

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la recherche scientifique



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productive

Thème

**Etude du comportement tribologique d'un
disque de frein**

Présenté par :

- **KASDI Yacine**
- **SAOUDI Liamine**

Soutenu le 03 juillet 2019 devant le jury composé de :

Président	Dr M. BRADAI	Professeur	U. A /Mira Bejaia
Encadreur	Dr H. SADEDDINE	Maitre de conf.A	U. A /Mira Bejaia
Examineur	Dr R. YOUNES	Maitre de conf.B	U. A /Mira Bejaia

Année Universitaire 2018-2019

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Nous ne pouvons oublier de présenter notre gratitude à nos parents pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour nous.

Nos vifs remerciements vont à Mr H. SADEDDINE, notre promoteur, pour avoir accepté de nous encadrer et de diriger ce projet de fin d'études.

Nous remercions chaleureusement Madame IKHLOUFI de sa précieuse collaboration durant notre travail.

Nous remercions également les membres de jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail. Mr BRADAI en tant que Président de jury et Mr YOUNES

Nous REMERCIONS l'équipe du hall de technologie de L'université de Bejaia

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

Enfin, un merci tout particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

DEDICACES

JE TIENS VIVEMENT, À DÉDIER CE TRAVAIL
POUR MA MÈRE

ET MES DEUX FRÈRE : A/MALEK ET A/AZIZ
ET POUR MA CHÈRE SŒUR : SORIA

CE MEMOIRE EST DEDIE A MON PÈRE DEFUNT
QU'IL REPOSE EN PAIX

A TOUTE LA FAMILLE KASDI

ET À TOUS MES PROCHES SANS EXCEPTION, EN
PARTICULIER NOTRE PROMO FABRICATION
MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE « 2018/2019 »

Yacine. K

DÉDICACE

JE TIENS VIVEMENT, À DÉDIER CE TRAVAIL EN SIGNE DE RESPECT ET

DE

RECONNAISSANCE.

AUX DEUX PERSONNES TRÈS CHÈRES QUI ONT PARTAGÉ MES JOIES ET

MES

PEINES, QUI ONT ÉTÉ TOUJOURS À MES CÔTES, QUI ONT FAIT DE MOI SE

QUE JE SUIS AUJOURD'HUI : MA MÈRE ET MON PÈRE

ET À TOUS MES FRÈRES : NADJET, ZIANE

ET À TOUS MES PROCHES SANS EXCEPTION, NOTRE PROMO

FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

2018/2019

À TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ À M'AIDER À LA RÉALISATION DE

CE MÉMOIRE.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	i
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	ix
INTRODUCTION GENERALE.....	1
I.1. La tribologie :.....	3
I.1.1 Historique de la tribologie	3
I.1.2 Les systèmes tribologiques	4
I.1.3 Analyse des systèmes tribologiques	5
I.2. Le frottement.....	5
I.3. L'usure.....	6
I.3.1 Mécanisme d'usure	6
I.3.2 Loi d'usure.....	10
I.4. Systèmes de freinage	10
I.4.1 Historique	10
I.4.2 Structure générale d'un système de freinage	11
I.4.3 Fonction globale.....	12
I.5. Les Technologies principales qui sont utilisées pour le freinage	12
I.5.1 Freins à sabots.....	13
I.5.2 Frein à tambour	13
I.5.3 Frein à disque.....	15
I.6. Comportement tribologique des matériaux des disques de frein.....	16
I.6.1 Effet de la vitesse de glissement	16
I.6.2 Effet de la température	17
I.6.4 Effet de la charge normale appliquée sur les disques de frein	17
I.6.5 Effet de la fatigue thermique	17
I.6.6 Effet de la corrosion	18
I.6.7 Effet de l'état de surface.....	18
I.7. Eléments d'un frein à disque.....	19
I.8. Les composants des freins à disques	20
I.8.1 Les étriers de frein (fixe vs flottant).....	21
I.8.2 Les plaquettes	22
I.8.3 Le disque	23

TABLE DES MATIERES

I.9.	Les types des disques de frein	23
I.9.1	Les disques pleins	23
I.9.2	Les disques ventilés.....	24
I.9.3	Les disques percés.....	25
I.9.4	Les disques rainurés	25
I.10.	Les problèmes des disques De freins et les Plaquettes de frein.....	26
I.10.1	Disques de freins	26
I.11.	Plaquette de frein pour disque.....	28
I.11.2	Plaquette Fuselées	29
I.11.3	Usure non-uniforme :	29
I.12.	Les Matériaux du disque frein.....	30
I.12.1	Fonte grise	30
I.12.2	Aciers inoxydables	32
I.12.3	Matériaux composites.....	33
I.13.	Conditions d'utilisation.....	34
I.13.1	Matériaux des garnitures de frein.....	34
I.13.2	Matériaux des supports.....	35
I.14.	Critères d'évaluation des matériaux des disques de frein	35
I.14.1	Efficacité.....	35
I.14.2	Confort.....	36
I.14.3	Endurance	36
I.15.	Matériaux de frictions utilisées pour les plaquettes de freins Matières premières	37
I.16.	Conclusion	37
II.1.	Préparation de système de freinage	38
II.1.1	l'étrier de freinage.....	38
II.1.2	Pièce de fixation de disque.....	39
II.1.3	Pièce de fixation de l'étrier de freinage.....	39
II.1.4.	Moteur asynchrone.....	40
II.2.	Les instruments de mesures	41
II.2.1	Le thermomètre à infrarouge.....	41
II.2.1	Tachymètre.....	42
II.2.3	Le poids de charge	43
II.2.4	Chronomètre.....	43
II.2.5	F-Balance électronique	44
II.3.	Déroulement de l'essai.....	44
II.4.	Techniques expérimentales	45

TABLE DES MATIERES

II.4.1. Préparation des échantillons avec le polissage	45
II.4.2. L'essai de dureté des disques de frein	46
II.4.3. Test de dureté Rockwell.....	46
II.5. Test d'usure.....	47
II.6. Déroulement d'essai	47
II.7. Méthodes mathématiques utilisées	48
II.7.1. Méthodes des moindres carrées	48
II.7.2. Le logiciel Origin.....	48
II.8. Conclusion	48
Chapitre III : Résultats Et Discussion	49
III.1. Opérations de polissage	49
III.1.1 Essais dureté.....	49
III.2. Mesure des températures de contact suivant les vitesses de rotation du moteur	50
III.2.1 La température de contact des deux disques plein et ventilé pour une charge de freinage 4.2 kg =>F=41.2N la température ambiante 24°C	50
III.2.2.1 Elaboration d'équation de la courbe par la méthode des moindres carrées pour le disque plein avec une force de freinage 41.8N.....	51
III.2.2.2 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 41.8N	53
III.2.2.4 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque ventilé à une force de freinage 41.8N	55
III.3. La température de contact des deux disques plein et ventile pour une Charge de freinage 6.2kg =>F=60.8N.....	56
III.3.2 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque ventilé à une force de freinage 60.2N	58
III.4. température de contact des deux disques plein et ventile pour une charge de freinage m= 10.2Kg => F=100N pour une température ambiante 24°C	58
III.4.1.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 100N.....	60
III.4.2.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque ventile à une force de freinage 100N	61
III.5. Détermination de temps de contact suivant les vitesses de rotation du moteur.....	62
III.5.1.Le temps de freinage pour les deux disques plein et ventile pour une force de freinage 41.2N.....	62
III.5.1.1.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 41.2N	64
III.5.1.2.Elaboration d'équation de la courbe par la méthode des moindres carrées pour le disque ventile une force de freinage 41.2N	65

TABLE DES MATIERES

III.5.2.Le temps de freinage pour les deux disques plein et ventilé pour une force de freinage 60.8N.....	65
III.5.2.1.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 60.8N	67
III.5.2.2.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque ventilé à une force de freinage 60.8N	68
III.5.3.Le temps de freinage pour les deux disques plein et ventilé pour une force de freinage 100N.....	69
III.5.3.1Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein à une force de freinage 100N.....	70
III.5.3.2.Elaboration d'équation de la courbe le logiciel origin pour le disque ventilé a une force de freinage 100N.....	71
III.6. Test d'usure.....	72
III.6.1.Perte de masse de la plaquette et les deux disques (plein et ventile	72
III.6.2.La perte de masse pour le disque plein et la plaquette en (g) avec une force de freinage 41.2N.....	73
III.6.3.La perte de masse pour le disque plein et la plaquette en (g) avec	73
III.6.4.La perte de masse pour le disque plein et la plaquette en (g) pour une force de freinage 100N.....	74
III.7. Perte de masse de la plaquette et disque ventilé.....	76
III.7.1. La perte de masse pour le disque ventilé et la plaquette en (g) avec une force de freinage 41.2N.....	76
III.7.2. Perte dans les deux disques (plein, ventilé) a une charge de $f=60.80N$	77
III.7.3.Perte de masse dans les deux disques (plein, ventilé) a une charge de $F=100N$	78

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure.I.1:	exemple de système tribologique.	3
Figure.I.2:	le frottement F s'oppose au mouvement relatif entre les deux Corps [3].	6
Figure.I.3:	Analyse tribologique des mécanismes d'usure subis par les paliers lisses.	7
Figure.I.4:	Illustration de l'usure abrasive.	7
Figure.I.5:	Mécanisme d'usure abrasive.	8
Figure.I.6:	mécanisme usure adhésive [9].	8
Figure.I.7:	état de surface après usure adhésive [9].	8
Figure.I.8:	Mécanisme d'usure corrosive.	9
Figure.I.9:	Etat de surface après une usure.	9
Figure.I.10:	Schéma d'implantation du système de freinage.	11
Figure.I.11:	Schéma du système de freinage.	11
Figure.I.12:	schéma de la fonction globale du système de freinage.	12
Figure.I.13:	Sabot vient frotter sur la roue.	13
Figure.I.14:	Illustration d'un frein à tambour.	14
Figure.I.15:	les éléments de frein à tambour.	14
Figure.I.16:	Fonctionnement d'un frein à tambour, au repos (a) et lors du freinage (b). ...	15
Figure.I.17:	Illustration d'un frein à disque.	16
Figure.I.18:	Fonctionnement d'un frein à disque, au repos (a) et lors du freinage (b).	16
Figure.I.19:	Points chauds (a), faïençage thermiques (b), macro fissure sur un disque de frein (c) [9].	18
Figure.I.20:	Vue théorique en coupe d'une surface [12].	19
Figure.I.21:	les récepteurs de freinage.	20
Figure.I.22:	Le système de frein à disque.	20
Figure.I.23:	Comparaison des technologies d'étrier fixe (a) et flottant (b).	22
Figure.I.24:	Plaquette de frein.	22
Figure.I.25:	Le disque.	23
Figure.I.26:	disque plein.	24
Figure.I.27:	Différentes technologies de ventilation des disques schématisées sur une portion de disque de 30°.	25
Figure.I.28:	Disques de freins percés.	25
Figure.I.29:	Les disques rainurés.	26

LISTE DES FIGURES

Figure.I.30:	: Disque fissurés.....	27
Figure.I.31:	Disque à l'usure très visible.	27
Figure.I.32:	Un disque usé.	28
Figure.I.33:	Disque de frein rouillé.	28
Figure.I.34:	Plaquette fissuré.....	29
Figure.I.35:	Plaquette fuselée.	29
Figure.I.36:	Plaquette a usure non- uniforme.....	30
Figure.I.37:	Les micrographies de différentes fontes grises matériaux des disques de frein [7].	32
Figure.I.38:	disque en acier.	33
Figure.I.39:	Constitution d'un matériau composite [20].....	34
Figure.I.40:	Usures du disque et de la plaquette de frein [5].	37
Figure II.1:	plaquette de frein.	38
Figure II.2:	l'étrier de freins.	38
Figure II.3:	réalisation d'une rainure de clavette.	39
Figure II.4:	Montage de clavette sur arbre de moteur.	39
Figure II.5:	deux pièces de fixation sur un métal.....	40
Figure II.6:	insertion l'étrier de Freins.	40
Figure II.7:	Les composants de moteur asynchrone.....	41
Figure II.8:	Le thermomètre à infrarouge.....	42
Figure II.9:	La vitesse mesuré par le tachymètre.	42
Figure II.10:	les poids de charge.....	43
Figure II.11:	Chronomètre pour mesurer le temps de freinage.....	43
Figure II.12:	Balance pour mesurer la perte de masse.	44
Figure II.13:	Assemblage de notre système de freinage	45
Figure II.14:	Polisseuse mécanique de marque (METASERV 2000).....	45
Figure II.15:	Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'UGB.	46
Figure II.16:	La plaquette de frein en acier.	47
Figure II.17:	Mesuré la perte de masse de la plaquette et de disque de frein.	47
Figure II.18:	Les différents outils de logiciel origin	48
Figure III.1:	Les éprouvettes.....	49
Figure III.2:	a) essai de dureté disque plein b) essai de dureté disque ventilé	49
Figure III.3:	Evolutions des températures de contact plaquette/disques (ventilé, plein).....	51
Figure III.4:	Une droite tracée par origin.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure III.5:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b	54
Figure III.6:	Une droite tracée par origin.....	55
Figure III.7:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b	55
Figure III.8:	Evolutions des températures de contact plaquette/disques (ventilé, plein).....	56
Figure III.9:	Une droite tracée par origin.....	57
Figure III.10:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	57
Figure III.11:	Une droite tracée par origin.....	58
Figure III.12:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	58
Figure III.13:	Evolutions des températures de contact plaquette/disques (ventilé, plein).	59
Figure III.14:	Une droite tracée par origin.....	60
Figure III.15:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	60
Figure III.16:	Une droite tracée par origin.....	61
Figure III.17:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	61
Figure III.18:	La température de contacte à une vitesse de rotation 3000tr/min en fonction des charges de freinage.....	62
Figure III.19:	Evolutions de temps de contact plaquette/disques (ventilé, plein).....	63
Figure III.20:	Une droite tracée par origin.....	64
Figure III.21:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	64
Figure III.22:	Une droite tracer par origin.....	65
Figure III.23:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	65
Figure III.24:	Evolutions de temps de contact plaquette/disques (ventilé, plein).....	66
Figure III.25:	Une droite tracer par origin.....	67
Figure III.26:	a figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	67
Figure III.27:	Une droite tracer par origin.....	68
Figure III.28:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	68
Figure III.29:	Evolutions de temps de contact plaquette/disques (ventilé, plein).....	69
Figure III.30:	Une droite tracer par origin.....	70
Figure III.31:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	70
Figure III.32:	Une droite tracer par origin.....	71
Figure III.33:	La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.....	71
Figure III.34:	Evaluation de temps de freinage à 3000 tr/min pour trois charges.....	72
Figure III.35:	a) perte de masse de disque plein b) perte de masse de la plaquette.....	73
Figure III.36:	a) perte de masse de disque plein b) perte de masse de la plaquette.....	74
Figure III.37:	a) perte de masse de disque plein b) perte de masse de la plaquette.....	75

LISTE DES FIGURES

- Figure III.38:** a) perte de masse de disque ventilé b) perte de masse de la plaquette.76
- Figure III.39:** a) perte de masse de disque ventilé b) perte de masse de la plaquette.77
- Figure III.40:** a) perte de masse de disque ventilé b) perte de masse de la plaquette.78

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1:	Paramètre les plus critique des systèmes tribologiques [2].....	5
Tableau I.2:	Composition et la résistance de 3 types de fontes de disques de freins [7]	32
Tableau III.1:	Les températures deux disques en fonction de la vitesse rottion.	50
Tableau III.2:	Méthode des moindres carrées d'évolution des températures de contact. ...	52
Tableau III.3:	Méthode des moindres carrées d'évolution des températures de contact. ...	54
Tableau III.4:	Les températures deux disques en fonction de la vitesse rotation	56
Tableau III.5:	les températures deux disques en fonction de la vitesse rotation.....	59
Tableau III.6:	le temps de freinage deux disques en fonction de la vitesse rotation.....	62
Tableau III.7:	le temps de freinage deux disques en fonction de la vitesse rotation.....	65
Tableau III.8:	le temps de freinage deux disques en fonction de la vitesse rotation.....	69
Tableau III.9:	La perte de masse de disques plein et la plaquette en fonction de la vitesse de rotation	73
Tableau III.10:	La perte de masse de disques plein et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.	74
Tableau III.11:	la perte de masse de disques plein et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.	75
Tableau III.12:	la perte de masse de disques ventilé et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.	76
Tableau III.13:	La perte de masse de disques ventilé et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.	77
Tableau III.14:	La perte de masse de disques ventilé et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.	78

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie automobile prend une place importante dans l'industrie de plusieurs grands pays industrialisés. Elle prend parfois un aspect stratégique compte tenu à la fois de sa proximité historique avec les industries militaires, de l'importance qu'elle peut prendre dans le produit intérieur brut et l'emploi de certains pays (États-Unis, France, Grande-Bretagne, Allemagne) et de l'image que l'automobile peut donner d'un pays auprès de l'extérieur (le design italien, l'Américain, la mécanique allemande, le zéro défaut japonais, l'innovation française, etc.).

En Algérie l'industrie mécanique, en particulier l'automobile, a connu au cours de ces dernières années une amélioration remarquable. Les pouvoirs publics ont bien compris l'importance de lancer cette activité afin de limiter et réduire la facture de l'importation qui pèse lourde sur le budget de l'État.

Avec le développement de nouvelles technologies dans l'industrie automobile, les véhicules sont devenus de plus en plus performants. Les systèmes de freinage qui a pour rôle de réduire la vitesse ou d'immobiliser le véhicule doivent suivre ce même rythme. 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 crissement 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.

Les systèmes de freinage automobiles utilisent actuellement des disques de frein en acier ou en fonte grise. Ces matériaux sont adaptés aux charges modérées, mais vu l'augmentation du nombre de véhicules avec une puissance de freinage élevée, les constructeurs automobiles essaient de remplacer ces matériaux classique de disques ou tambours de freins par d'autres plus performants. L'exploitation excessive des freins à disques sur les autoroutes pour le cas des voitures et sur les pistes d'atterrissage pour les avions a poussé les constructeurs des systèmes de freinage de trouver des matériaux des disques de frein tels que les composites et les céramiques. Ce genre de matériaux se caractérise par leur faible densité, leur grande résistance à l'usure et faible à la corrosion.

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

Le Chapitre I présente une étude bibliographique fondée sur les disques de frein, et les matériaux utilisés dans la fabrication des disques de frein et les plaquettes.

INTRODUCTION GENERALE

Le chapitre II on présente les expérimentations adoptées et les différents protocoles expérimentaux utilisés, ainsi que les différents moyens utilisés.

Le chapitre III est consacré à la présentation des résultats obtenus au cours de notre travail et à l'interprétation des différents résultats

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale présentant une synthèse des résultats obtenus et par des perspectives dans le domaine du contact disque/plaquette

I.1. La tribologie :

La tribologie, étymologiquement, vient du mot grec « TRIBO » qui veut dire « frottement » et Du suffixe « LOGY » qui signifie « science » donc la tribologie et la science qui étudie les phénomènes susceptibles de se produire entre des systèmes en contact, immobiles ou en mouvements relatifs. Elle regroupe ainsi la lubrification, le frottement et l'usure des éléments. La tribologie intervient dans des domaines très variés, allant du comportement des articulations, à l'adhérence des pneumatiques sur la route, en passant par la tenue de fœtus dans le placenta. La tribologie a été subdivisée en deux grands domaines : les contacts lubrifiés par des fluides et les contacts dits secs pour lesquels le lubrifiant est soit un lubrifiant solide, soit un revêtement ou un traitement de surface. L'étude des contacts en frottement sec est plus complexe et reste difficile à modéliser. Chaque contact tribologique constitue un cas d'étude particulier qui est lié à sa conception, aux choix des matériaux et à l'environnement du contact [1]

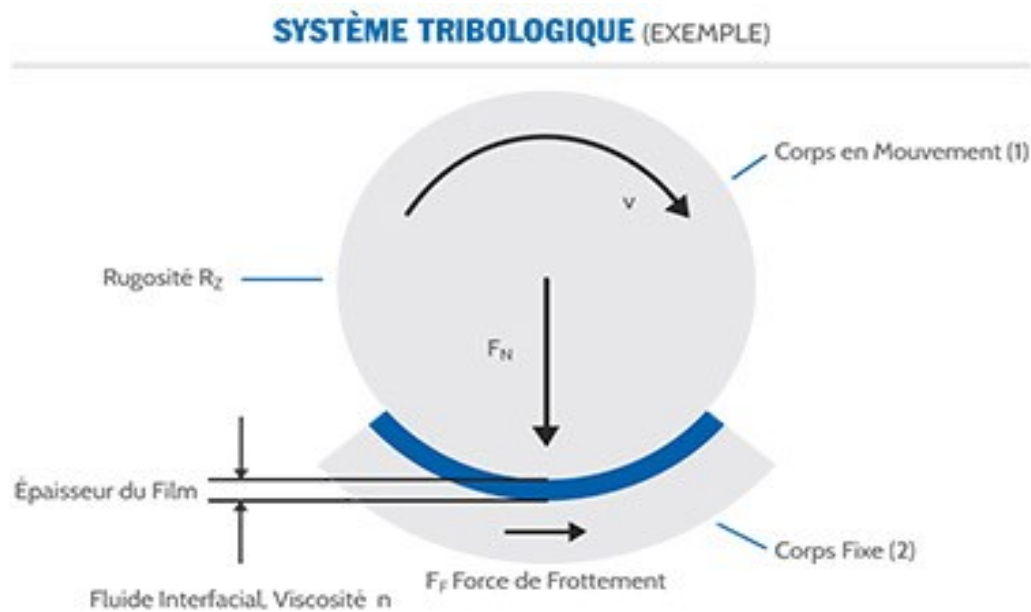


Figure.I.1: exemple de système tribologique.

I.1.1 Historique de la tribologie

Le nom tribologie a été créé en Angleterre ; il a été utilisé pour la première fois dans le rapport présenté le 23 novembre 1965 au Minister of State for Education and Science et publié en février 1966. la tribologie est l'étude ou la science du frottement. Plus généralement la tribologie concerne l'étude des surfaces en contact et en mouvement relatif, elle regroupe ainsi la

lubrification, le frottement et l'usure des éléments de machine. Notons que la notion de frottement a été définie dans les études remarquables de Léonard de Vinci, de Guillaume Amontons et de Charles Coulomb aux XVe, XVIe et XVIIIe siècles. Le frottement fait intervenir de nombreux phénomènes, mais de façon simple on peut le définir comme étant l'action qui tend à s'opposer au déplacement relatif de deux solides en contact. De même l'usure, qui peut prendre de très nombreuses formes, correspond à la détérioration des surfaces au cours de leur utilisation. La tribologie est présente dans la plupart des activités humaines et son domaine, depuis ces cinquante dernières années, s'est largement développé [1].

