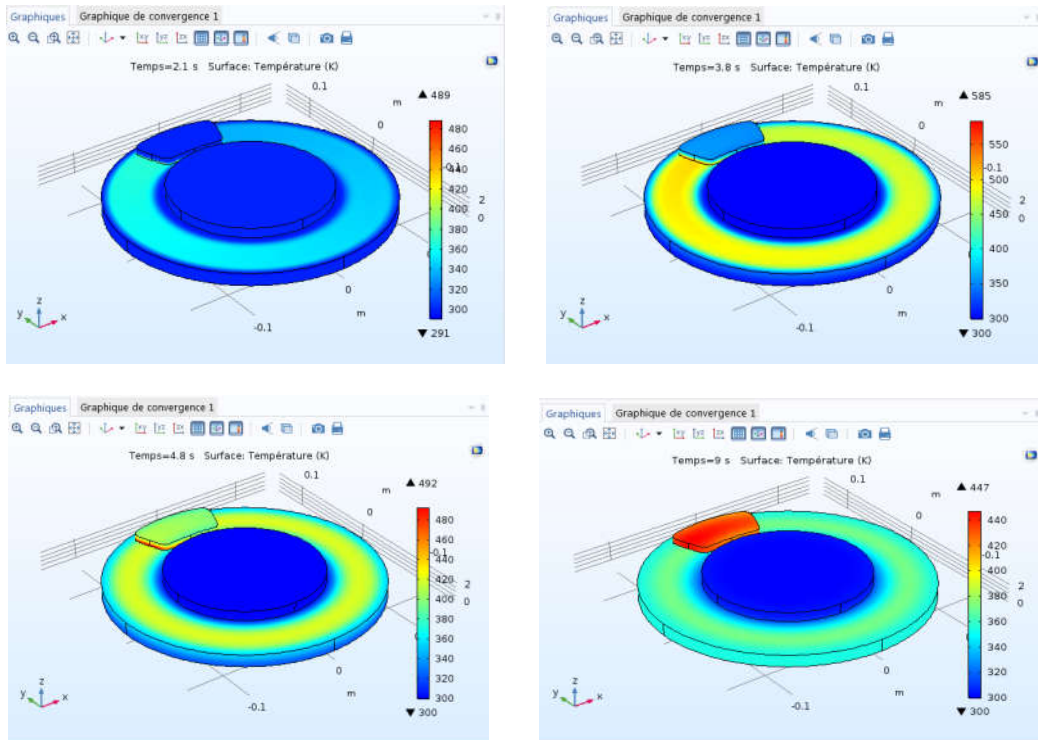


Figure III.29: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2. s ; 3.8 s ; 4.8 s ; 9s$)