On peut citer, entre autres, la marche humaine avec l'adhérence au sol, le comportement des articulations et le développement des prothèses, la tenue d'objets à la main, ou encore la tenue du fœtus dans le placenta, la tenue sur route des roues de voitures qui se trouvent paralysées les jours de verglas ou de neige, le ski sur piste, le patinage artistique, la production de sons musicaux par frottement d'un archet contre les cordes tendues d'un violon, les têtes de lecture des disques magnétiques des ordinateurs, le vernis anti rayures des verres de lunettes, la mise en forme des matériaux... et même la recherche sur les activités de l'homme, pendant la Préhistoire.

Cette énumération n'est bien évidemment pas exhaustive. Pour souligner l'importance de la tribologie, il faut noter que, dans les pays développés, les pertes par frottement et usure représentent entre 3,5 et 4 % du PIB et que dans une automobile moderne plus de 25 % de la puissance affichée du moteur est perdue en frottement. Enfin selon une étude récente du CETIM, 80 % des avaries des pièces mécaniques commencent en surface ; ainsi la surface est actuellement une réelle butée technologique [1].

I.1.2 Les systèmes tribologiques

L'ensemble composé d'éléments en interactions statique ou dynamique organisée en fonction d'un objectif [2] :

- Guidage (paliers, roulements, butées...)
- Transmission de mouvement (came, poussoir, linguet,)
- Transmission d'énergie (engrenages, courroies...)
- Étanchéité (joint)
- Portance (roues)

-Mise en forme par déformations (matrices, filières)

-Usinage (outil/pièces)

-Travaux des sols

I.1.3 Analyse des systèmes tribologiques

Complexités des situations et multiplicité des paramètres influence variablement régie par des lois linéaires pas de théorie générale complète.

Orientation du choix des matériaux dans cadre d’analyse prise en comptes des facteurs les plus critiques principaux des paramètres (effets) principaux modes d’usure (endommagement des surfaces)[2].

1-identification des contacts	2-analyses fonctionnelle des contacts
3-identifications des effets probables : avaries ou endommagements	4-détections des processus physique qui conduisant à ces varies ou endommagements
5- expression a des fonctions à remplir par le contact	6-orientations du choix des solutions mécanique ou des matériaux

Tableau I.1: Paramètre les plus critique des systèmes tribologiques [2].

I.2. Le frottement

En physique, le frottement (ou friction) est une interaction qui s'oppose au mouvement relatif entre deux systèmes en contact. Le frottement peut être étudié au même titre que les autres types de force ou de couple. Son action est caractérisée par une norme et une orientation, ce qui en fait un vecteur. L'orientation de la force (ou du couple) de frottement créé sur un corps est opposée au déplacement de ce corps relatif son environnement. La science qui étudie le frottement entre solides est la tribologie.

La tribologie est complexe par le fait que le frottement n'est pas dû à une interaction élémentaire, mais résulte de causes diverses, principalement des forces électromagnétiques et de l'interaction d'échange entre les atomes des surfaces en contact. Ces mêmes forces sont également en jeu dans l'adhérence, qui s'oppose à la création d'un mouvement, qui pour cette raison peut être étudiée conjointement [3].

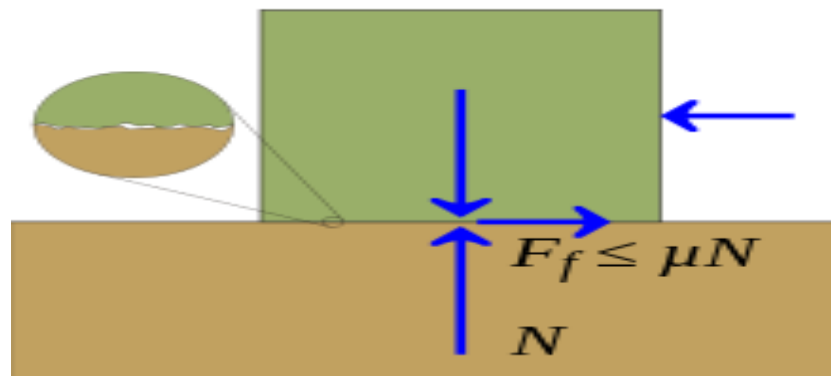


Figure.I.2: le frottement F s'oppose au mouvement relatif entre les deux Corps [3].

I.3. L'usure

C'est un phénomène de dégradation des couches superficielles d'un solide sous action mécanique du milieu extérieur. Cette dégradation est souvent associée aux phénomènes chimiques dus à la corrosion, elle peut prendre la forme d'une perte de masse de cote, de forme, ou encore d'une modification de la structure. L'étude des phénomènes d'usure est un des domaines de la tribologie, Elle ne varie pas nécessairement de manière progressive avec les paramètres comme la vitesse, la température ou le temps [4].

I.3.1 Mécanisme d'usure

Une liste non exhaustive de mécanismes d'usure peut être dressée. Ces phénomènes, repérés dans des cas différents de contacts, peuvent en théorie s'appliquer tous en même temps, certains étant prépondérants par rapport à d'autres en fonction des conditions imposé [4].

MÉCANISMES D'USURE:

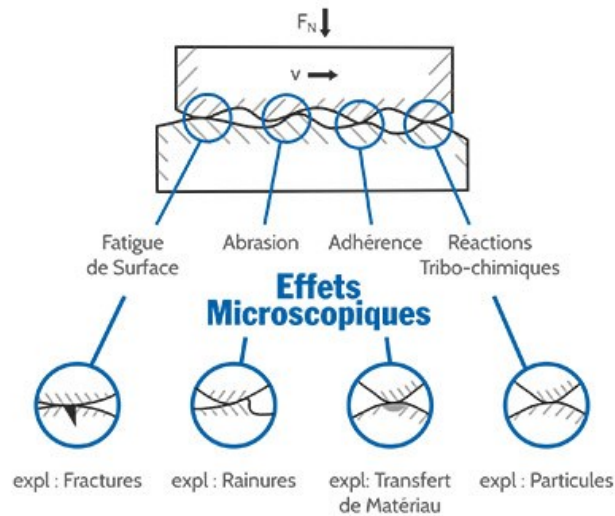


Figure.I.3: Analyse tribologique des mécanismes d'usure subis par les paliers lisses.

A-Usure abrasive

L'usure abrasive est un phénomène mécanique qui représente l'endommagement des surfaces par des aspérités (abrasion à deux corps) ou des particules « dures » (abrasion à trois corps). On différenciera le labourage (déplacement de matière et formation de bourrelets), prédominant pour les matériaux ductiles, de la coupe (enlèvement de matière), particulièrement repérée pour des matériaux fragiles.

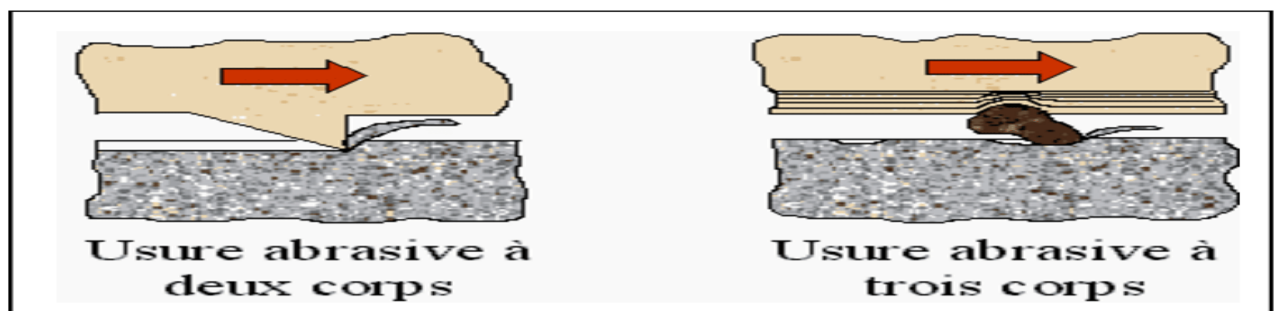


Figure.I.4: Illustration de l'usure abrasive.



Figure.I.5: Mécanisme d'usure abrasive.

B-Usure adhésive

L'usure adhésive fait appel à des notions de physico-chimie. Il y a formation de liaisons (intermoléculaires, interatomiques) à l'interface. On parle d'usure douce lorsqu'on a cisaillement de ces liaisons. L'usure sévère (aussi appelée « grippage ») apparaît lorsqu'il y a arrachement de matière de l'une des surfaces. D'où la formation d'un « film de transfert », collée à la surface antagoniste [4].



Figure.I.6: mécanisme usure adhésive [9].

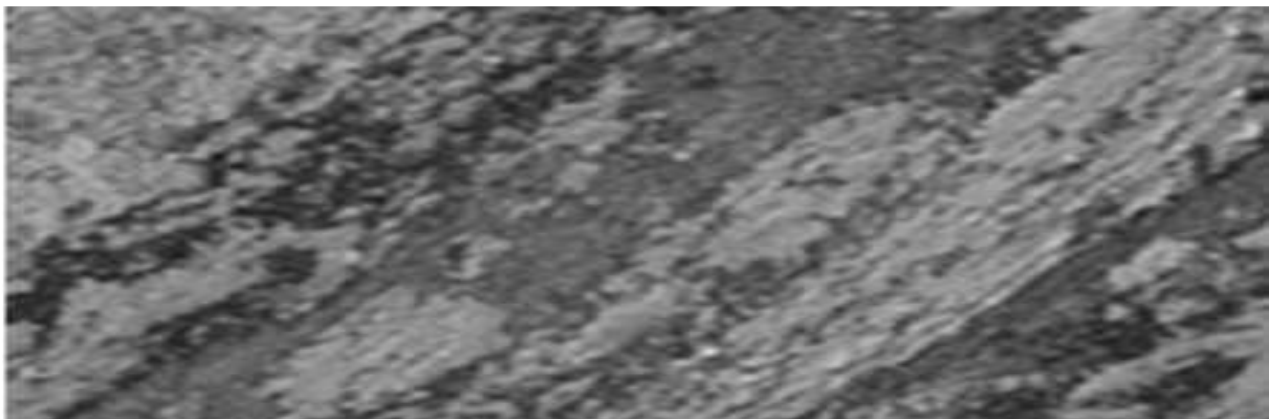


Figure.I.7: état de surface après usure adhésive [9].

C-usure corrosive.

L'endommagement est ici dominé par des réactions chimiques, et les produits de corrosion sont enlevés par action mécanique. Il y a formation de films interfaciaux compactés [4].

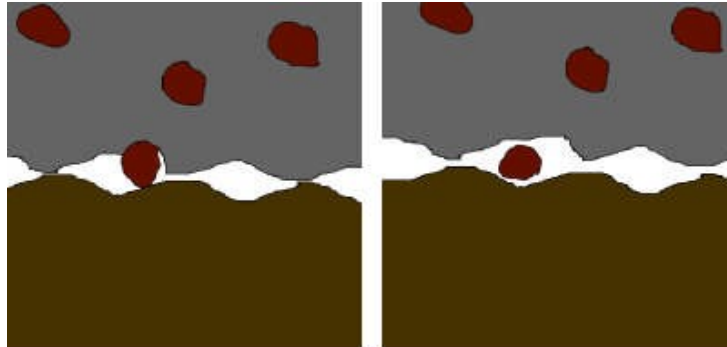


Figure.I.8: Mécanisme d'usure corrosive.

D-Usure par fatigue

Il y a formation de fissures dans les matériaux en présence, sous l'effet de gradients de contraintes cycliques. Les fissures se propagent vers la surface et il y a détachement de « grosses » particules dont la taille peut atteindre le millimètre. On parlera particulièrement d'égrènement lorsqu'il y a formation de trous correspondant à la microstructure initiale des matériaux. Il y a « déchaussement » au niveau des joints de grains d'un métal par exemple. On parle de délamination lorsque les déformations plastiques répétées des premiers corps conduisent à des fissures en sous-surface, parallèles à la surface. Il y a propagation des fissures le long du plan de cisaillement maximum. Malgré une somme importante de travaux sur l'usure, peu d'entre eux abordent le problème dans sa globalité [4].

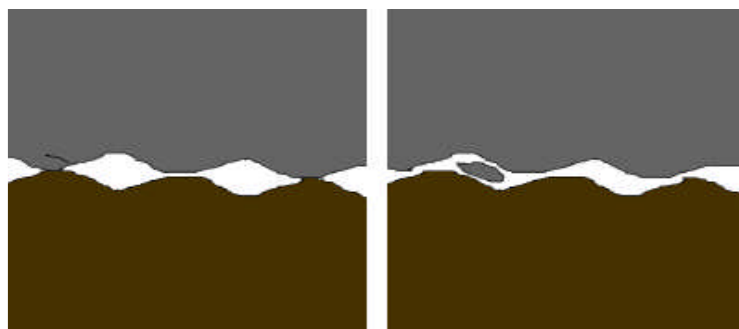


Figure.I.9: Etat de surface après une usure.

I.3.2 Loi d'usure

Si l'usure est un phénomène bien identifié, elle n'a en revanche pas d'unité légale puisque ce n'est pas une grandeur physique, mais un phénomène. Elle représente la dégradation d'un contact, entraînant, dans un certain nombre de cas, une perte de fonction. De nombreux auteurs ont proposé des formules empiriques pour décrire l'usure [J.F.ARCHARD, 1953].

Loi d'Archard :

$$Q = K * (F * L) / H$$

Q : représente le volume de matière arraché.

K : coefficient d'usure.

F : le chargement normal en newton.

L : distance de glissement en mm.

H : dureté du matériau le plus tendre dans le contact.

I.4. Systèmes de freinage

I.4.1 Historique

Depuis l'invention de la roue, la problématique de l'immobilisation de celle-ci, dans certaines circonstances, s'est posé. Sur les véhicules à traction animale le frein consistait en un patin ou sabot actionné par un levier, frottant sur la circonférence de la roue. Système efficace seulement lorsque la roue était propre et sèche. Pour l'immobilisation on plaçait une cale devant la roue. Les premières automobiles utilisaient toujours ce système de sabot, avec une commande par câble ou par levier. Il présentait l'inconvénient de ne pas pouvoir être très puissant, même en appuyant très fort sur la pédale et d'être très sensible à l'encrassement, poussières, boue, graviers. Les freins à tambours furent inventés dans les années 1900, améliorant notoirement le freinage des automobiles de l'époque, au début la commande était encore à câbles. Le premier frein à commande hydraulique est inventé par l'Américain Malcolm Lockheed (frère d'Allan, tous deux cofondateurs de Lockheed) en 1919, ce dernier fonde la Lockheed Hydraulic Brake Company à Detroit et les véhicules Chrysler seront les premiers équipés en 1924. La Lockheed Hydraulic Brake Company deviendra Ben dix en 1932. Avec le passage à une liaison hydraulique, la force appliquée a pu être beaucoup plus importante, rendant les freins plus efficaces, mais aussi plus sollicités. Dans les années 1950, les freins à disque commencent à remplacer les tambours sur des véhicules de série³. En 1978, l'Allemand Bosch commercialise son ABS

électronique, un système antiblocage des roues sur lequel la firme avait commencé à travailler dès 1936. Il équipe la nouvelle Mercedes Classe S et les BMW Série 74. Dernièrement, sur certaines voitures de sport « haut de gamme », les disques en acier ont été remplacés par de la céramique⁵, voire du carbone sur certaines voitures de course comme les Formule 16 (ces derniers nécessitant une température de 250 à 300 °C minimum pour fonctionner⁷). Le carbone est aussi utilisé en freinage aéronautique [5].

I.4.2 Structure générale d'un système de freinage

La structure ci-dessous (Figure I.110) représente une structure de base que l'on retrouve dans tous les véhicules de tourisme dit bas de gamme. On pourra cependant trouver des variantes telles que la disposition de freins à disque sur l'essieu arrière, ou bien la mise en place de système tels que l'ABS ou bien ESP [6].

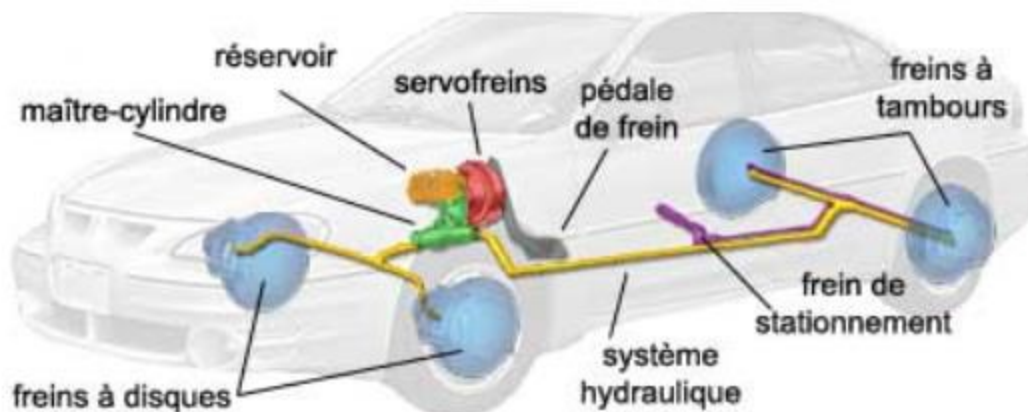


Figure.I.10:Schéma d'implantation du système de freinage.

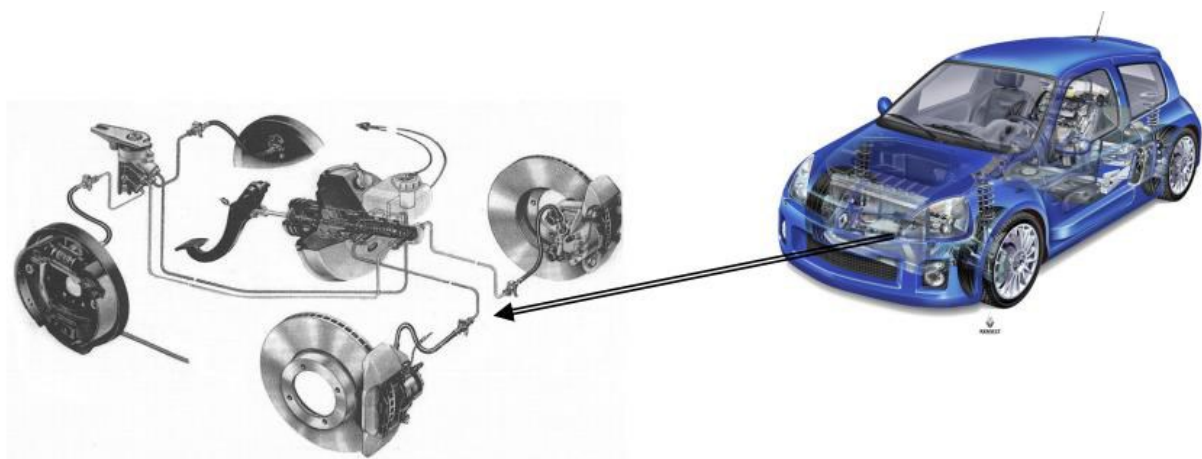


Figure.I.11:Schéma du système de freinage.

I.4.3 Fonction globale

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 crissement 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 [6].

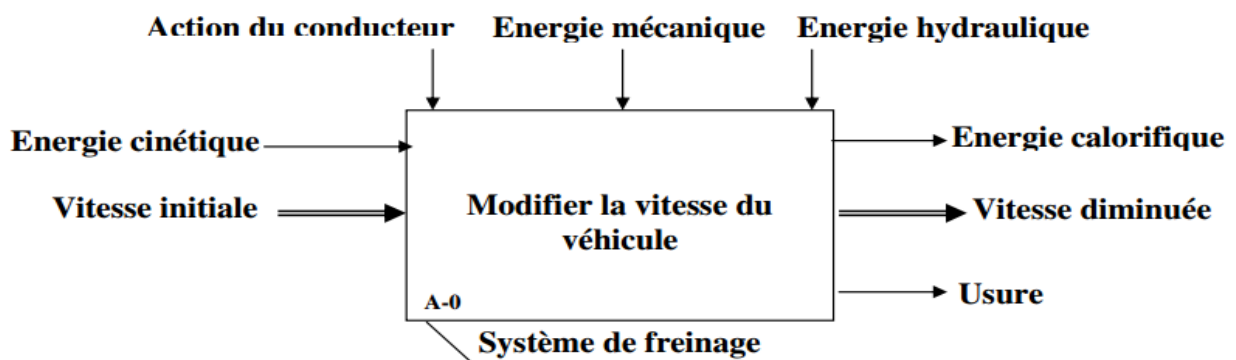


Figure.I.12:schéma de la fonction globale du système de freinage.

Dans un système de freinage, on distingue deux parties :

- Partie commande
- Partie opérative.

I.5. Les Technologies principales qui sont utilisées pour le freinage

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

- frein a sabot
- les freins à tambour.
- les freins à disque.

Les principales technologies et leurs mécanismes sont détaillés dans les sections suivantes.

I.5.1 Freins à sabots

Apparus pour la première fois sur les chariots tirés par les animaux, il sera vite remplacé par les freins à tambour. Le premier frein à friction est apparu sous forme de sabots sur les chariots tirés par des animaux. Pour freiner le mouvement, on pressait les sabots contre les roues du chariot. Ce dispositif, toujours utilisé dans l'agriculture et parfois dans le domaine ferroviaire, a été repris par l'automobile lorsque la vitesse des voitures ne dépassait pas les 25km/h [7]. Les freins à sabots ont vite été remplacés par les freins à tambour et les freins à disques, beaucoup plus efficaces.



Figure.I.13:Sabot vient frotter sur la roue.

I.5.2 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 aux figures (I.14, I.15) [6].



Figure.I.14: Illustration d'un frein à tambour.

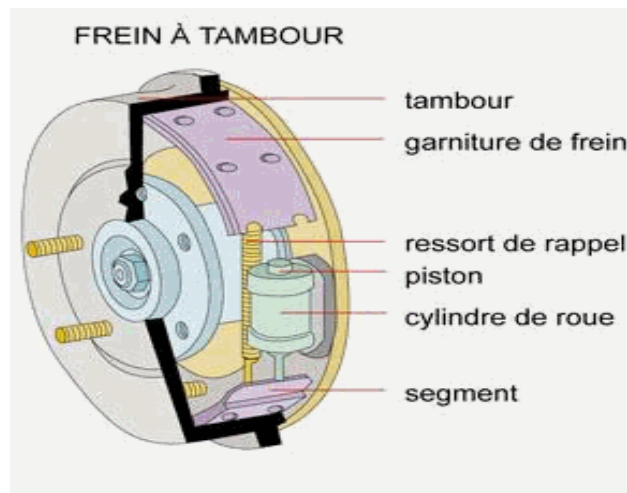


Figure.I.15: les éléments de frein à tambour.