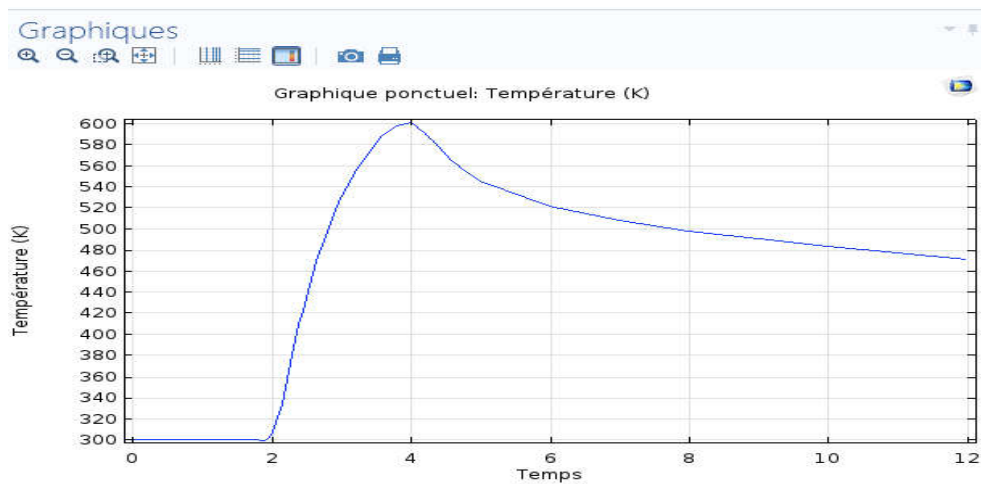


Figure III.30: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

b. Alliage d'aluminium

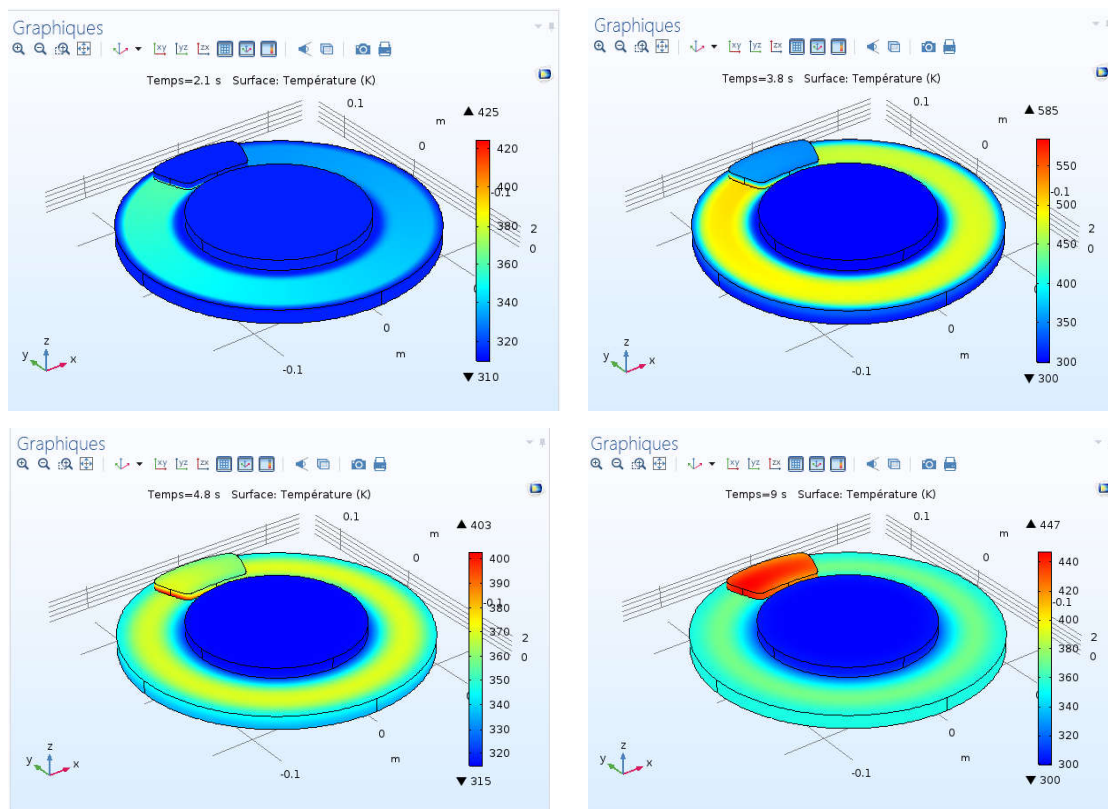


Figure III.31: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.1\text{ s}$; 3.8 s ; 4.8 s ; 9 s)

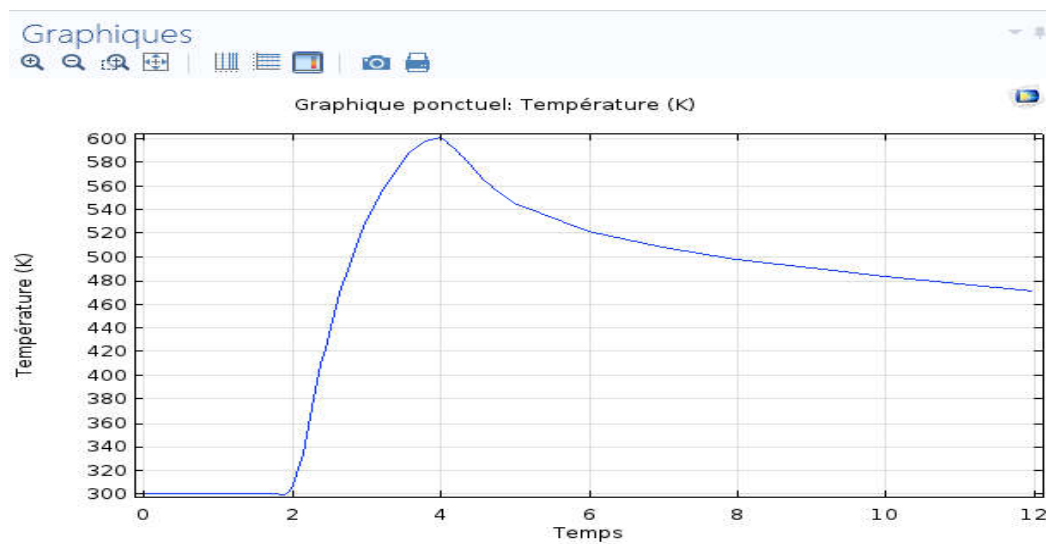


Figure III.32: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

c. Céramique Al_2O_3 (99.5 %)