I.5.2.1 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 [6].

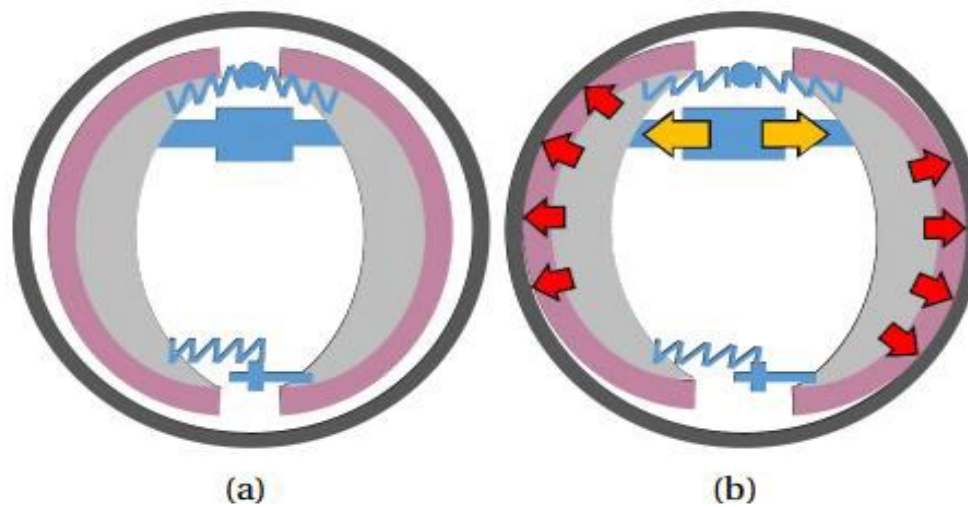


Figure.I.16: Fonctionnement d'un frein à tambour, au repos (a) et lors du freinage (b).

I.5.3 Frein à disque

Le frein à disque est composé d'un disque entraîné par la roue et d'un étrier, solidaire des structures du véhicule et porteur de deux plaquettes frottant sur le disque, poussées par un ou deux pistons à commande hydraulique. L'étrier chevauche le disque sur un secteur limité afin de pincer celui-ci pendant la phase de freinage. La partie du disque en dehors de ce secteur est exposée à l'air libre et de ce fait possède de bonnes caractéristiques de refroidissement pendant et après le freinage. S'il est nécessaire d'accroître ces conditions de refroidissement. 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 [7].

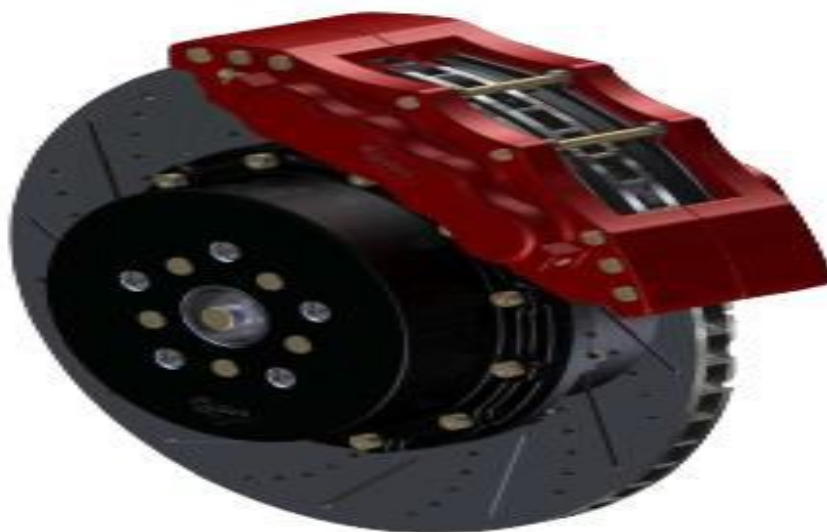
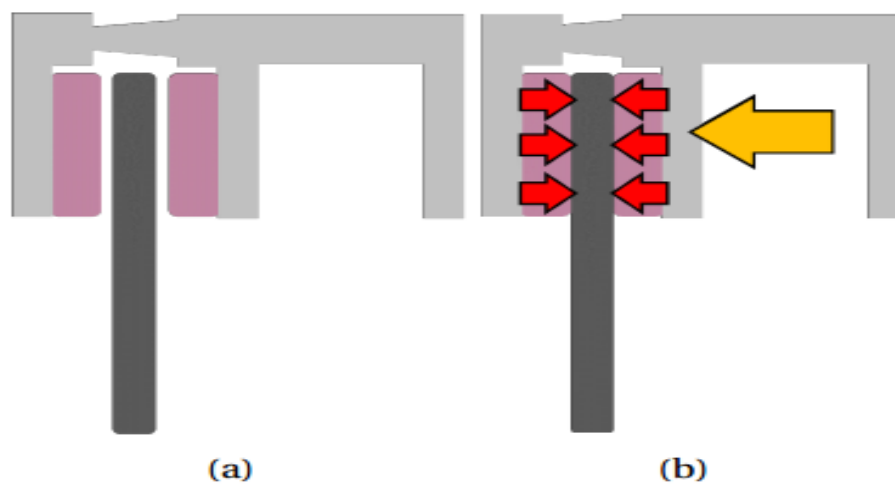


Figure.I.17: Illustration d'un frein à disque.**I.5.3.1 Fonctionnement :**

Le système se compose d'un disque solidaire de la roue qui est donc mis en rotation quand le véhicule se déplace. Un jeu de plaquettes est placé de part et d'autre de ce disque. On nomme plaquette intérieure celle qui est placée côté véhicule et plaquette extérieure celle du côté roue (figure I.18(a)). Ces plaquettes sont maintenues dans l'étrier et peuvent translater de manière normale à la surface du disque sous l'action d'un ou plusieurs pistons. Elles viennent alors, au cours d'une opération de freinage, pincer le disque et ralentir sa rotation jusqu'à stopper le véhicule (figure I.18(b)) [8].

**Figure.I.18:** Fonctionnement d'un frein à disque, au repos (a) et lors du freinage (b).**I.6. Comportement tribologique des matériaux des disques de frein**

En conditions réelles, on ne peut ignorer l'effet d'interaction des paramètres comme la Température, la vitesse ou la pression sur le frottement et l'usure des matériaux des disques de frein. Néanmoins, pour des conditions d'essais de laboratoire, les paramètres peuvent être Étudiés séparément [9].

I.6.1 Effet de la vitesse de glissement

Le cisaillement des ingrédients à l'interface de frottement contre un disque ou un Tambour métallique engendre des sensibilités de frottement et d'usure à la pression de contact et à la vitesse de glissement plus aux moins prononcées en fonction de la composition du matériau étudié [9].

I.6.2 Effet de la température

En pratique, deux méthodes d'essai sont utilisées pour analyser l'effet de la température sur le comportement tribologique des matériaux des disques de frein, soit en augmentant artificiellement la température du couple en contact puis procéder à l'essai de Freinage, soit indirectement en augmentant la sévérité du contact (pression de contact et vitesse de glissement).

Les performances tribologiques des matériaux de disque de frein sont influencées par la température à l'interface, qui est un facteur déterminant pour le frottement et l'usure. La chute du coefficient de frottement et l'augmentation de l'usure sous sollicitations élevées de contact sont dues à la dégradation en température du matériau [9].

I.6.3 Effet de l'humidité

Le taux d'humidité de l'air ambiant est un autre paramètre ayant une influence sur le frottement et l'usure des matériaux des disques de frein [9].

I.6.4 Effet de la charge normale appliquée sur les disques de frein

L'influence de la charge normale appliquée sur les disques de frein en composite d'aluminium et en fonte grise sur leur comportement tribologique. Pour une même vitesse initiale de freinage, le coefficient de frottement décroît avec l'augmentation de la charge normale appliquée sur les disques de frein, et inversement pour le taux d'usure. On constate que le taux d'usure de la fonte grise n'évolue pas de la même manière que le composite, il commence à diminuer aux charges élevées

I.6.5 Effet de la fatigue thermique

Lorsqu'une pièce subit localement des variations cycliques de température, des gradients thermiques apparaissent et induisent des contraintes par dilatations. Ces variations cycliques de température et de contrainte peuvent conduire à un endommagement dit de fatigue thermique, caractérisé par des déformations thermiques locales et des concentrations de contraintes (figure I.20) [9].

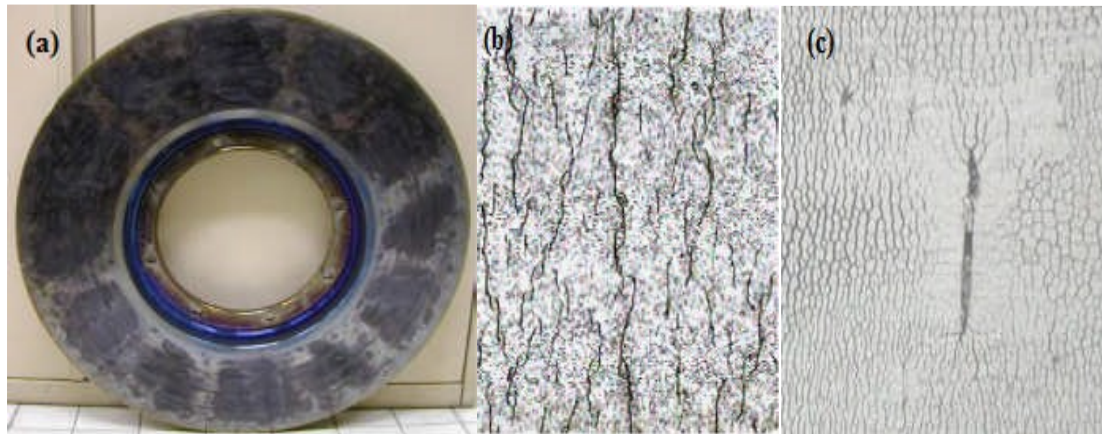


Figure.I.19:Points chauds (a), fissuration thermique (b), macro fissure sur un disque de frein (c) [9].

I.6.6 Effet de la corrosion

La corrosion des matériaux de freinage contribue souvent à une génération de vibrations indésirables. Les disques de frein en général sont exposés à la corrosion atmosphérique dont les origines sont le changement des conditions climatiques, le taux d'humidité relative et le taux de salinité de l'air humide et de l'eau par exemple dans les régions du littoral ou bien à la suite du salage des routes enneigées en hiver [9].

I.6.7 Effet de l'état de surface

En tribologie, le terme surface représente une couche d'épaisseur comprise entre 10⁻² et 10⁻⁶ mm. La composition chimique et les propriétés mécaniques de cette zone peuvent être très différentes de celles du cœur du matériau. La surface peut être soit recouverte de films contaminant (gaz adsorbés, produits organiques), d'oxydes et dans le cas de métaux, soit écrouie, (figure I.21) [9].

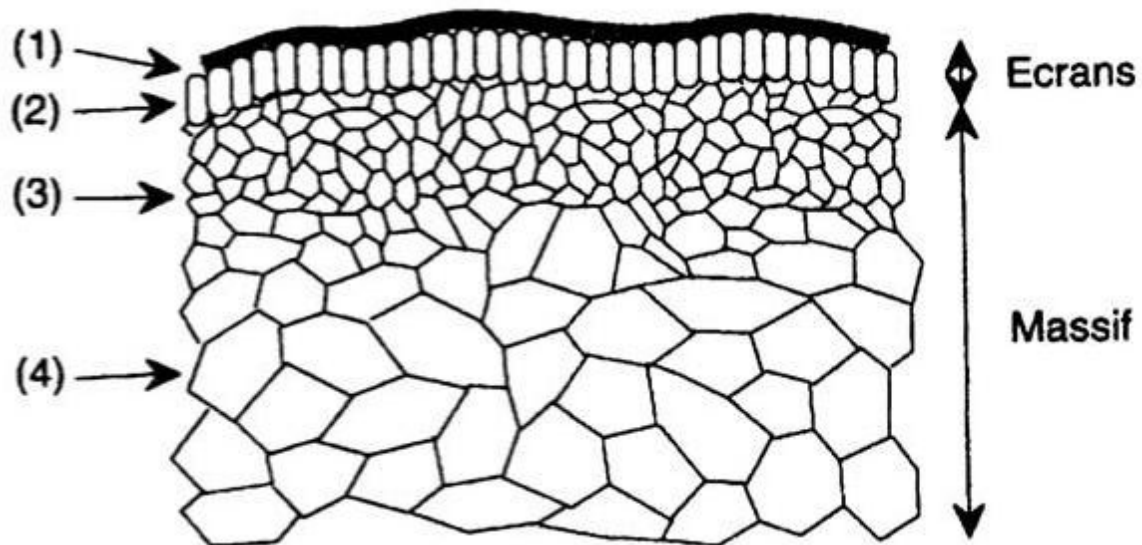


Figure.I.20: Vue théorique en coupe d'une surface [12].

1 : indique le film de contamination (0,3 à 3 nm) constitués de couches

Absorbées

2 : un film d'oxydes (1 à 10 μm)

3 : perturbation mécanique (1 à 50 μm) de structure écrouie

4 : d'épaisseur supérieure à 100 μm est le cœur du matériau.

I.7. Eléments d'un frein à 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.22)

1-Disque, 2-Etrier, 3-Flexible de frein, 4-Vis de purge, 5- Plaquette de frein.

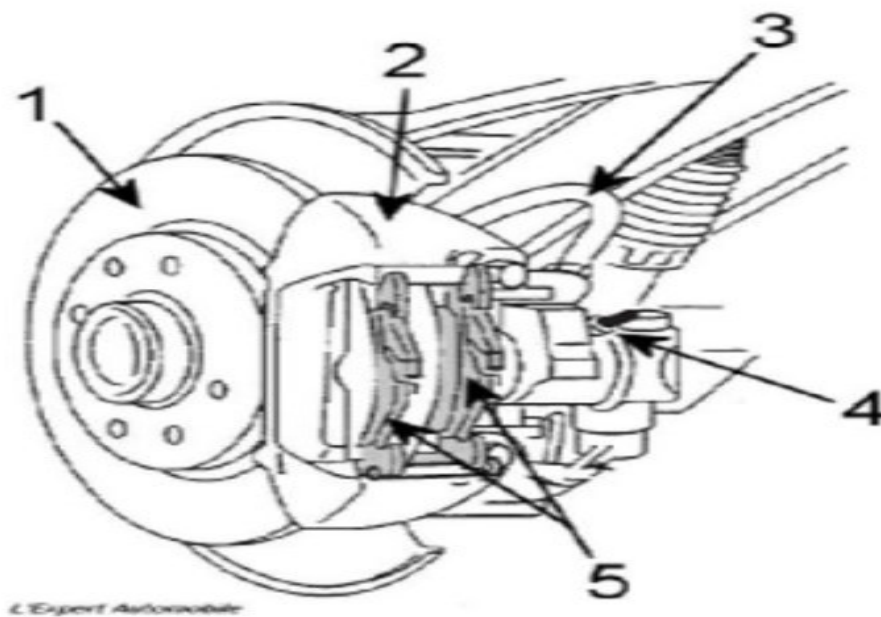


Figure.I.21:les récepteurs de freinage.

I.8. Les composants des freins à disques

Le système de freinage à disque se réunit de trois composants majeurs pour un fonctionnement optimal.

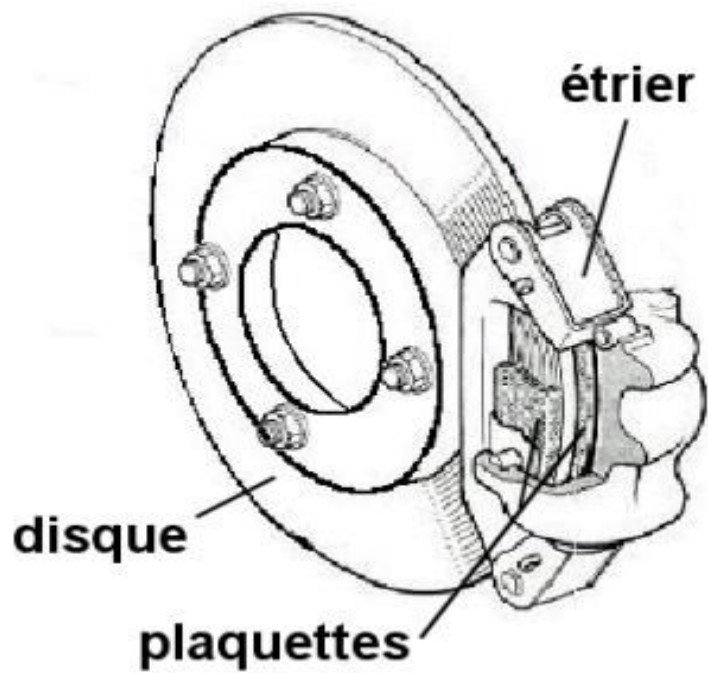


Figure.I.22:Le système de frein à disque.

I.8.1 Les étriers de frein (fixe vs flottant)

C'est une Partie intégrante du dispositif de freinage d'un véhicule, l'étrier de frein pousse les plaquettes contre le disque de frein et cela, dans l'objectif de ralentir la roue. il existe deux type dès l'étrier de frein :

1-Les étriers fixes

2-Les étriers flottants

A-Frein à étrier fixe

Un étrier fixe se compose au minimum de deux pistons alors qu'il n'en faut qu'un pour un étrier flottant. Pour un étrier fixe, un piston est placé de chaque côté du disque, au dos de chacune des plaquettes, intérieure comme extérieure. Lorsque le conducteur freine, chaque piston pousse alors la plaquette qui lui est associée contre la surface du disque en rotation. L'étrier est lui fixe et ne sert que de guide à la translation du piston et des plaquettes [14].

B-Frein à étrier flottant

Dans le cas de l'étrier flottant, un seul piston est nécessaire du côté intérieur du système. La Plaquette extérieure est alors plaquée contre le disque par le coulissement de l'étrier dans un porte étrier. Quand la pression est appliquée, le piston avance et vient pousser la plaquette intérieure contre le disque. Quand la plaquette intérieure est en contact avec le disque, l'effort de réaction appliqué à l'étrier le fait coulisser dans la direction opposée au mouvement de la plaquette, de sorte qu'il vient également déplacer la plaquette extérieure contre le disque. Cette conception a l'avantage d'être plus légère et moins coûteuse, ce qui en fait la solution la plus répandue dans l'industrie automobile. Cela dit, les véhicules nécessitant de hautes performances de freinage, notamment en sport automobile, sont eux équipés de systèmes à étrier fixe possédant plusieurs pistons par plaquettes [14].

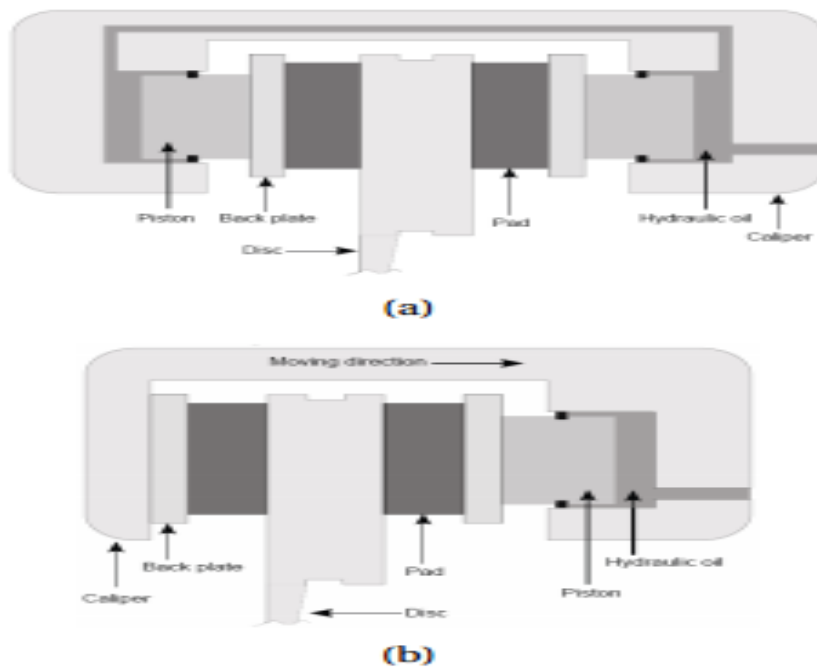


Figure.I.23: Comparaison des technologies d'étrier fixe (a) et flottant (b).

I.8.2 Les plaquettes

Les plaquettes de freins jouent un rôle primordial, Constitué d'un support métallique et de garnitures, les plaquettes de freins ont pour rôle d'assurer le frottement avec les disques, permettant ainsi de les ralentir, et de stopper le véhicule. Elles sont installées dans les étriers [14].

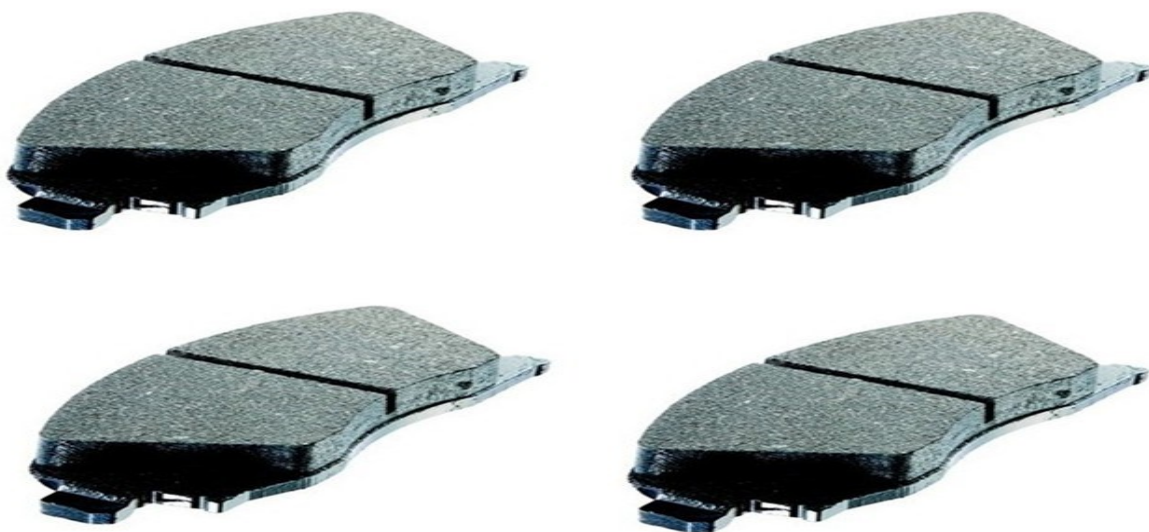


Figure.I.24: Plaquette de frein.