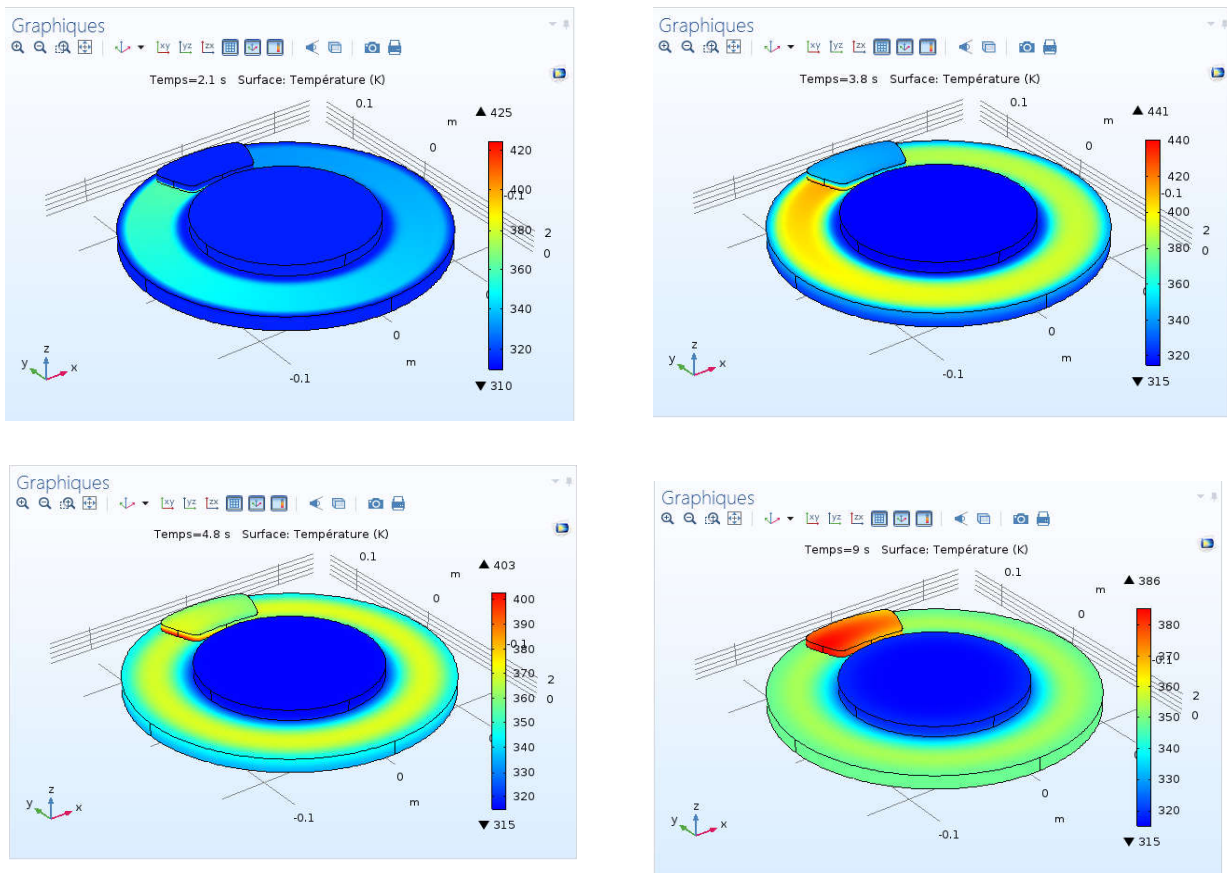


Figure III.33: La répartition de la température du D/P à l'instant ($t = 2.1 \text{ s} ; 3.8 \text{ s} ; 4.8 \text{ s} ; 9 \text{ s}$)

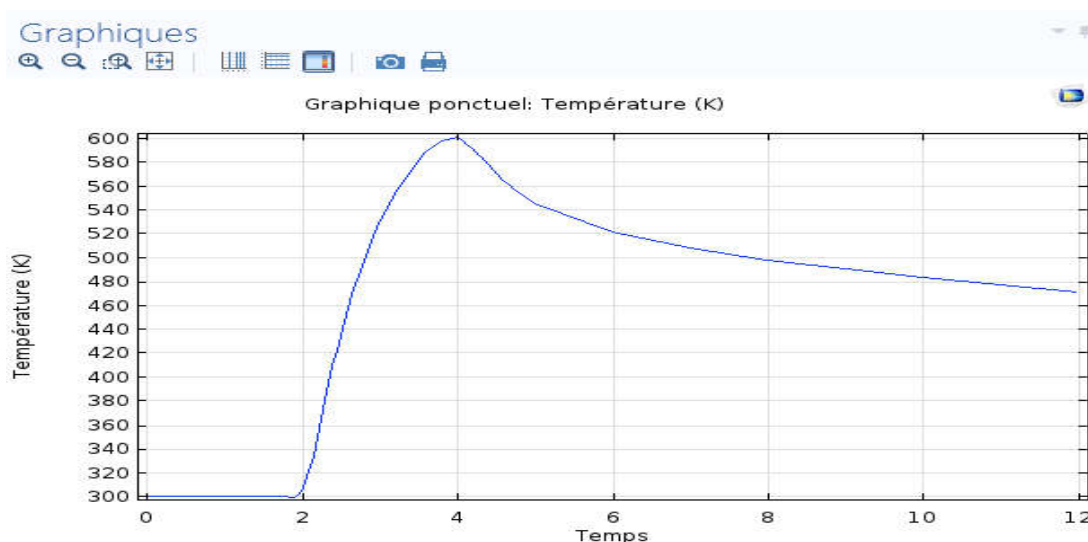


Figure III.34: Variation de la température du D/P en fonction du temps.

Nous pouvons conclure que la fonte peut être utilisée dans le disque de frein, ce qui donnera un refroidissement modéré à basse température par rapport à d'autres matériaux. La céramique a de bonnes caractéristiques de refroidissement mais elle est coûteuse par rapport à d'autres matériaux et elle ne peut pas être usinée facilement. Ainsi, elle peut être utilisée dans les voitures de course où une température élevée sera produite.

III.6 Conclusion

Pour étudier la quantité de chaleur générée dissipée dans l'air, étudiez les intégrales de surface de la chaleur produite et de la chaleur dissipée.

Ces intégrales donnent le taux de chaleur total (W) pour la production de chaleur, Q_{prod} , et la dissipation thermique, Q_{diss} , en fonction du temps pour le disque de frein.

Les intégrales de temps de ces deux grandeurs, W_{prod} et W_{diss} , donnent la chaleur totale (J) produite et dissipée, respectivement, dans le disque de frein.

La figure 7 montre un graphique de la chaleur totale produite et de la chaleur dissipée en fonction du temps, huit secondes après que le conducteur a arrêté de freiner, une simple fraction de la chaleur produite s'est dissipée.

En d'autres termes, pour refroidir suffisamment le système, le frein doit rester débrayé pendant une période beaucoup plus longue que ces huit secondes (100 secondes, en fait).