I.8.3 Le disque

Le disque est constitué d'un anneau plein avec deux pistes de frottement (Fig. I.26), 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 [15].

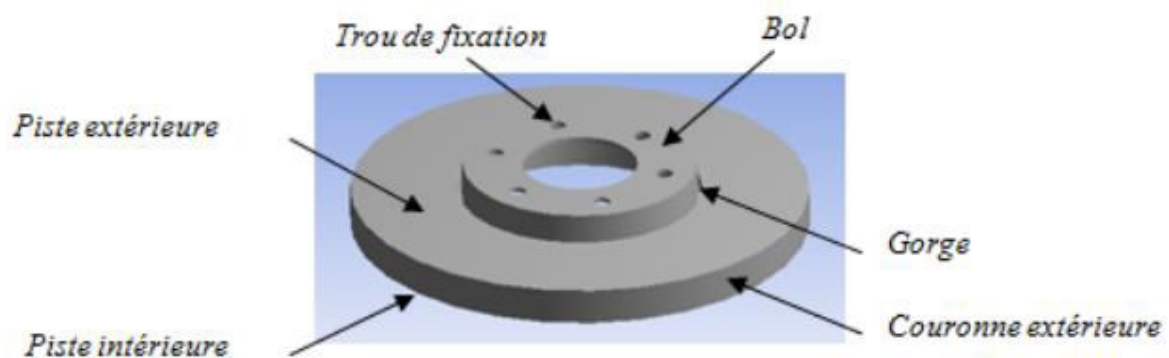


Figure.I.25:Le disque.

I.9. Les types des disques de 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 [15].

I.9.1 Les disques pleins

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 (Figure I.27)



Figure.I.26:disque plein.

I.9.2 Les disques ventilés

Ils sont de géométrie plus complexe, ils sont d'utilisation récente par rapport aux disques pleins. Composés de deux couronnes appelées -flasques- séparées par des ailettes de géométries diverses (Fig. I.28) ; ils refroidissent mieux, par convection avec le milieu environnant. Le disque ventilé comporte plus de matière que le disque plein, il permet donc une meilleure absorption d'énergie calorifique Il existe plusieurs géométries d'ailettes parmi lesquelles différents paramètres sont pris en compte



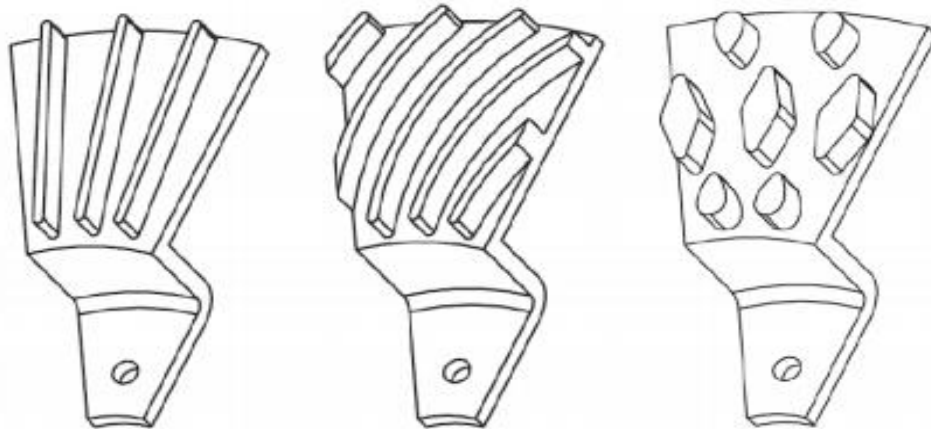


Figure.I.27: Différentes technologies de ventilation des disques schématisées sur une portion de disque de 30°.

I.9.3 Les disques percés

Le perçage des disques permet en plus du refroidissement, le nettoyage des disques, (Fig I.29). 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) a tendance à craqueler et casser.



Figure.I.28: Disques de freins percés.

I.9.4 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, (Figure I.30).



Figure.I.29: Les disques rainurés.

I.10. Les problèmes des disques De freins et les Plaquettes de frein

I.10.1 Disques de freins

Il existe plusieurs cas des défaillances des disques de freins sont :

I.10.1.1 Le disque fissuré ou cassé :

Des contraintes de chocs thermiques sur la surface de la piste du disque peuvent provoquer des fissures dans la structure de coulée. Des fissures affectent la solidité du disque et peuvent, suivant leur taille et leur sollicitation, entraîner une rupture du matériau. Il est difficile de définir quelles dimensions de fissures sont encore acceptables. Cependant, afin d'éviter tout risque, les disques de frein présentant des fissures visibles à l'œil nu devront être remplacés. Il faut également noter que le risque de rupture augmente avec la longueur des fissures. Outre le risque de rupture, les fissures provoquent par leur effet de râpe une usure plus forte du matériau de friction. Cet effet s'intensifie encore sous l'influence de la température, du fait que les fissures s'élargissent [16].



Figure.I.30: Disque fissurés.

I.10.1.2 Le disque a atteint son épaisseur minimale :

L'épaisseur minimale est généralement inscrite sur la tranche du disque

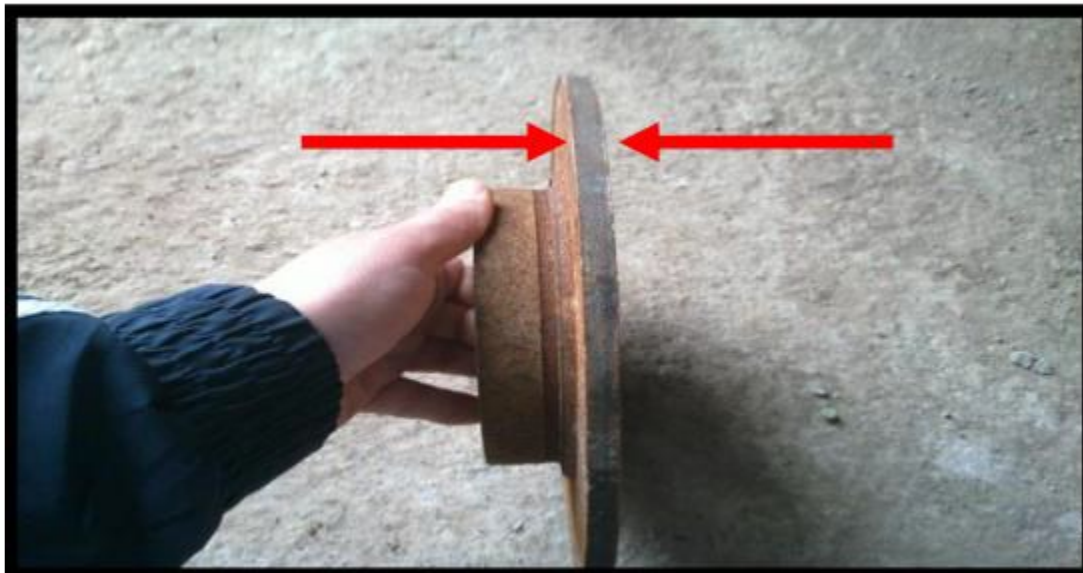


Figure.I.31:Disque à l'usure très visible.

I.110.1.3 L'usure :

L'usure des disques de freins est le problème majeur que rencontrent les ingénieurs. Les disques de frein doivent à la fois supporter les fortes variations de températures et aussi résister aux fortes sollicitations mécaniques, c'est pour cela qu'ils sont généralement fabriqués à base de matériaux avec un bon comportement thermomécanique, ajoute à cela le paramètre coût, il faut qu'ils soient rentables. La fonte grise à graphites lamellaires est communément le matériau le plus utilisé pour fabriquer les disques de frein pour le secteur automobile, justement à cause de sa haute résistance à l'usure et cela en ajoutant une riche plage des additives qui peuvent être

incorporés, ce qui nous permet de jouer sur les différentes caractéristiques thermomécanique du matériau [16].



Figure.I.32:Un disque usé.

I.10.1.4 La corrosion

Les surfaces de frottement des disques de frein peuvent présenter une formation importante de rouille, (FigureI.34) par l'effet des agents environnementaux par exemple l'humidité, atmosphère salée. Les disques peuvent être protégés par des revêtements adéquats des surfaces de contact [16].



Figure.I.33:Disque de frein rouillé.

I.11. Plaquette de frein pour disque

Les défaillances des plaquettes de frein sont les suivantes :

I.11.1 Plaquettes Fissurées

Si de petites fissures apparaissent sur la plaquette de frein (figure I.35), ceci est généralement causé par un fléchissement incorrect de la plaquette à cause d'un étrier qui colle. Le piston tord la plaquette arrière ce qui fait craquer le matériau de friction. Si ce problème survient, il est important d'effectuer des travaux de maintenance au niveau de l'étrier et de remplacer les plaquettes [17] .

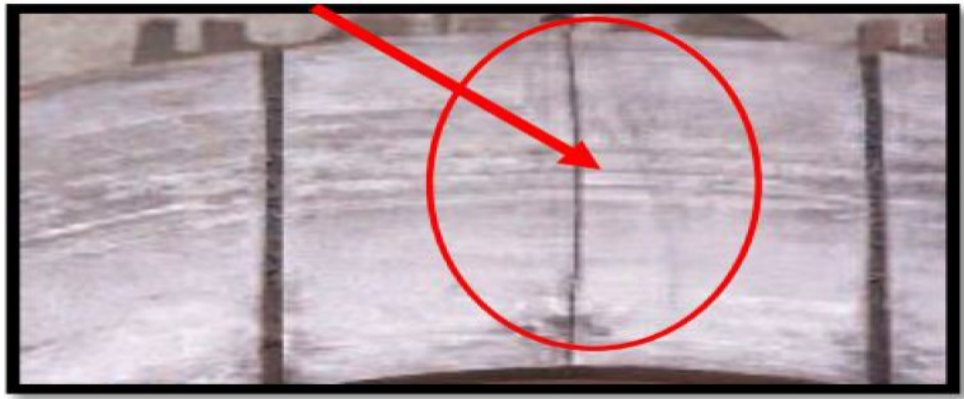


Figure.I.34:Plaquette fissuré.

I.11.2 Plaquette Fuselées

Une plaquette fuselée [17] présente une épaisseur différente sur une extrémité de la plaquette et cause une pression de freinage non-uniforme et du bruit. Ceci est habituellement dû à un étrier déformé, un étrier collant ou un jeu trop important au niveau de l'étrier. Les plaquettes doivent être remplacées et l'étrier doit être contrôlé (voir figure I.36).



Figure.I.35:Plaquette fuselée.

I.11.3 Usure non-uniforme :

On observe des cannelures profondes sur une plaquette présentant une usure non-uniforme le long de sa surface (figure I.37). Cela entraînera généralement des grincements et le

broutage des freins Le disque présentera également des cannelures en correspondance le long de la surface de freinage. Si ce problème survient le disque de frein et la plaquette de frein doivent être changés [17].



Figure.I.36:Plaquette a usure non- uniforme.

I.12. Les Matériaux du disque frein

I.12.1 Fonte grise

Dans l'industrie automobile, on utilise communément des disques de frein en fonte grise à graphite lamellaire, pratiquement exemptes de cémentite et d'eutectique phosphoreux. La fonte grise possède un bon comportement thermomécanique ; elle est peu chère, peut être coulée facilement et se fabrique aisément. Elle présente une bonne conductivité, une résistance mécanique satisfaisante et une faible usure. Les proportions de carbone et l'addition de différents éléments (phosphore, potassium, silicium, manganèse, cuivre, soufre, nickel, chrome, molybdène, aluminium, autres éléments d'alliages et des impuretés diverses) permettent d'améliorer les propriétés thermomécaniques et tribologiques de la fonte [1-4]. Notons que plus la teneur en carbone faible, plus la résistance mécanique de la fonte ne devient mauvaise. Appliquer Les contraintes thermiques diminue avec l'augmentation de la conductivité [18].

La formule ci-dessous permet de choisir le matériau du disque de frein du point de vue thermique :

$$K' = \lambda d \sigma T_{adm} / E \alpha l \quad (II.1)$$

Avec :

K': Grandeur caractéristique du matériau en [W/m]

σ_{Tadm} : Résistance thermique admissible de fatigue [N/m]

λd : Coefficient de conductivité thermique du matériau [N/m.K]

αl : Coefficient de dilatation thermique [k-1] ou [mm/MM.K]

La tâche du constructeur et du métallurgiste est de choisir un matériau dont la valeur de soit aussi grande que possible. De la relation précédente, on peut déduire que le matériau du disque de frein doit avoir les qualités suivantes :

- > Une résistance thermique à la fatigue élevée (σ_T)
- > Un coefficient de conductivité thermique élevé (λa)
- > Un petit coefficient de dilatation thermique (αl)
- > Un faible module d'élasticité (E).

Il existe une corrélation entre les paramètres de la relation 1.1. Plus la résistance thermique à la fatigue augmente, plus le module d'élasticité ne devient grand. Une meilleure conductivité thermique donne un coefficient de dilatation plus élevé (Ces corrélations montrent qu'il est difficile d'avoir une valeur optimale de la grandeur, car les facteurs de la relation (I.2) ont des tendances opposées. Les résultats de recherche ont montré que la fonte à forte teneur en carbone est considérée comme matériau peu couteux et très approprié pour les disques de freins. Le tableau 1.1 donne un aperçu sur la composition et la résistance de trois sortes de fonte destinées aux disques de freins. La figure 1.1 montre les micrographies de quatre types de fontes comme matériaux des disques de frein, la fonte blanche, la fonte malléable, la fonte grise et la fonte ductile [19].

Elément de l'alliage	FG25 alliée [%]	FG20HC [%]	FG15HC [%]
C	3.0 - 3.5	3.62 – 3.68	3.7 – 3.9
Si	1.9 -2.4	max 2.1	1.8 – 2.2
Mn	0.6 – 0.9	0.65 – 0.8	0.5 -0.8
P	max 0.12	max 0.085	max 0.12
S	max 0.1	max 0.095	max 0.1
Cr	0.2 – 0.4	0.18 -0.3	...0.1
Mo	0.3 – 0.5	0.3 – 0.45	-
Cu	0.2 – 0.3	0.3 - 0.45	...0.25
Ni	0.1 – 0.3	-	-
Ti	-	0.03 – 0.05	-
Sc	0.82 – 1.01	1 – 1.03	1.01 – 1.1

Tableau I.2: Composition et la résistance de 3 types de fontes de disques de freins [7]

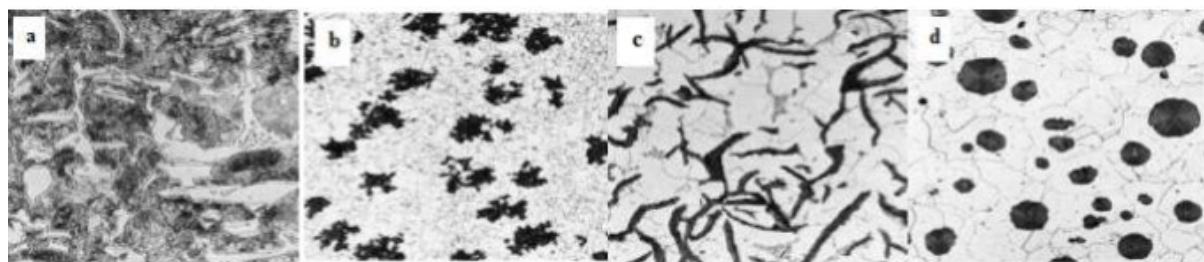


Figure.I.37:Les micrographies de différentes fontes grises matériaux des disques de frein [7].

a-Fonte blanche b- Fonte malléable c-Fonte grise d- Fonte ductile.

I.12.2 Aciers inoxydables

Dans le secteur ferroviaire, on utilise pour les trains à grande vitesse de plus en plus des aciers inoxydables alliés au chrome, au molybdène et au vanadium. Les propriétés mécaniques de ces aciers sont la grande ductilité ($Re > 1000$ MPa à 20°C et $Re > 800$ MPa à 450°C) et la résilience élevée surtout à haute température [9]. Dans le cas du contact glissant, la différence entre les aciers et les fontes se situe au niveau du film de transfert qui se forme entre le disque et la plaquette de frein. Pour l'acier, on a un dépôt avec microstructure cristallisée et une composition chimique dépendant de la réactivité entre le matériau de friction et les oxydes de fer. Pour une fonte, le dépôt présente un caractère plus complexe avec l'existence de matériaux

amorphes et de composition chimique plus complexe. Cette différence de comportement est due aux facteurs suivants :

- les températures des aspérités de contact où a lieu le dépôt sont très différentes en raison des caractéristiques thermiques de l'acier et de la fonte (en particulier de l'effusivité)
- les actions mécaniques à l'interface entraînent des ruptures de nature différentes au niveau des aspérités de surface (ductilité de l'acier et la fragilité de la fonte)



Figure.I.38:disque en acier.

I.12.3 Matériaux composites

Dans l'industrie automobile et aéronautique, où la sécurité et l'efficacité du système de freinage jouent un rôle primordial, des disques de frein en matériaux composites ayant de meilleurs comportements thermiques et tribologiques ont vu le jour ces dernières décennies. Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles, de nature différente et complémentaire, ayant une forte capacité d'adhésion donnant naissance à un nouveau matériau hétérogène et possédant de meilleures performances que les autres matériaux couramment utilisés[18]. Du fait des performances élevées (très bonne résistance mécanique et faible densité) que présentent certains composites, ils ont remplacé progressivement les matériaux classiques. Les matériaux composites sont constitués d'une ossature, appelée renfort, qui assure la tenue mécanique et d'une protection, appelée matrice, qui assure la cohésion de la

structure et transmet les sollicitations vers le renfort (figure I.40). Parmi les matériaux composites employés dans la construction des disques de freins, on a le carbone-carbone (C-C), les composites à matrice métallique (CMM) et les composites à matrice céramique (CMC).

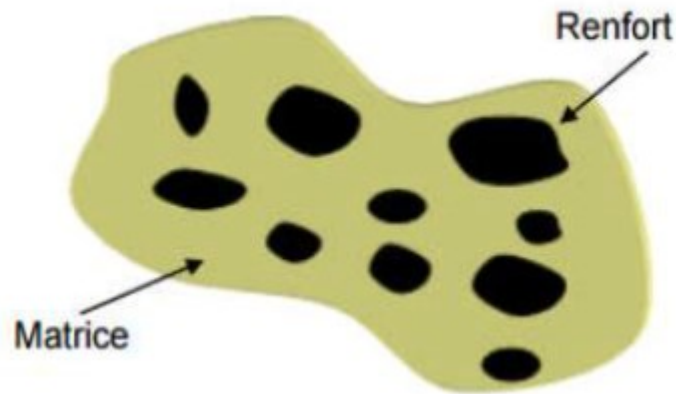


Figure.I.39: Constitution d'un matériau composite [20].

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 [20]. 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. Avec une qualité CM 83 la température du disque doit être entre 400° C et 600°C.

I.13.1 Matériaux des garnitures de frein

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 frottant, à savoir le disque, des conditions d'appui de la plaquette, etc. On veut aussi limiter les problèmes d'usure, de corrosion et de bruit (qui est un problème classique de pièces frottantes 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. Leur composition est souvent mal connue, restant confidentielle chez les équipementiers [20].

I.13.2 Matériaux des 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 [20].

I.14. Critères d'évaluation des matériaux des disques de frein

Le frein à disque doit répondre à différentes exigences, dont les principaux sont : l'efficacité de freinage, l'endurance et le confort d'utilisation.

I.14.1 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 de freinage exercé sur le disque doit être le plus élevé possible. Il faut donc déterminer la force de frottement entre les plaquettes sur le disque, laquelle dépend de plusieurs paramètres tels que la pression de contact, la surface de frottement et le coefficient de frottement. Plus les valeurs de ces paramètres sont élevées, plus la distance d'arrêt du véhicule est courte. La pression de contact disque/garnitures dépend essentiellement de la pression hydraulique dans le piston du frein. Celle-ci varie entre 0 et 80 bars pour une voiture particulière. La pression de contact est fonction de l'état de surface des deux pièces frottantes, de l'état de surface, de la rigidité des matériaux, de la dilatation thermique, etc.

Des investigations expérimentales faites par Kennedy ont montré que la pression de contact varie au cours de la phase de freinage, et ceci, malgré une pression hydraulique constante. Le coefficient de frottement doit rester le plus stable possible, afin d'assurer un freinage constant, quelles que soient les conditions de freinage. Une fois les matériaux choisis, le coefficient de frottement va dépendre de la pression de contact, de la vitesse de rotation du disque et des conditions du milieu ambiant. En effet, la valeur du coefficient de frottement baisse par temps pluvieux. Les températures élevées du disque de frein entraînent une chute brutale du coefficient de frottement et donc de l'efficacité du frein. La température maximale des disques

de frein doit être considérée comme paramètre ayant une influence non négligeable sur l'efficacité de freinage. Les températures élevées sont atteintes lors des freinages prolongés ou répétés, à grande vitesse, à forte pression, sur une route à forte pente etc. Le choix des matériaux qui a une influence sur le comportement thermomécanique et tribologique, demeure un critère important concernant l'efficacité de freinage [21].

I.14.2 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 [21].

I.14.3 Endurance

L'endurance est un autre critère d'évaluation des freins à disque. Il s'agit de garantir dans le temps 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. Le disque s'use par frottement contre les plaquettes. Celles-ci sont fabriquées dans l'optique de s'user davantage que le disque (figure I.41.a). Le frottement des deux pièces engendre des problèmes d'arrachement de matière et de dépôt qui modifient la nature du contact (figure I.41.b)



a) Dépôts de matière sur les pistes du disque b) Usure excessive d'une plaquette de frein

Figure.I.40: Usures du disque et de la plaquette de frein [5].

I.15. Matériaux de frictions utilisées pour les plaquettes de freins Matières premières

Une plaquette de frein est composée de deux éléments : le socle en tôle d'acier et le matériau de friction qui comme son nom l'indique, entre en friction avec le disque de frein. Pour les matériaux de friction, il existe deux familles de matériaux de friction pour les plaquettes: Les matériaux organiques et les matériaux métalliques ou semi - métalliques. Seuls les matériaux frittés peuvent répondre à l'ensemble des sollicitations d'une voiture: freinages puissants, échauffement, utilisation sous eau, poussière et boue, réactivité à froid. Les plaquettes en matériaux frittés sont fabriquées à partir de poudres. Le produit de friction contient au moins dix constituants (cuivre, bronze, fer, céramiques, graphites...). Chacun de ces constituants a un rôle essentiel au cours du frottement de la plaquette sur le disque (confort, bruit, performance). Une fois mélangés, ces constituants forment le mélange de friction. Ce mélange est ensuite comprimé dans un outil qui lui donne sa forme finale. La pièce obtenue est ensuite positionnée sur son support métallique cuivré puis introduite dans un four à 900°C [20].

I.16. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré les principales technologies de système de freinage et le rôle de l'étude tribologique des disques de frein. Cette étude permet de découvrir les différents problèmes d'usure des disques freins, les plaquettes de freins. Ces cas d'usure exigent en conséquence des matériaux à utiliser pour les disques pour une longue durée d'utilisation.

II.1. Préparation de système de freinage

Pour reproduire un mécanisme de freinage afin de mesurer le temps de freinage et la température de freinage qui caractérisent ce phénomène le contact ou bien de frottement entre le disque de frein et les plaquettes de freins à différentes charges de freinages et de vitesses de rotation du moteur asynchrone , on a réalisé et simulé un système de freinage, qui nous permet de déduire les valeurs de température du contact et du temps de freinage par des différents instruments de mesure.

II.1.1 l'étrier de freinage

Préparation des composants de notre système qui est composé de l'étrier et des plaquettes de freinage.



Figure II.1: plaquette de frein.



Figure II.2: l'étrier de freins.

II.1.2 Pièce de fixation de disque

Fabrication d'une pièce de fixation du disque avec du polyamide PA6 pour la fixer sur l'arbre moteur asynchrone et de faire une rainure de clavette à l'intérieur de la pièce avec l'étau-limeur. le montage se fait avec serrage afin d'éliminer les vibrations



Figure II.3: réalisation d'une rainure de clavette.



Figure II.4: Montage de clavette sur arbre de moteur.

II.1.3 Pièce de fixation de l'étrier de freinage

Fabrication de deux pièces en forme (L) et les fixer sur le support métallique du dispositif pour monter l'étrier de freinage, comme montré sur la figure suivante



Figure II.5: deux pièces de fixation sur un métal



Figure II.6: insertion l'étrier de Freins.

II.1.4. Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone couplé à un variateur de fréquence est de loin le type de moteur le plus utilisé pour les applications où il est nécessaire de contrôler la vitesse et le déplacement

d'une charge. Le système moteur-variateur convient bien pour des applications tels que les ascenseurs car on recherche une excellente précision à la fois au niveau de la vitesse (confort des utilisateurs) et de la précision de la position de la cabine par rapport aux paliers.

Quant au moteur asynchrone seul, sa popularité résulte du peu d'entretien nécessaire, de sa simplicité de construction, de sa standardisation et de sa robustesse.

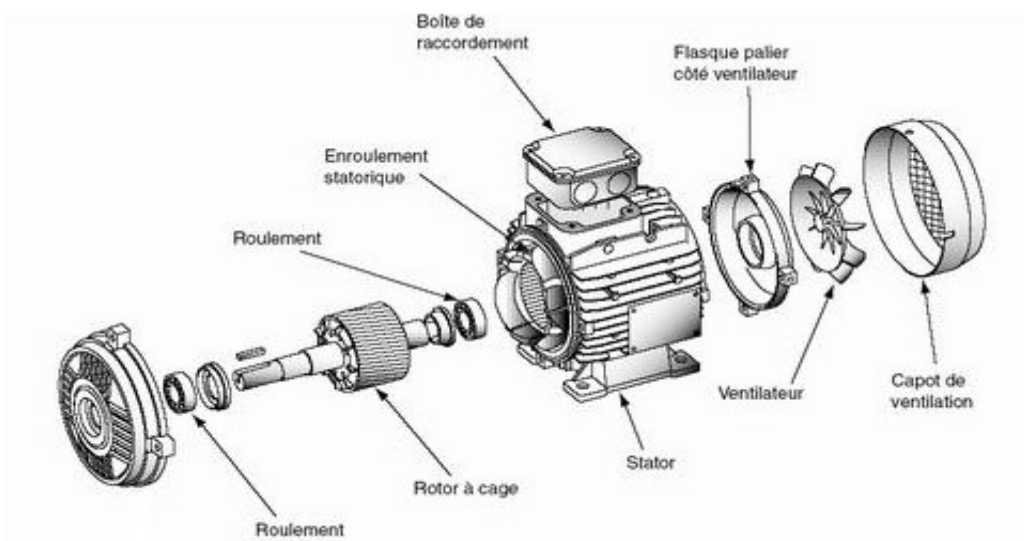


Figure II.7: Les composants de moteur asynchrone

II.2. Les instruments de mesures

II.2.1 Le thermomètre à infrarouge

Un thermomètre infrarouge est un instrument de mesure de la température de surface d'un objet à partir du rayonnement de type corps noir qu'il émet dans l'infrarouge. On utilise également le terme de pyromètre infrarouge lorsqu'il s'agit de mesurer des températures élevées d'un objet ou d'un environnement (four, incendie, volcan, etc.).

Un tel thermomètre est parfois appelé à tort thermomètre laser s'il est aidé d'un laser pour viser, ou encore thermomètre sans contact pour souligner sa capacité à mesurer la température à distance, à la différence des thermomètres à contact classiques.

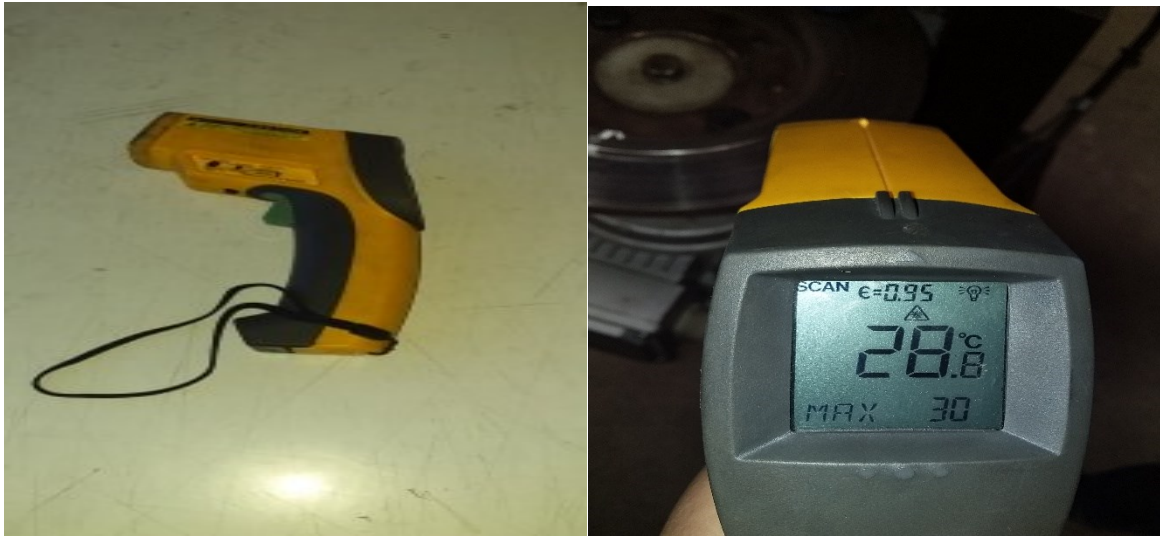


Figure II.8: Le thermomètre à infrarouge

II.2.1 Tachymètre

Un tachymètre est un instrument de mesure permettant de déterminer la vitesse de déplacement d'un objet en mouvement.

Le capteur peut être mécanique, optique ou à courants de Foucault, ou bien consister en un système de conversion du temps et de la distance, sur certaines montres ou moteurs.



Figure II.9: La vitesse mesuré par le tachymètre.

II.2.3 Le poids de charge

Application des différents poids de la charge sur le piston des étriers pour appliquer une force de freinage exercée sur le piston et sur les plaquettes.



Figure II.10: les poids de charge.

II.2.4 Chronomètre

Un chronomètre désigne un instrument de mesure du temps. Dans notre cas, on a utilisé le chronomètre pour mesurer les durées de freinage.

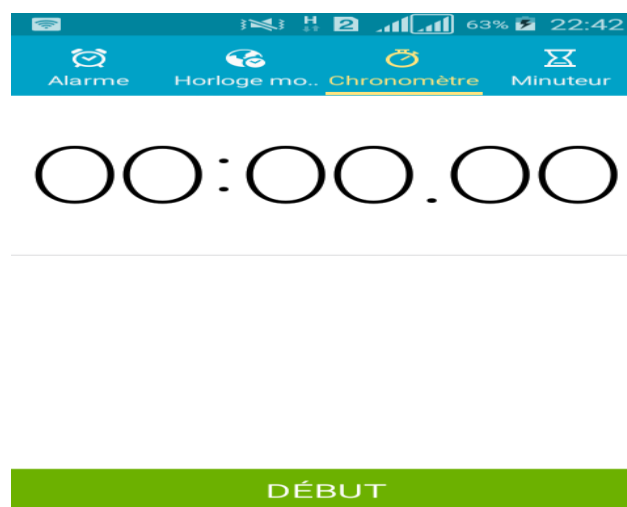


Figure II.11: Chronomètre pour mesurer le temps de freinage.

II.2.5 F-Balance électronique

La balance utilisée est de capacité max de 3000 g et de précision 0.1mg. L'objectif des mesures, est de déterminer les pertes de masse sur le disque et les plaquettes de freinage.



Figure II.12: Balance pour mesurer la perte de masse.

II.3. Déroulement de l'essai

Après avoir fabriqué et assemblé les composants du système de freinage (comme montré sur la figure II.15) :

- Le thermomètre infrarouge et fixé pour prendre la température de freinage ou de contacts entre les plaquettes et le disque.
- Le tachymètre pour prendre la vitesse de rotation de moteurs en (tr/min)
- les poids de charge pour définir la force de freinage exercée sur le piston et sur les plaquettes de frein.



Figure II.13: Assemblage de notre système de freinage

II.4. Techniques expérimentales

II.4.1. Préparation des échantillons avec le polissage

Avant l'entame des tests, un polissage fin des surfaces à observer, est indispensable afin qu'elles ne présentent aucune rayure susceptible de fausser les examens. Le polissage est obtenu en utilisant une polisseuse, (Figure .14) progressivement (180, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 grain/cm²) sous lubrification avec l'eau.



Figure II.14: Polisseuse mécanique de marque (METASERV 2000).

II.4.2. L'essai de dureté des disques de frein

Après avoir coupé deux échantillons dans les deux disques et de faire un polissage pour les deux types échantillons des disques de frein ventilé et le plein Les tests de dureté ont été faits sur une machine universelle Diastor de l'UGB Qui permet de nos données la dureté des deux disques.

S'ils résistent bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré [22].

Donnée normalisée sur les différents tests de dureté

- NF A 03-152 (19SO) : Essai de dureté Brinell.
- NF A 03-153 (1986) : Essai de dureté Rockwell
- NF A 03-154 (19S3) : Essai de dureté Vickers.
- Dominique François, Essais mécaniques des métaux - Essais dureté, Fascicule M123 des Techniques de l'ingénieur.

Essaie de dureté quand on a utilisé c'est essaie de Rockwell après on a conclus par le tableau comparative de la dureté Vickers et brinell.

II.4.3. Test de dureté Rockwell

Les essais de dureté Rockwell sont des essais de pénétration en mécanique. Il existe en fait plusieurs types de pénétrateurs qui sont constitués d'un cône en diamant ou d'une bille en acier trempé polie. Pour obtenir une valeur de dureté Rockwell, on mesure une pénétration rémanente du pénétrateur sur lequel on applique une faible charge[22].



Figure II.15: Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'UGB.

II.5. Test d'usure

Pour faire un test d'usure dans notre système de freinage on a usiné une plaquette de frein de disque ventilé avec une dureté supérieure de la dureté de disque plein et égal la dureté disque ventilé.



Figure II.16: La plaquette de frein en acier.

II.6. Déroulement d'essai

C'est le même déroulement du premier essai avec les mêmes instruments de mesure. mais dans cet essai on a utilisé une plaquette plus dur de disques plein et égal la dureté disque ventilé dans chaque essai on mesure la perte de masse de la plaquette et les deux disques par la balance électronique.



Figure II.17: Mesuré la perte de masse de la plaquette et de disque de frein.

II.7. Méthodes mathématiques utilisées

II.7.1. Méthodes des moindres carrées

Cette méthode consiste à analyser les données déjà enregistrées, en vue de déterminer une droite d'ajustement qui consiste à calculer l'équation de la droite, qui minimise les écarts types à la moyenne, elle consiste à comparer des données expérimentales, généralement entachées d'erreurs de mesure à un modèle mathématique censé décrire ces données. Ce modèle peut prendre diverses formes. Il s'agira en général de lois de conservation que les quantités mesurées doivent respecter. La méthode des moindres carrés permet alors de minimiser l'impact des erreurs expérimentales et évaluer les valeurs plus probables des paramètres de la loi recherchée, ainsi « ajoutant de l'information » dans le processus de mesure [23].

II.7.2. Le logiciel Origin

Origin rassemble, en une solution fiable et puissante, une palette d'outils de traitement, d'analyse, de visualisation et d'automatisation qui vous faciliteront la vie au quotidien. C'est un outil complet d'analyse de données et de mise en forme graphique fournissant tout un éventail de fonctionnalités (analyse de pics, ajustement de courbes, statistiques...) permettant de satisfaire aux exigences de qualité et aux besoins spécifiques de la communauté scientifique (chercheurs, ingénieurs, techniciens..)[25]

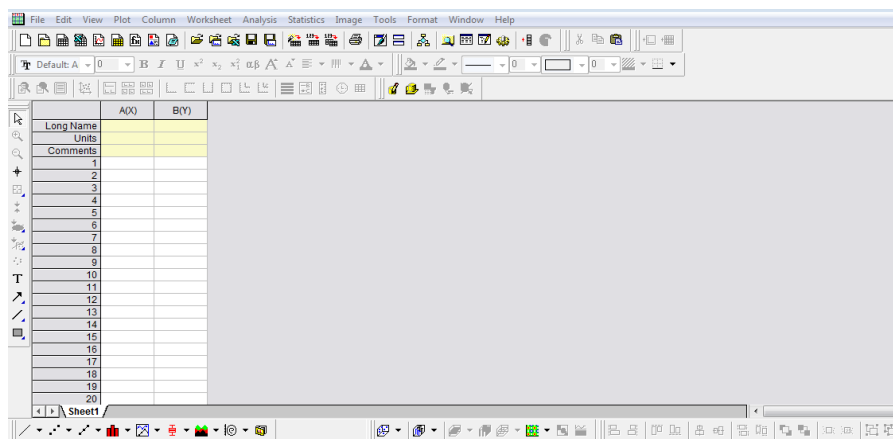


Figure II.18: Les différents outils de logiciel origin

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a défini notre système de freinage et ses composants et tous les instruments de mesures utilisés dans nos essais, et les machines qui nous ont permis de définir la dureté des disques pour interpréter les résultats trouvés dans le chapitre trois.

Chapitre III : Résultats Et Discussion**III.1. Opérations de polissage**

Nos éprouvettes découpées d'un disque de frein ont subi des opérations de polissage (Figure III.1), afin de présenter un état de surface miroir pour des résultats exemplaires.



Figure III.1: Les éprouvettes

III.1.1 Essais dureté

Des essais de dureté Rockwell ont été réalisés sur les éprouvettes découpées de deux disques le plein et le ventilé.

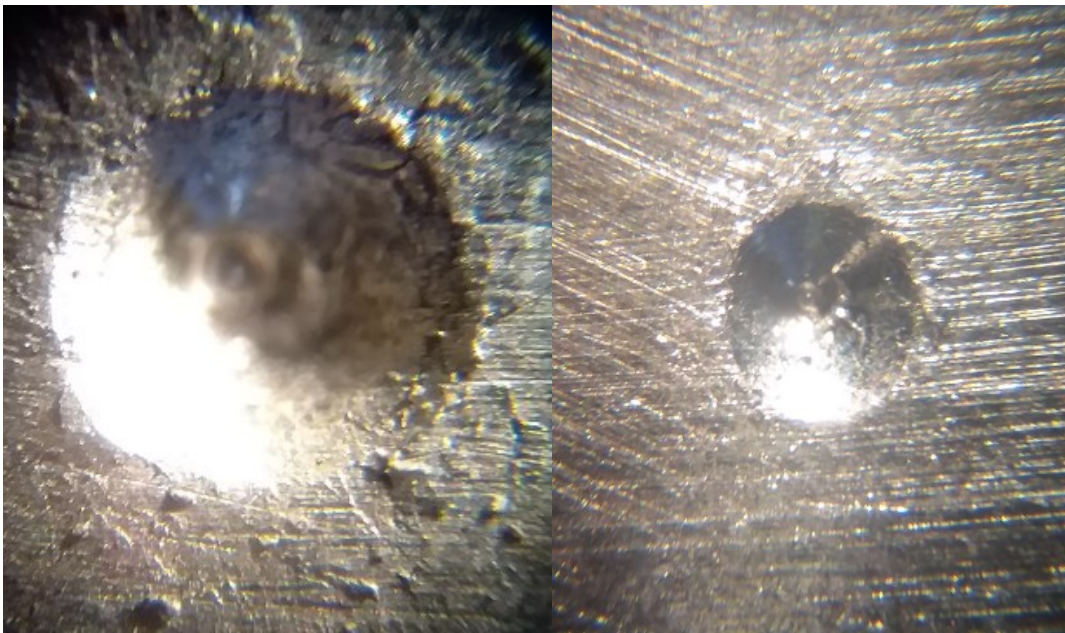


Figure III.2: a) essai de dureté disque plein b) essai de dureté disque ventilé

Nous avons mesuré la dureté des deux échantillons par une machine dureté universelle Rockwell avec une charge $F=981\text{N}$ afin de déterminer la dureté des deux disques comme montré dans le tableau

La dureté Rockwell (HRC)	essai 1	Assai 2	Assai 3
disque plein	66	67	65
disque ventilé	70	68	67

La dureté Rockwell de disque plein est **HRC=65**

La dureté Rockwell de disque ventilé est **HRC=68**

Après ces deux résultats de dureté Rockwell à l'aide des tables de correspondances des duretés on a conclu La dureté de Vickers pour les deux disques :

Disque plein :

HRC=65 alors La dureté de Vickers est **HV30=840**

Disque ventilé :

HRC=68 alors La dureté de Vickers est **HV30=940**

III.2. Mesure des températures de contact suivant les vitesses de rotation du moteur

III.2.1 La température de contact des deux disques plein et ventilé pour une charge de freinage $4.2\text{ kg} \Rightarrow F=41.2\text{N}$ la température ambiante 24°C

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
La température de disque plein ($^\circ\text{C}$)	39	45	48	54	61	71	84	92	100	115
La température de disque ventilé ($^\circ\text{C}$)	34	38	42	46	49	59	64	77	86	92

Tableau III.1: Les températures deux disques en fonction de la vitesse rotation.

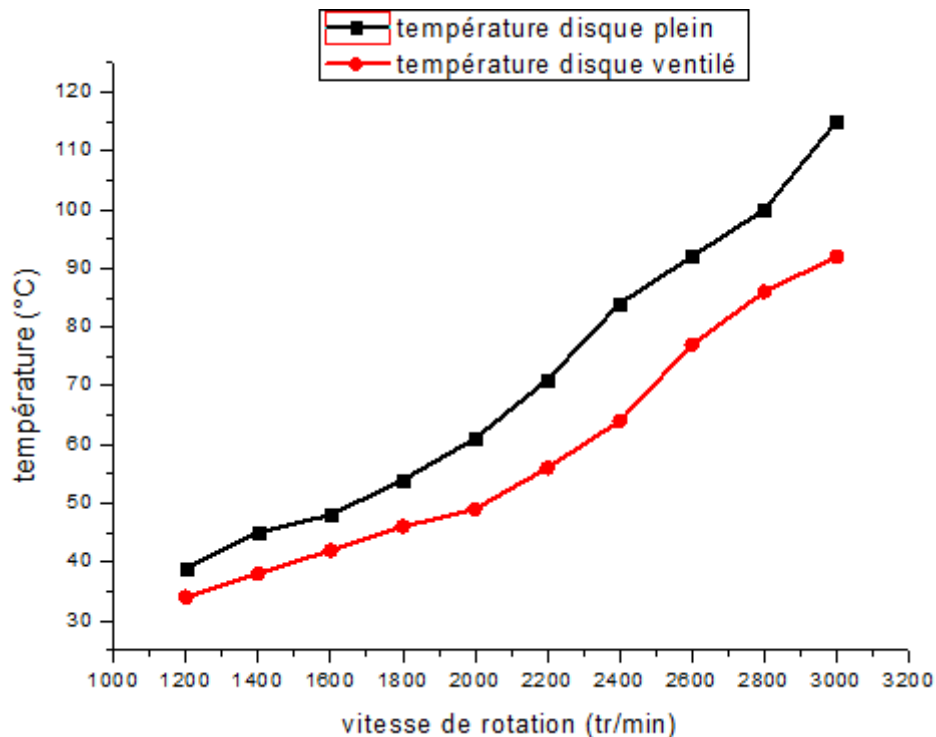


Figure III.3: Evolutions des températures de contact plaque/disques (ventilé, plein).

Dans les courbes ci-dessus pour une force de freinage 41.8N ,on remarque la progression de la température de deux disques (plein, ventilé) en augmentant la vitesse de rotation de moteur.

- **Comparaison :**

D'après les deux courbes on remarque que la courbe de l'évolution de la température du disque plein (couleur noir) est supérieure à la courbe de l'évolution de la température de disque ventilé (couleur rouge) qui est de disque ventilé Car le disque ventilé il se refroidit mieux que le disque plein par ces ailette.

À partir des données soutirées des dix vitesses expérimentées et en employant la méthode des moindres carrées, une formule mathématique peut être érigée pour l'estimation des températures des disques (plein, ventilé) avoisinera pour n'importe quelle vitesse de rotation de moteur, et le logiciel origin pour tracer une droite et de donné la formule mathématique de des courbes.