Conclusion général

Bien que la modélisation numérique a contribué à l'optimisation du Comportement thermomécanique des systèmes de freinage et du choix des matériaux des couples disque-plaquettes du point de vue tribologique, l'expérimentation de nouveaux matériaux s'avère indispensable non seulement pour la validation des modèles de simulation numérique, mais également pour l'optimisation du couple disque-garniture en conditions réelles de fonctionnement.

Les travaux de recherche publiés dans le domaine des matériaux destinés aux isques et plaquettes de frein se limitent généralement à des investigations paramétriques dont l'objectif est l'évolution des taux de chaleurs produites et chaleurs dissipée en fonction d'un ou de plusieurs paramètres jugés influents sur le comportement thermique des disques frein en cours de processusde freinage .

Ce projet est basé sur des modélisations numériques pour déterminer la distribution des Températures dans un disque de frein plein en tridimensionnel.

Pour réaliser cette étude à l'aide du logiciel comsol 5.3, on a varié plusieurs paramètres (vitesse, la température ambiante, le chargement, le matériau du disque de frein) avec le temps.

Dans chaque cas de variation des paramètres on a remarqué aux niveaux des graphes de simulation un changement proportionnel des valeurs de températures du disque –frein avec les paramètres varies.

A partir de ces graphes on peut extraire des valeurs max et mini des températures de disque frein, Ça nous aide à poser aux ingénieurs une base de données (référence) du comportement thermique des disques de frein encours de freinage.

Finalement, on considère que ce projet peut être utile pour réaliser d'autres études comme, par exemple, l'étude thermique des disques de frein ventilés.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] retrotech.free.fr/technologie/freinage/06.pdf
- [2] www.theses.fr/2016LYSEC006.pdf
- [3] http://www.autotekno.com/frein_a_disque.php
- [4] T. M-L. Nguyen-Tajan, Modélisation thermomécanique des disques de frein par une approche eulérienne, thèse doctorat. Materials. Ecole Polytechnique X, 2002, France.
- [5] <https://www.memoireonline.com/a/fr/cart/show>
- [6] M. MANIANA¹, A. AZIM², F. ERCHIQUI³, A. TAJAMOUATI¹ ¹Laboratoire LMEET, FST de l'université Hassan 1er, Settat, Maroc. ²Laboratoire LME, université ChouaibDoukkali, El Jadida, Maroc.³Laboratoire CAMEL, UQAT, Canada. ETUDE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN FREIN A DISQUE
- [7] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5328/memoria.pdf>
- [8] www.adilca.com/FORCE_DE_FREINAGE.pdf
- [9] https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/these_djafri_Mohamed.pdf
- [10] https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00161405/file/these_bulthe.pdf
- [11] F.E.Kennedy, F.F. Ling, A thermal, thermoelastic and wear simulation of a high energy sliding contact problem, Journal of Lubrication Technology, 23(2000), 276-296.
- [12] step.ipgp.fr/images/2/27/L2S4_GdE_TTT_partB.pdf
- [13] www.fast.u-psud.fr/~mergui/2A101/cours_thermique_L2.pdf
- [14] A. Belhocine, thermomécanique des disques de frein Application du Code de Calcul ANSYS v11.0. Mechanical engineering. Oran; Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2012. Algérie.
- [15] Received: 3 July 2008 / Accepted: 5 January 2009 / Published online: 27 January 2009 Ó Springer-Verlag 2009
- [16] August 2014 Journal of Engineering 2014:1-6 DOI: [10.1155/2014/494697](https://doi.org/10.1155/2014/494697)
- [17] <https://energie2maison.wordpress.com/2011/01/18/calculer-flux-thermique>
- [18] www.tunisieindustrie.nat.tn/fr/download/fichesPro/IME/01.pdf
- [19] The Thermal Performance of Automotive Disc Brakes. Rudolf Limpert. 1975
- [20] A Belhocine, CD Cho, M Nouby, YB Yi, AR Abu Bakar - 2014 - otik.uk.zcu.cz
- [21] www.fast.u-psud.fr/~mergui/2A101/cours_thermique_L2.pdf

Résumé

L'objectif de ce travail étant de présenter une étude du comportement thermique des disques de frein automobiles et ce afin de prédire tenue lors de l'exploitation. A cause de sa complexité géométrique, on a eu recours à un logiciels COMSOL Multyphysics 5.3) pour la modélisation des pièces du modèle de la maquette numérique et la simulation de son problème thermique.