III.2.2.1 Elaboration d'équation de la courbe par la méthode des moindres carrés pour le disque plein avec une force de freinage 41.8N

ω : la vitesse de rotation du moteur (tr/min)

y_i : la température de contact disque/plaquettes, aux conditions ambiantes (°C).

$$X' = \sum \frac{x_i}{10}$$

$$Y' = \sum \frac{y_i}{10}$$

X_i	Y_i	$(x_i - x')$	$(Y_i - Y')$	$(x_i - x')^2$	$(x_i - x')(Y_i - Y')$
1200	39	-900	-31.9	810000	28710
1400	45	-700	-25.9	490000	18130
1600	48	-500	-22.9	250000	11450
1800	54	-300	-16.9	90000	5070
2000	61	-100	-9.9	10000	990
2200	71	100	0.1	10000	10
2400	84	300	13.1	90000	3930
2600	92	500	21.1	250000	10550
2800	100	700	29.1	490000	20370
3000	115	900	44.1	810000	39690
21000	709	0	0	3300000	138900

Tableau III.2: Méthode des moindres carrés d'évolution des températures de contact.

Les formules de calcul de la méthode des moindres carrés sont les suivantes :

- L'équation de la droite d'ajustement : $Y = a \cdot x + b$
- $a = \text{Cov}(x, y) / V(x)$

$$a = \frac{\sum (X_i - X')(Y_i - Y')}{\sum (X_i - X')^2}$$

- équation Y' :

$$Y' = ax' + b \quad \dots\dots\dots(\text{III.1})$$

Trouver X' :

$$X' = \sum \frac{xi}{10} \quad \longrightarrow \quad X' = \frac{21000}{10} = 2100 \text{ tr/min}$$

$$Y' = \sum \frac{yi}{10} \quad \longrightarrow \quad Y' = \frac{709}{10} = 70.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$b = Y' - ax' \quad \text{(III.2)}$$

On trouve coefficient a :

$$a = \frac{138900}{3300000} = 0.042 \dots\dots\dots \text{III.3}$$

Alors :

$$a=0.042$$

On remplace a dans équation (III.2) pour trouver b

Alors :

$$b = 70.9 - (0.042 \times 2100) = -17.49$$

Donc b= -17.49

$$Y_1 = 0.042X - 17.49$$

III.2.2.2 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 41.8N

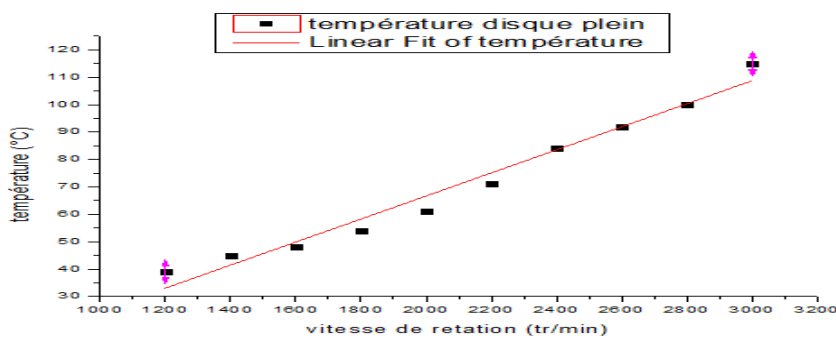


Figure III.4: Une droite tracée par origin

Résultat :

$$a=0.04209$$

$$b=-17.49091$$

Equation	y=a*x+b		
Adj. R-Squar	0,97031		
		Value	Standard Error
température	Intercept	-17,4909	5,33414
température	Slope	0,04209	0,00245

Figure III.5: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b

Exemple :

Pour une vitesse de rotation du moteur pour $X=2800$ tr/min, la température de Contact est $Y_1 = 100.11^\circ\text{C}$.

Exemple 2 :

Pour une vitesse de rotation du moteur pour $X=5000$ tr/min, la température de Contact est $Y_1 = 192.51^\circ\text{C}$.

III.2.2.3 Elaboration d'équation de la courbe par la méthode des moindres carrées pour le disque ventilé a une force de freinage 41.8N

X_i	Y_i	$(x_i - x')$	$(y_i - y')$	$(x_i - x')^2$	$(x_i - x')(y_i - y')$
1200	34	-900	-24.7	810000	22230
1400	38	-700	-20.7	490000	14490
1600	42	-500	-16.7	250000	8350
1800	46	-300	-12.7	90000	3810
2000	49	-100	-9.7	10000	970
2200	59	100	0.2	10000	20
2400	64	300	5.2	90000	1560
2600	77	500	18.2	250000	9100
2800	86	700	27.2	490000	19040
3000	92	900	33.3	810000	29970
21000	587	0	0	3300000	109540

Tableau III.3: Méthode des moindres carrées d'évolution des températures de contact.

Avec les formule III.1 et III.2 on calcule les paramètres a et b.

L'équation est de la forme :

$$Y_2 = aX - b$$

AN :

a= 0.033

b = -11,21

$$Y_2 = 0.033X - 11,21$$

III.2.2.4 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque ventilé à une force de freinage 41.8N

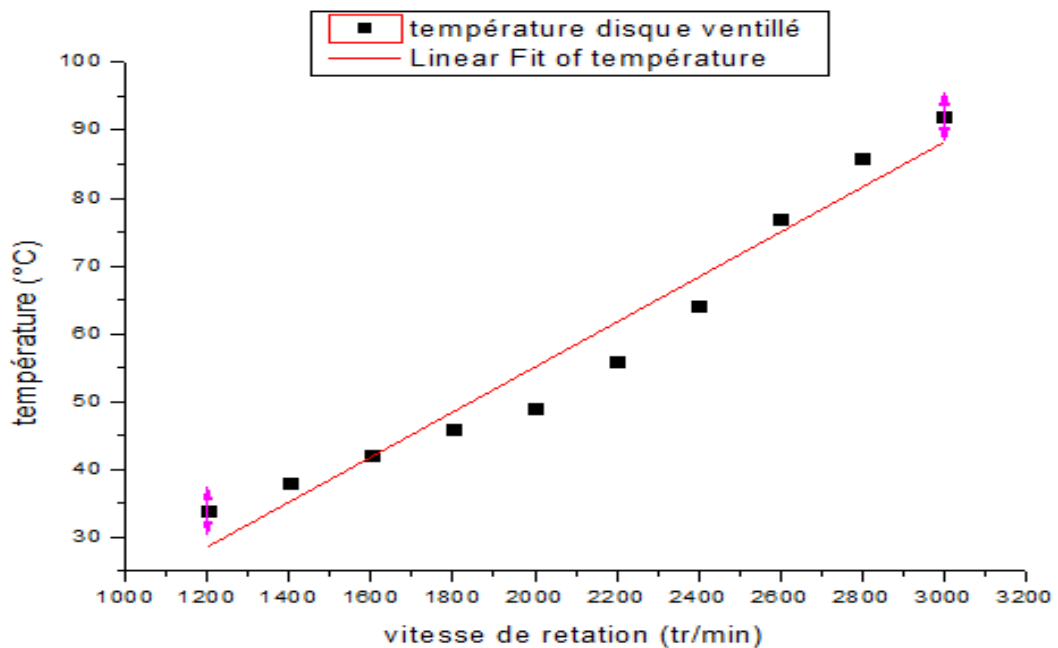


Figure III.6: Une droite tracée par origin

Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,94973		
		Value	Standard Error
température	Intercept	-11,21818	5,51863
température	Slope	0,03315	0,00253

Figure III.7: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b

Comparaison

D'après application la méthode moindres carrés et le logiciel origin on remarque que l'équation ou bien les valeurs de a et b trouvées par la méthode de moindres carrés sont les mêmes valeurs trouvées par le logiciel origin.

Mais que l'origine nous facilite les calculs et de tracer une droite et de nous donner l'erreur standard et la précision de l'erreur est de 10^{-5}

III.3. La température de contact des deux disques plein et ventilé pour une charge de freinage 6.2kg =>F=60.8N

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
La température de disque plein (°C)	37	41	46	51	58	64	71	77	86	94
La température de disque ventilé (°C)	31	35	38	42	47	53	59	62	76	83

Tableau III.4: Les températures des deux disques en fonction de la vitesse de rotation

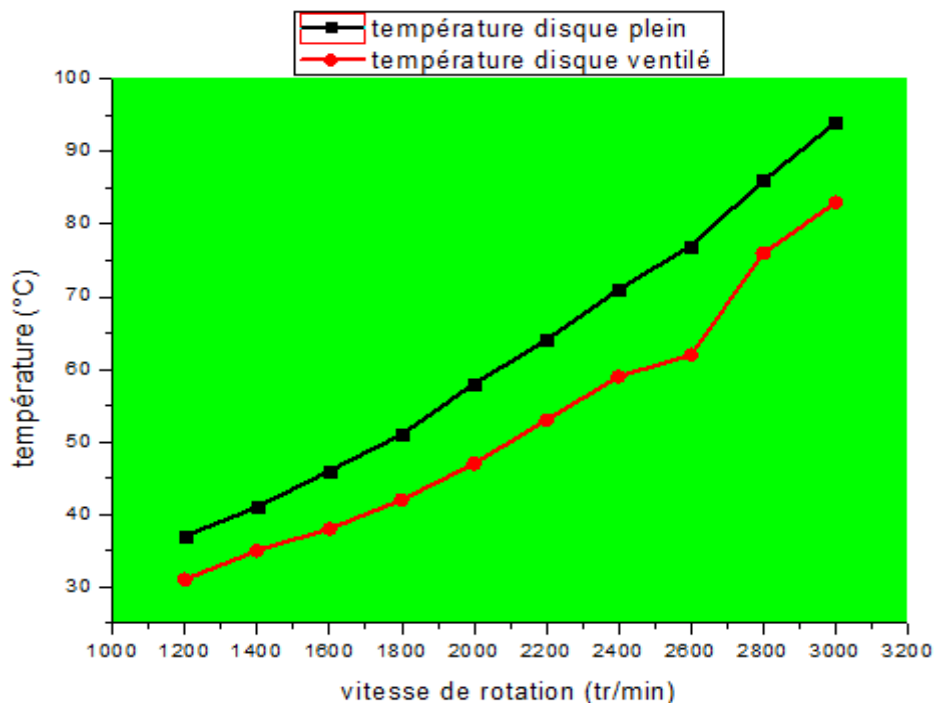


Figure III.8: Evolutions des températures de contact plaque/disques (ventilé, plein).

Dans les courbes ci-dessus pour une force de freinage 60.8N on remarque toujours la progression de la température de deux disques (plein, ventilé) en augmentant la vitesse de rotation de moteur.

Comparaison

Pour une force de freinage 60.2N on remarque toujours que la courbe de l'évolution de la température du disque plein (courbe noire) est supérieure à la courbe de l'évolution de la température du disque ventilé (courbe rouge), si on compare ces nouveaux résultats avec les résultats précédents on remarque une baisse de température pour les deux disques.

III.3.1 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 60.2N

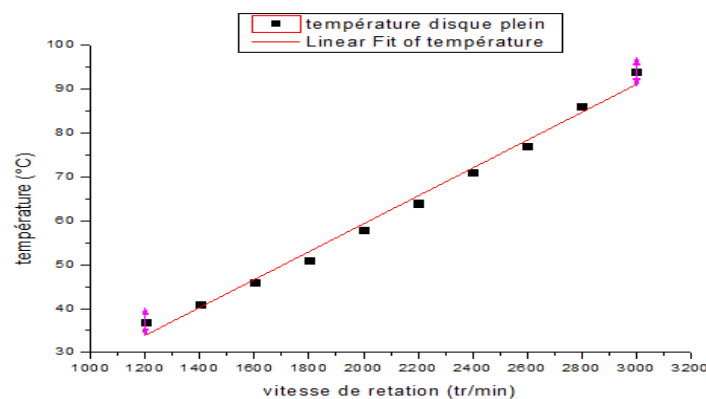


Figure III.9: Une droite tracée par origin.

Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Square	0,98932		
		Value	Standard Error
température	Intercept	-4,25455	2,39515
température	Slope	0,03179	0,0011

Figure III.10: La figure montre l'erreur standard de coefficient a et de b.

$$a = 0.03179$$

$$b = -4.25455$$

$$Y_4 = 0.02824X - 6.70909$$

III.3.2 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque ventilé à une force de freinage 60.2N

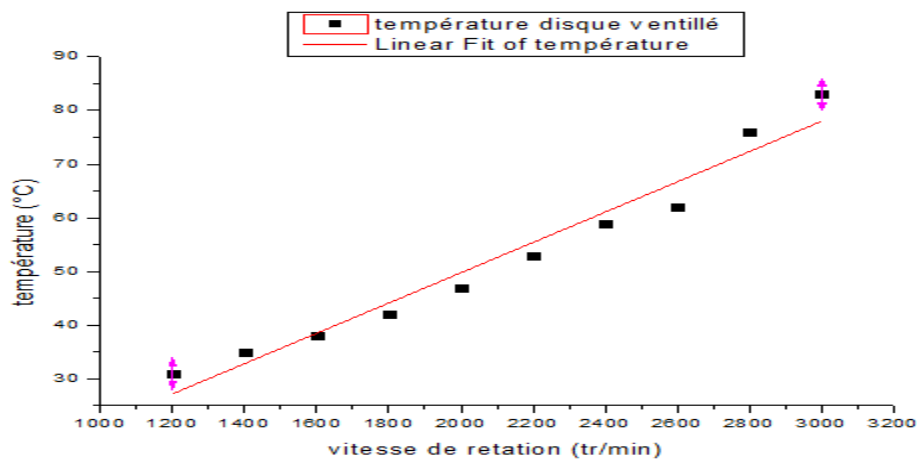


Figure III.11: Une droite tracée par origin.

Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,95795		
		Value	Standard Error
température	Intercept	-6,70909	4,28376
température	Slope	0,02824	0,00197

Figure III.12: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

a= 0.02824

b= -6.70909

Alors : $Y_4 = 0.02824X - 6.70909$

III.4. température de contact des deux disques plein et ventile pour une charge de freinage m= 10.2Kg => F=100N pour une température ambiante 24°C

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
La température de disque plein (°C)	32	37	43	48	54	61	68	72	80	88
La température de disque ventile (°C)	30	33	35	41	45	50	57	61	69	77

Tableau III.5: les températures deux disques en fonction de la vitesse rotation.

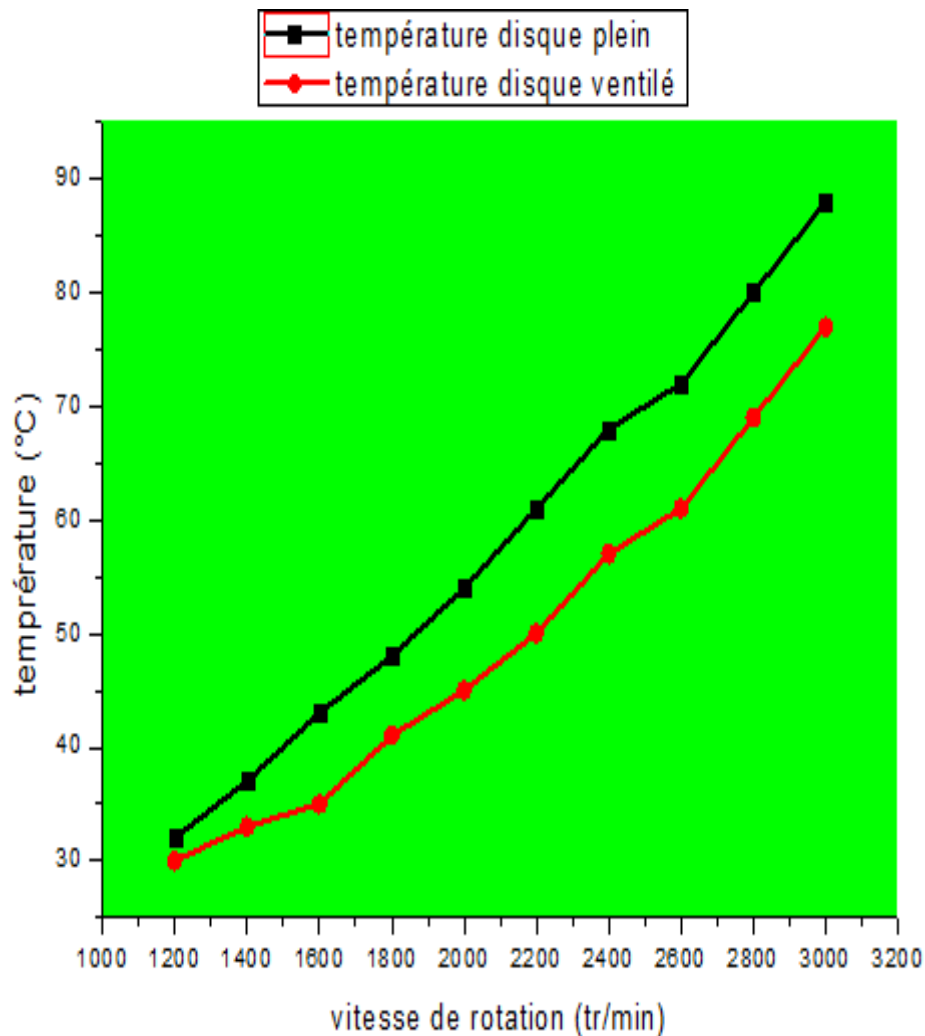


Figure III.13: Evolutions des températures de contact plaque/disques (ventilé, plein).

Dans les courbes ci-dessus pour une force de freinage 100N on remarque toujours la progression de la température de deux disques (plein, ventilé) en augmentant la vitesse de rotation de moteur.

Comparaison

Pour une force de freinage 100N on remarque toujours que la courbe de l'évolution de la température du disque plein (couleur noir) est supérieure à la courbe de températures du disque ventilé (courbe rouge). Mais si on compare ces nouveaux résultats avec les résultats précédents on remarque une baisse de température pour les deux disques.

III.4.1. Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 100N

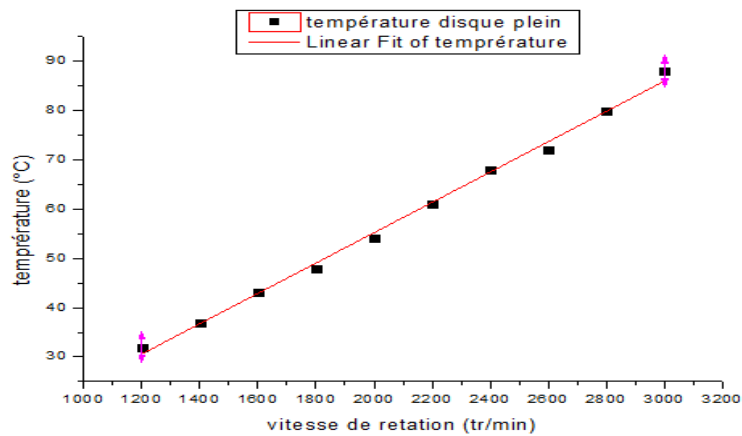


Figure III.14: Une droite tracée par origin.

Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Square	0,99575		
		Value	Standard Error
température	Intercept	-6,41818	1,46115
température	Slope	0,03082	6,71128E-4

Figure III.15: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

A= 0.03082

b= -6.41818

Alors :

$$Y_5 = 0.03082X - 6.41818$$

III.4.2. Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque ventilé à une force de freinage 100N

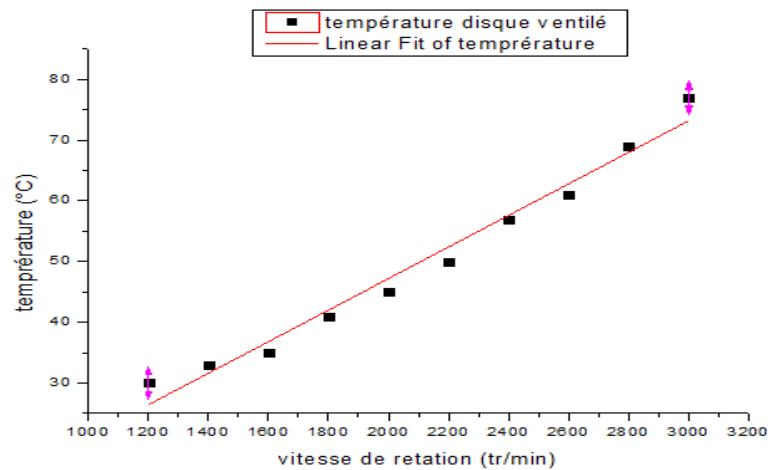


Figure III.16: Une droite tracée par origin.

Equation			
Adj. R-Square	0,97592		
		Value	Standard Error
température	Intercept	-4,8	2,96004
température	Slope	0,026	0,00136

Figure III.17: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

$$Y_6 = aX - b$$

AN :

a= 0.026

b = -4.80

$$Y_6 = 0.026X - 4.80$$

Conclusion :

Après avoir essayé plusieurs charges de freinage (forces de freinage) par différentes vitesses de rotation du moteur pour les deux disques (ventilé, plein) la température de contact (disque/plaquette) dépend de la force de freinage et de la vitesse de glissement, ou bien de la rotation du moteur, on a conclu que :

-Avec une faible force de freinage et une grande vitesse de rotation, la température augmente.

-avec une grande force de freinage et une faible vitesse de rotation, la température diminue.

- avec une faible force de freinage et une faible vitesse de rotation, en aura une température basse et vice versa

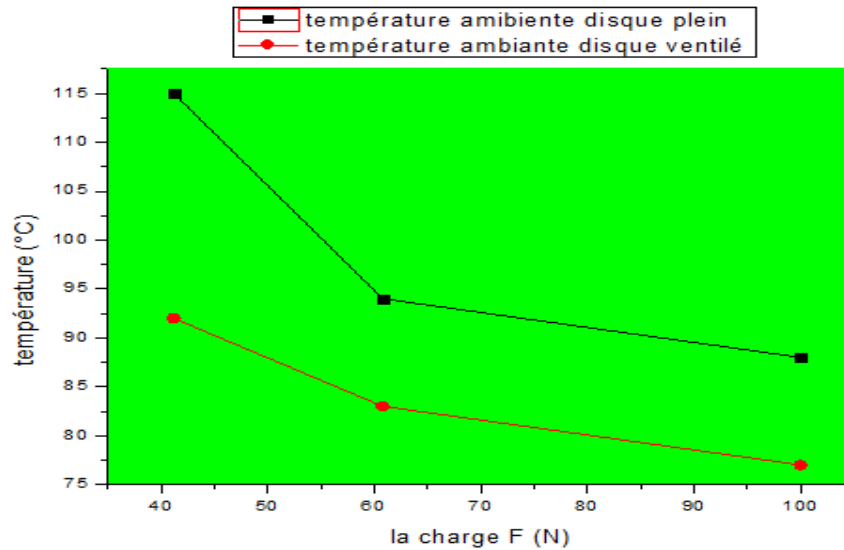


Figure III.18: La température de contact à une vitesse de rotation 3000tr/min en fonction des charges de freinage.