Dans un premier temps, est présentée une étude bibliographique sur les disques frein et la plaquette.

La bonne prédiction de ce type de mécanismes devient un enjeu majeur pour les industriels.

Le calcul numérique représentatif de la réalité peut être d'un grand intérêt économique puisque il peut informer sur résultats de comportements avec la précision nécessaire cequ'on peut avoir en réalité sous les mêmes conditions de charge et de fixation. Les contraintes générées sous l'effet de la pression de freinage sur la plaquette et sous l'effet de la chaleur dégagée; sont obtenues à l'aide du logiciel .

On rappelle qu'à cause des difficultés d'utilisation d'autres logiciel pour la détermination des Précontraintes d'origine thermique, on a préféré exploiter pour cela, le logiciel COMSOL.

Ce logiciel permet de déterminer la génération de chaleur, sa dissipation dans un frein à disque plein pendant la panique du freinage.

Donc, les analyses faites sur le comportement thermique de ces prototypes permettent de bien faire un choix optimal et économique des solutions technologiques qui représentent les réelles pistes d'amélioration qui répondront au besoin de l'ingénieur en charge de la conception des disques de frein.

Abstract

The objective of this work is to present a study of the thermal behavior of automotive brake discs in order to predict performance during operation. A cause of his geometric complexity, one used a software COMSOL Multyphisics 5.3) for the modeling of the model parts of the digital model and the sound simulation thermal problem.

Firstly, a bibliographic study on brake discs is presented and the wafer. The good prediction of this type of mechanism becomes a major issue for industrial.

Numerical calculation representative of reality have a great Economic interest since it can provide information on behavior results with the necessary precision what can actually be achieved under the same load and fixing conditions. The stresses generated under the effect of the braking pressure on the pad and under the effect of the heat released; are obtained using the software.

It is recalled that because of the difficulties of using other software for determining the Pre-stressing of thermal origin, we preferred to use the COMSOL software for this. This software is used to determine the generation of heat, its dissipation in a full disc brake during panic braking.

Therefore, the analysis made on the thermal behavior of these prototypes allow to make an optimal and economical choice of technological solutions that represent real avenues for improvement that will meet the needs of the engineer in charge of the design of brake disc.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقديم دراسة للسلوك الحراري لأقراص مكابح السيارات التنبؤ بالأداء أثناء التشغيل. سبب له التعقيد الهندسي، تم استخدام برنامج (COMSOL Multyphysics 5.3) لنمذجة أجزاء النموذج من النموذج الرقمي ومحاكاة مشكلة حرارية. أولاً، يتم تقديم دراسة ببليوغرافية عن أقراص المكابح والرقاقة يصبح التنبؤ الجيد لهذا النوع من الآليات قضية رئيسية للمهندس الصناعي. يمكن أن يكون ممثلاً للحساب العددي للواقع ذا أهمية كبيرة اقتصادياً لأنه يمكن أن يوفر معلومات عن نتائج السلوك بالدقة اللازمة لما يمكن تحقيقه بالفعل في ظل نفس ظروف الحمل والتثبيت. الضغوط الناتجة عن تأثير ضغط الكبح على الوسادة وتحت تأثير الحرارة المنبعثة؛ يتم الحصول عليها باستخدام البرنامج. وتجدر الإشارة إلى أنه بسبب صعوبات استخدام برامج أخرى لتحديد الاجهادات الحرارية، فضلنا استخدام برنامج COMSOL لهذا الغرض. يستخدم هذا البرنامج لتحديد توليد الحرارة وتبديدها في فرامل قرصية كاملة أثناء الكبح المفاجئ. لذلك، تسمح التحليلات التي أجريت على السلوك الحراري لهذه النماذج الأولية للقيام باختيار مثالي واقتصادي للحلول التكنولوجية التي تمثل طرقاً حقيقية لتحسين و تلبية احتياجات المهندس المسؤول عن تصميم أقراص الفرامل.