III.5. Détermination de temps de contact suivant les vitesses de rotation du moteur

III.5.1. Le temps de freinage pour les deux disques plein et ventilé pour une force de freinage 41.2N

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Le temps de freinage de disque plein (s)	3.30	4.15	4.91	5.70	6.30	7.10	7.61	8.35	9.16	9.98
Le temps de freinage de disque ventilé(s)	3.16	3.54	4.85	5.4	5.8	6.75	7.3	7.95	8.71	9.45

Tableau III.6: le temps de freinage deux disques en fonction de la vitesse rotation.

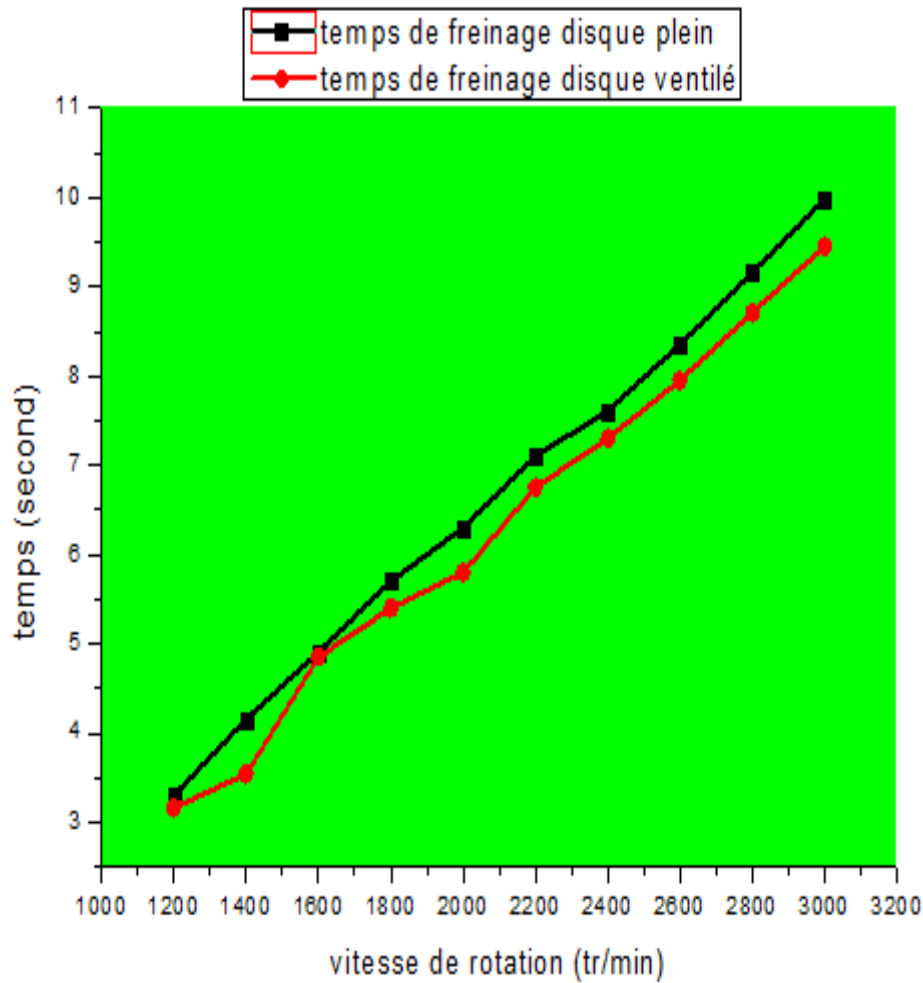


Figure III.19: Evolutions de temps de contact plaquette/disques (ventilé, plein).

Dans les courbes ci-dessus pour une force de freinage 41.2N on remarque la progression de temps de freinage de deux disques (plein, ventilé) en augmentant la vitesse de rotation de moteur.

Comparaison :

Dans les deux courbes on remarque que :

- la courbe de la couleur noir (disque plein) a des temps de freinage un peu plus élevés que celle qui est en rouge (disque ventilé) dans un intervalle de supériorité de $]0 ; 0.98]$ second.

III.5.1.1.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 41.2N

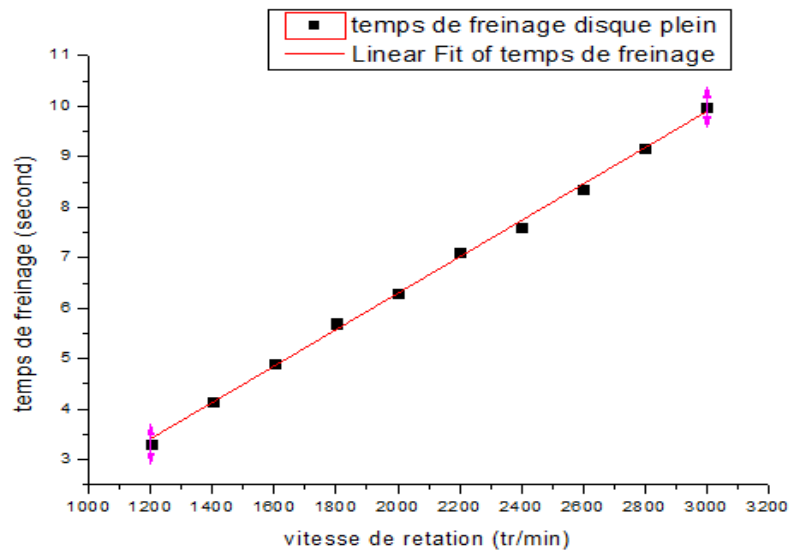


Figure III.20: Une droite tracée par origin.

Equation		y = a + b*x	
Adj. R-Square		0,99808	
		Value	Standard Error
temps de freinage	Intercept	-0,91164	0,1148
temps de freinage	Slope	0,0036	5,27273E-5

Figure III.21: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

$$Y_7 = aX - b$$

AN :

a= 0.0036

b = -0.91164

$$Y_7 = 0.0036X - 0.91164$$

III.5.1.2.Elaboration d'équation de la courbe par la méthode des moindres carrés pour le disque ventile une force de freinage 41.2N

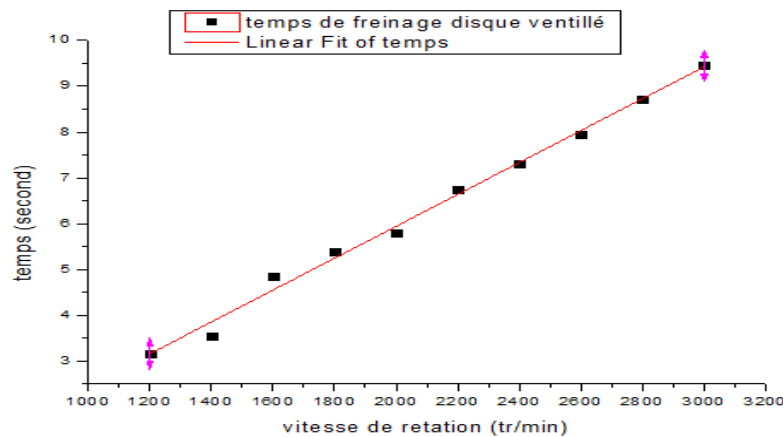


Figure III.22: Une droite tracer par origin.

Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99292		
		Value	Standard Error
temps	Intercept	-1,024	0,21337
temps	Slope	0,00348	9,80054E-5

Figure III.23: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

$$Y_g = aX - b$$

AN :

a= 0.00348

b = -1.024

$$Y_g = 0.00348X - 1.024$$

III.5.2.Le temps de freinage pour les deux disques plein et ventilé pour une force de freinage 60.8N

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Le temps de freinage de disque plein (s)	3.20	4.10	4.47	5.17	5.90	6.71	7.65	8.23	9.03	9.4
Le temps de freinage de disque ventilé(s)	2.56	3.25	4.25	5.10	5.7	6.54	7.22	7.70	8.17	8.82

Tableau III.7: le temps de freinage deux disques en fonction de la vitesse rotation.

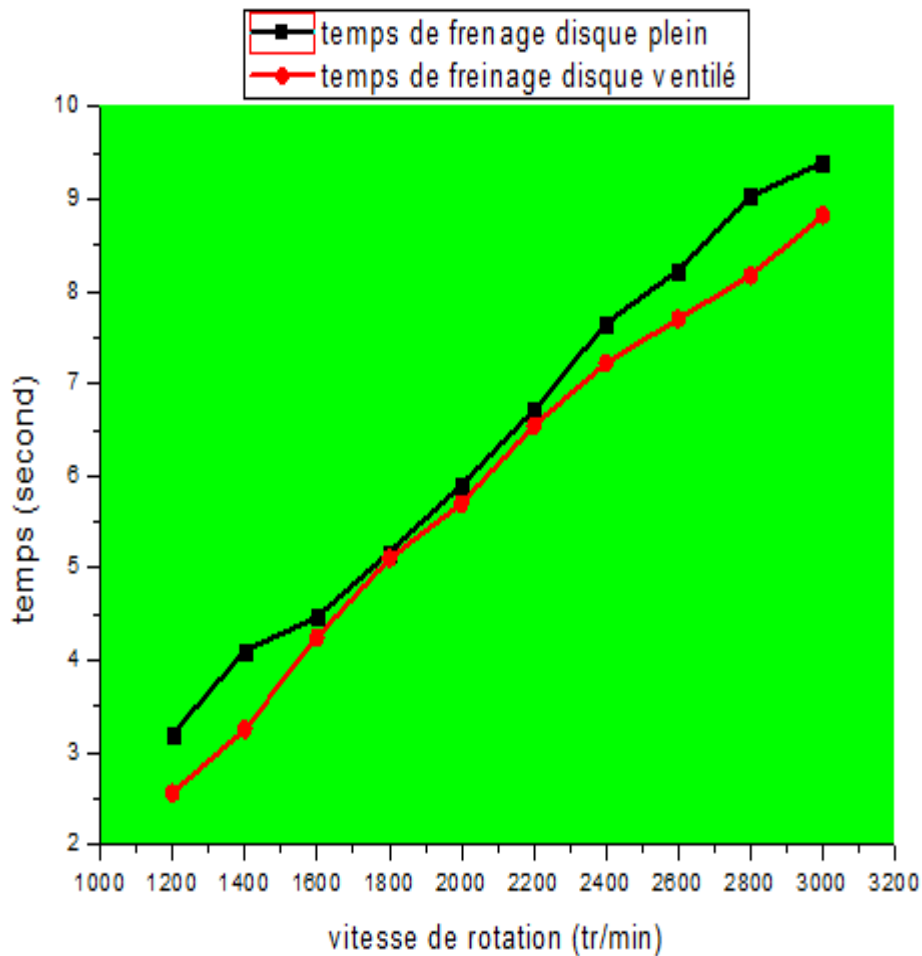


Figure III.24: Evolutions de temps de contact plaquette/disques (ventilé, plein).

Dans les courbes ci-dessus pour une force de freinage 60.8N on remarque que la vitesse de rotation du moteur augmente le temps de freinage des deux disques (plein, ventilé).

Comparaison

Dans les deux courbes on remarque que :

La courbe de la couleur noire (disque plein) a des temps de freinage un peu plus élevés que celle qui est en rouge (disque ventilé) dans un intervalle de supériorité de $]0 ; 0.98]$ seconde. Mais si on compare ces nouveaux résultats avec les résultats précédents on remarque la décroissance du temps de freinage pour les deux disques.

III.5.2.1.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein a une force de freinage 60.8N

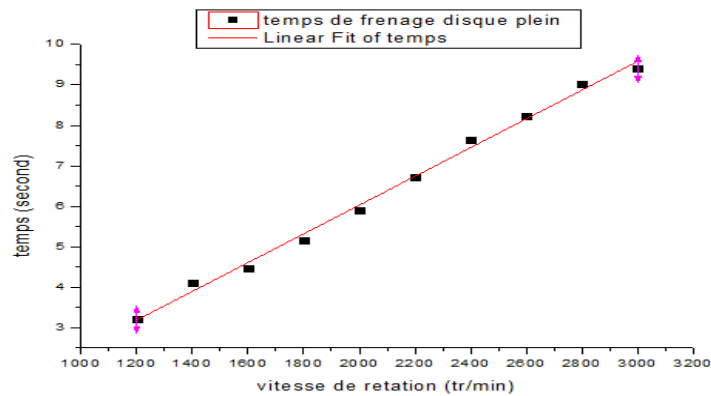


Figure III.25: Une droite tracer par origin

Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Square	0,99456		
		Value	Standard Error
temps	Intercept	-1,08236	0,1908
temps	Slope	0,00356	8,76366E-5

Figure III.26: a figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

$$Y_0 = aX - b$$

AN :

$$a = 0.00356$$

$$b = -1.08236$$

$$Y_0 = 0.00356X - 1.08236$$

III.5.2.2.Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel orgin pour le disque ventilé à une force de freinage 60.8N

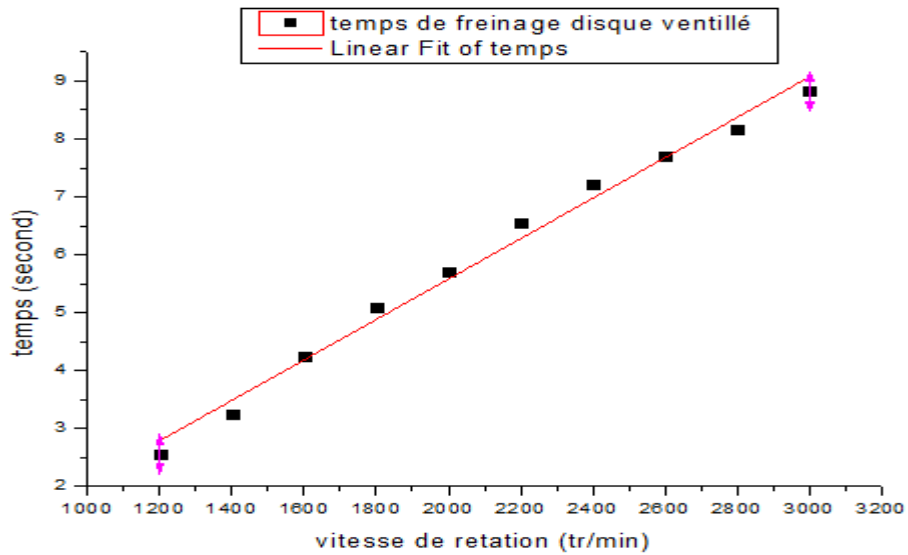


Figure III.27: Une droite tracer par origin.

Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99456		
		Value	Standard Error
temps	Intercept	-1,08236	0,1908
temps	Slope	0,00356	8,76366E-5

Figure III.28: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

$$Y_{10} = aX - b$$

AN :

$$a= 0.00356$$

$$b = -1.08236$$

$$Y_{10} = 0.00356X - 1.08236$$

III.5.3. Le temps de freinage pour les deux disques plein et ventilé pour une force de freinage 100N

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Le temps de freinage de disque plein (s)	2.98	3.83	4.06	4.82	5.27	6.07	7.26	7.80	8.3	9.01
Le temps de freinage de disque ventilé(s)	2.15	3.01	3.54	4.70	5.12	5.76	6.15	7.04	7.93	8.13

Tableau III.8: le temps de freinage deux disques en fonction de la vitesse rotation.

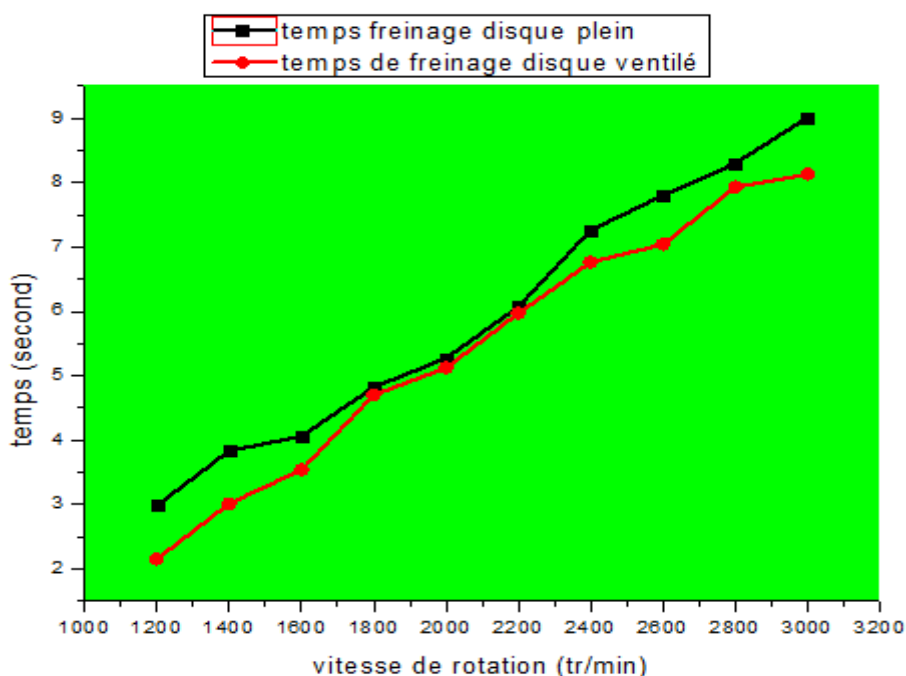


Figure III.29: Evolutions de temps de contact plaquette/disques (ventilé, plein).

Dans les courbes ci-dessous pour une force de freinage 100N on remarque la progression de temps de freinage de deux disques (plein, ventilé) en augmentant la vitesse de rotation du moteur.

Comparaison

Dans les deux courbes on remarque :

La courbe de la couleur noire (disque plein) elle à un temps de freinage un peu plus élevé de la courbe rouge (disque ventilé) dans un intervalle de supériorité de]0 ; 0.98] second.

Mais si on compare ces nouveaux résultats avec les résultats précédent on remarque la décroissance du temps de freinage pour les deux disques

III.5.3.1 Elaboration d'équation de la courbe par le logiciel origin pour le disque plein à une force de freinage 100N

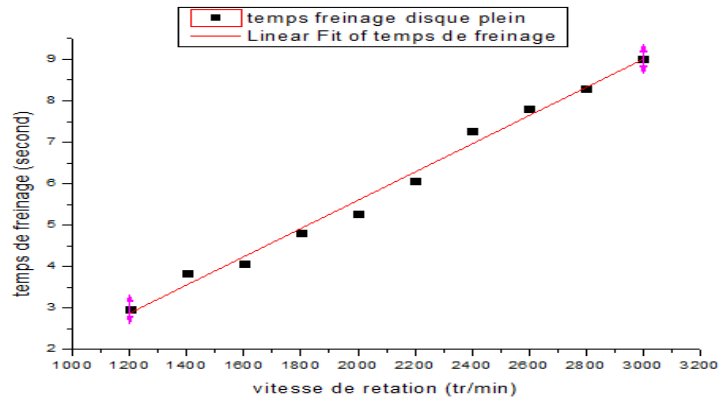


Figure III.30: Une droite tracer par origin.

Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,98853		
		Value	Standard Error
temps de freinage	Intercept	-1,21145	0,26607
temps de freinage	Slope	0,00341	1,22212E-4

Figure III.31: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

$$Y_{11} = aX - b$$

AN :

$$a = 0.00341$$

$$b = -1.21145$$

$$Y_{11} = 0.00341X - 1.21145$$

III.5.3.2.Elaboration d'équation de la courbe le logiciel origin pour le disque ventilé a une force de freinage 100N

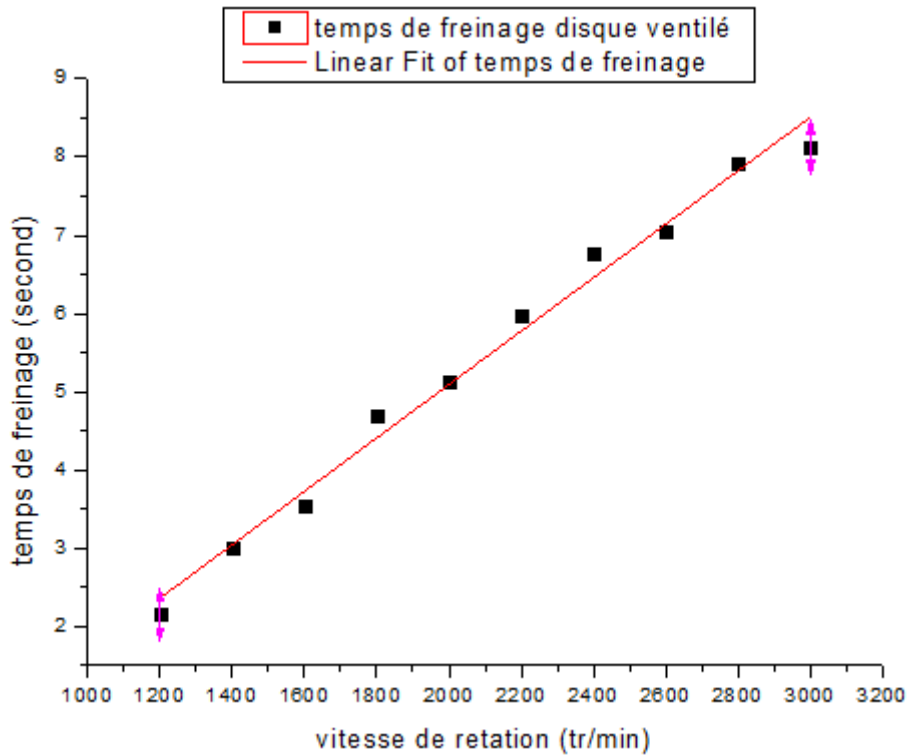


Figure III.32: Une droite tracer par origin.

Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,98679		
		Value	Standard Error
temps de freinage	Intercept	-1,74255	0,28676
temps de freinage	Slope	0,00342	1,31713E-4

Figure III.33: La figure montre erreur standard de coefficient a et de b.

$$Y_{12} = aX - b$$

AN :

$$a = 0.00342$$

$$b = -1.74255$$

$$Y_{12} = 0.00342X - 1.74255$$

Conclusion :

Après avoir essayé plusieurs charges de freinage (forces de freinage) par différentes vitesses de rotation du moteur pour les deux disques (ventilé, plein) le temps de freinage elle dépend de la force de freinage et la vitesse de rotation du moteur, on a conclu que :

-avec une force de freinage faible et une grande vitesse de rotation en aura un temps de freinage élevé et vice versa.

-avec une force de freinage faible et une faible vitesse de rotation en aura un temps de freinage faible et vice versa

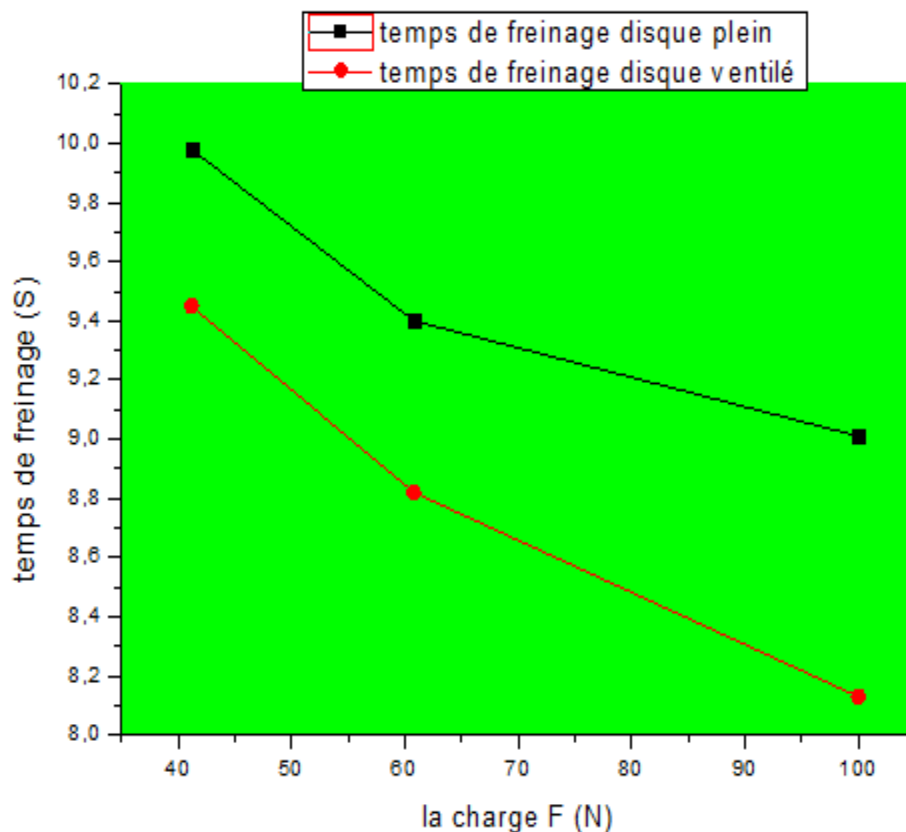


Figure III.34: Evaluation de temps de freinage à 3000 tr/min pour trois charges.

III.6. Test d'usure

III.6.1. Perte de masse de la plaquette et les deux disques (plein et ventilé)

Dans ce test d'usure on a usiné une plaquette plus dure de disque plein et égal la dureté de disque ventilé, nous avons utilisé des différentes charges de freinage et vitesses de rotation du moteur pour mesurer la perte de masse des disques et la plaquette par la balance électronique.

III.6.2. La perte de masse pour le disque plein et la plaquette en (g) avec une force de freinage 41.2N

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Perte de masse de la plaquette (g)	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01
La perte de masse de disque plein (g)	0.03	0.02	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02

Tableau III.9: La perte de masse de disques plein et la plaquette en fonction de la vitesse de rotation

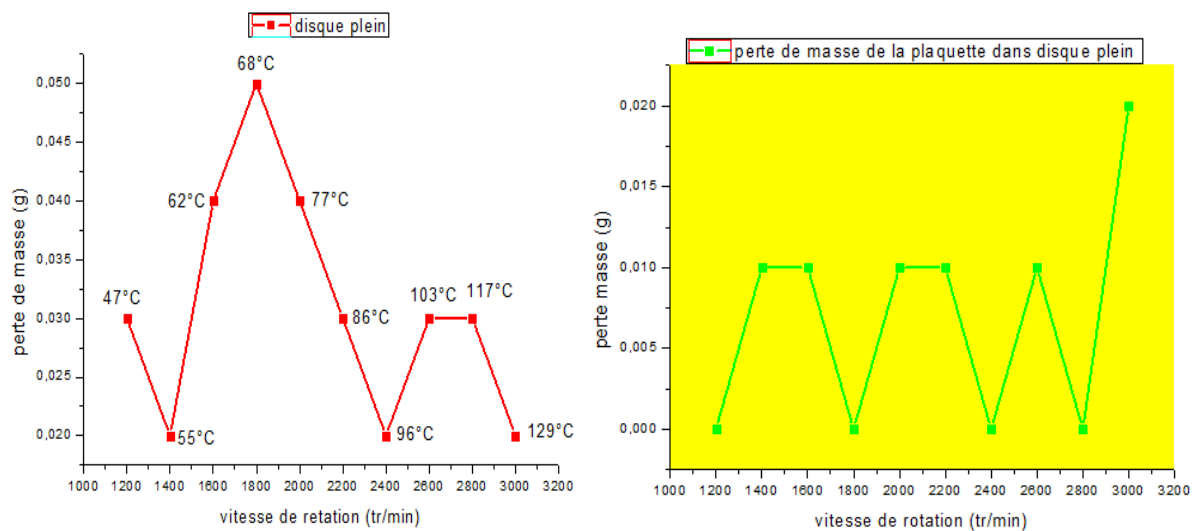


Figure III.35: a) perte de masse de disque plein b) perte de masse de la plaquette.

D’après les courbes des graphes ci-dessous pour une force de freinage 41.2N, la perte de masse de disque plein et la plaquette de frein n’est pas tous le temps stable.

Comparaison

Après l’analyse des deux courbes (rouge et verte), nous constatons que la perte de masse du disque plein, est supérieure à celle de la plaquette de frein, parce que, la dureté de plaquette de ce dernier est supérieure à celle du disque plein.

III.6.3. La perte de masse pour le disque plein et la plaquette en (g) avec une force de freinage 60.8N

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
La perte de masse de disque plein en (g)	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02
La perte de masse de la plaquette (g)	0	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0.01

Tableau III.10: La perte de masse de disques plein et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.

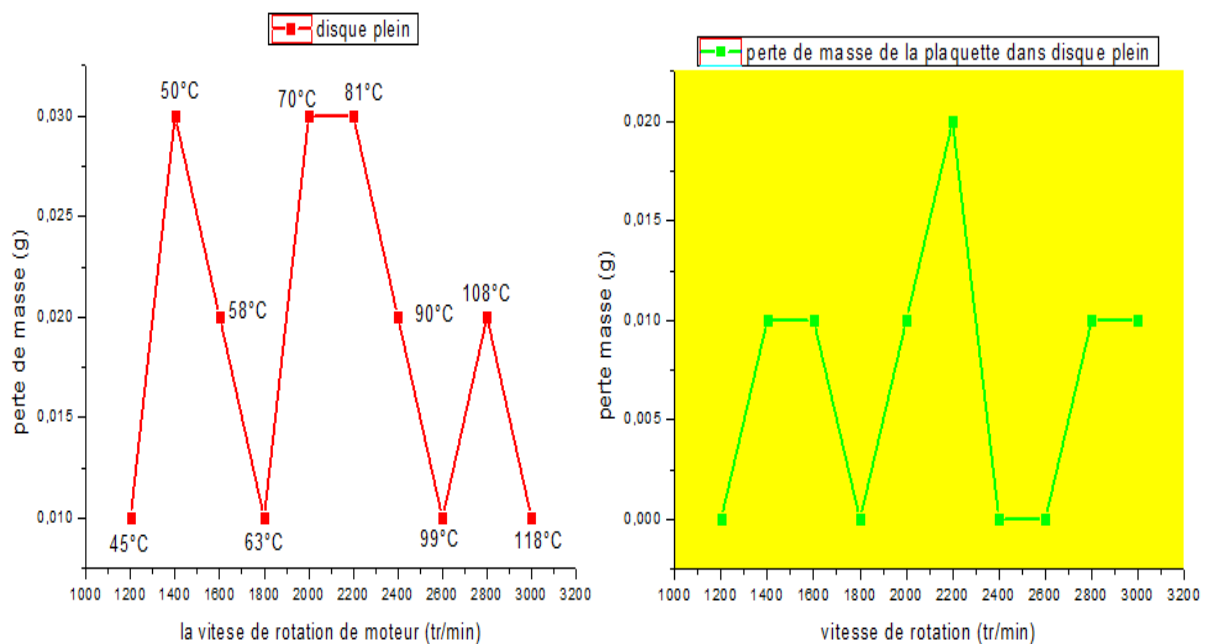


Figure III.36: a) perte de masse de disque plein b) perte de masse de la plaquette

D’après les courbes des graphes ci-dessous pour une force de freinage 60.8N, la perte de masse de disque plein et la plaquette de frein n’est pas tous le temps stable.

Comparaison

Après l’analyse des deux courbes (rouge et verte), nous constatons que la perte de masse du disque plein, est supérieure à celle de la plaquette de frein, parce que, la dureté de plaquette de ce dernier est supérieure à celle du disque plein.

III.6.4. La perte de masse pour le disque plein et la plaquette en (g) pour une force de freinage 100N

La vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
La perte de masse de disque plein en (g)	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
La perte de masse de la plaquette (g)	0	0	0.01	0	0	0.02	0.01	0.01	0	0.01

Tableau III.11: la perte de masse de disques plein et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.

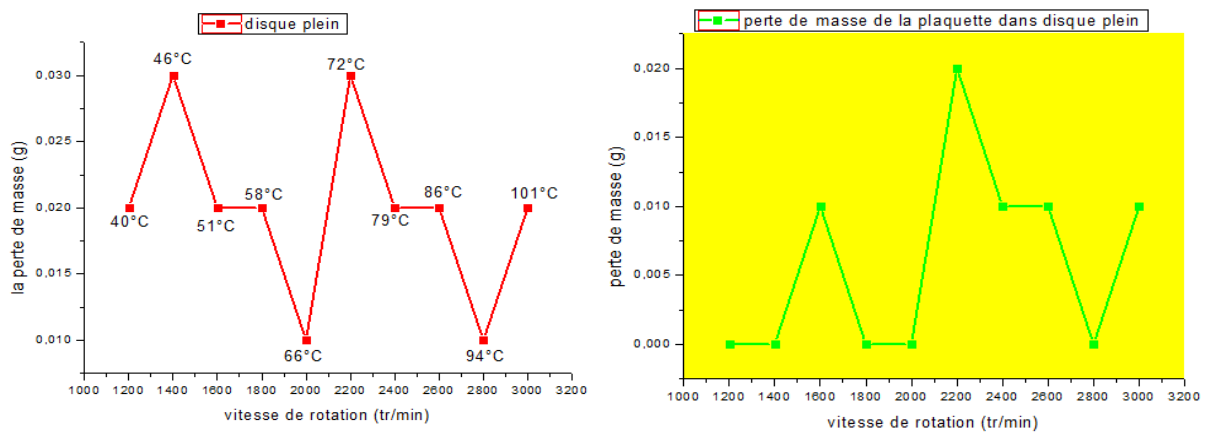


Figure III.37: a) perte de masse de disque plein b) perte de masse de la plaquette

D'après les courbes des graphes ci-dessous pour une force de freinage 100N, la perte de masse de disque plein et la plaquette de frein n'est pas tout le temps stable.

Comparaison

Après l'analyse des deux courbes (rouge et verte), nous constatons que la perte de masse du disque plein, est supérieure à celle de la plaquette de frein, parce que, la dureté de plaquette de ce dernier est supérieure à celle du disque plein.

Conclusion :

Après avoir essayé plusieurs charges de freinage et des différentes vitesses de rotation du moteur pour le disque plein et la plaquette, la perte de masse elle dépend de la dureté de matériaux, on a conclu :

- que lors d'un contact entre deux matériaux qui ont une dureté différente, le moins dur va perdre la masse plus que le plus dure.

-l'équivalence de dureté entre deux matériaux engendre une perte de masse pour les deux.

III.7. Perte de masse de la plaquette et disque ventilé

III.7.1. La perte de masse pour le disque ventilé et la plaquette en (g) avec une force de freinage 41.2N

Vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Perte de masse de la plaquette dans disque ventilé(g)	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0.02
Perte de masse de disque ventilé(g)	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01

Tableau III.12: la perte de masse de disques ventilé et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.

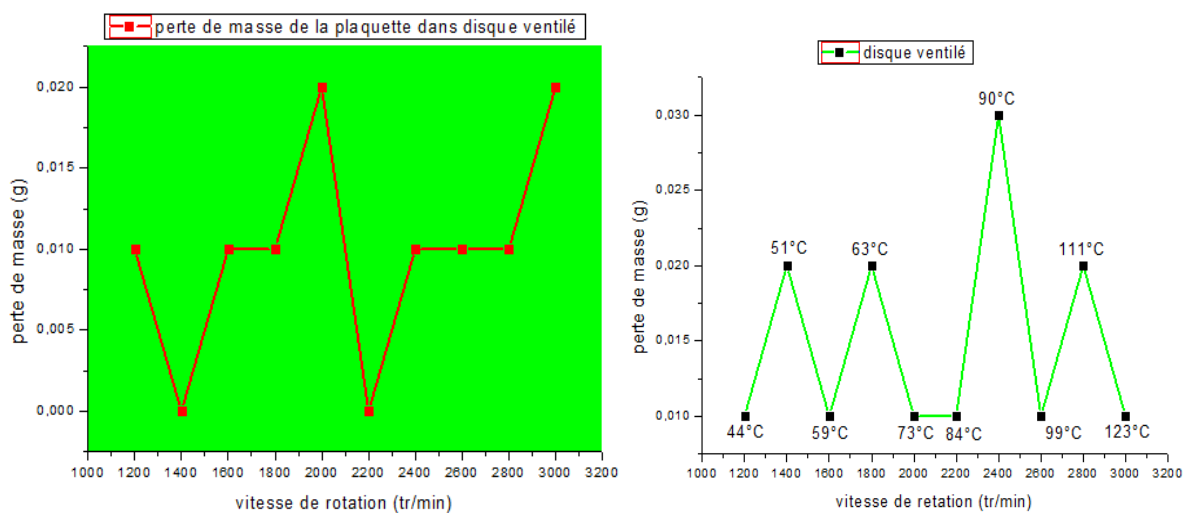


Figure III.38: a) perte de masse de disque ventilé b) perte de masse de la plaquette.

D'après les courbes des graphes ci-dessous pour une force de freinage 41.2N, la perte de masse de disque ventilé et la plaquette de frein n'est pas tout le temps stable.

Comparaison

Les résultats obtenus dans les deux courbes (disque ventilé, plaquette de frein), sont semblables, cela est dû à la même dureté du disque et de la plaquette.

III.7.2. Perte dans les deux disques (plein, ventilé) a une charge de $f=60.80N$

Vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Perte de masse de la plaquette dans disque ventilé (g)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0
Perte de masse de disque ventilé(g)	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02

Tableau III.13: La perte de masse de disques ventilé et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.

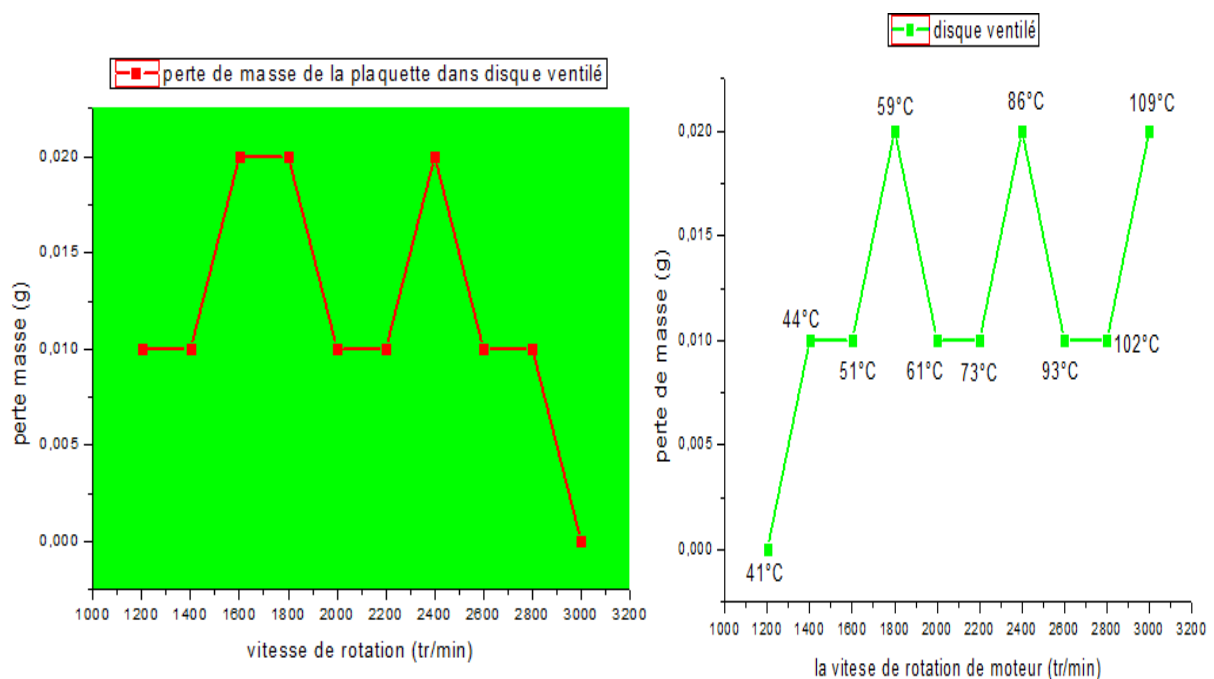


Figure III.39: a) perte de masse de disque ventilé b) perte de masse de la plaquette.

D'après les courbes des graphes ci-dessous pour une force de freinage 60.8N, la perte de masse de disque ventilé et la plaquette de frein n'est pas tout le temps stable.

Comparaison

Les résultats obtenus dans les deux courbes (disque ventilé, plaquette de frein), sont semblables, cela est dû à la même dureté du disque et de la plaquette.

III.7.3. Perte de masse dans les deux disques (plein, ventilé) a une charge de F=100N

Vitesse de rotation (tr/min)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Perte de masse de la plaquette dans disque ventilé(g)	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0
Perte de masse de disque ventilé(g)	0.01	0	0.02	0	0	0.02	0.01	0.01	0	0.01

Tableau III.14: La perte de masse de disques ventilé et la plaquette en fonction de la vitesse rotation.

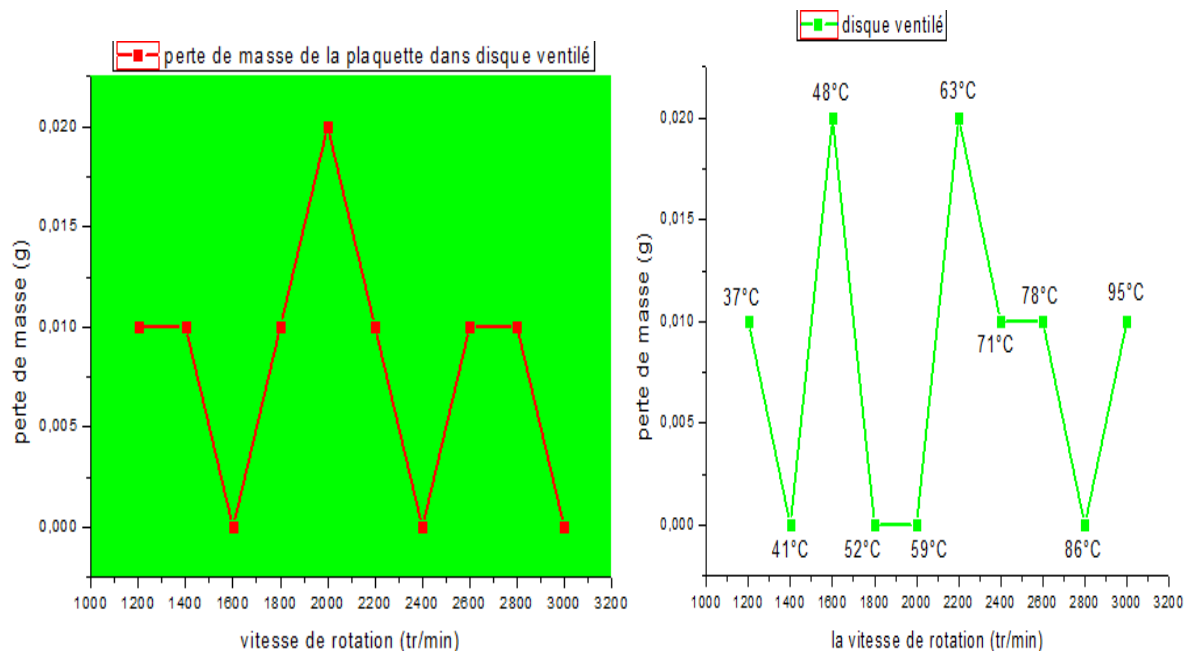


Figure III.40: a) perte de masse de disque ventilé b) perte de masse de la plaquette.

D'après les courbes des graphes ci-dessous pour une force de freinage 100N, la perte de masse du disque ventilé et la plaquette de frein n'est pas tout le temps stable.

Comparaison :

Les résultats obtenus dans les deux courbes (disque ventilé, plaquette de frein), sont semblables, cela est dû à la même dureté du disque et la plaquette.

Conclusion

Après avoir essayé plusieurs charges de freinage et des différentes vitesses de rotation du moteur pour le disque ventilé et la plaquette qui ont la même dureté du matériau, nous avons conclu :

lors d'un contact de deux matériaux de la même dureté la perte de masse semblable.

Conclusion Générale

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, une faible émission de bruit au cours du freinage, un faible poids, une longue durée de vie, un frottement équilibré et un taux d'usure relativement bas. Depuis plus d'un siècle, un grand nombre de matériaux des 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 de comportement tribologique des disques de frein, des nouveaux matériaux tels que les composites, les céramiques et les alliages à base de la fonte grise sont mis en évidence pour la fabrication de ces derniers.

Dans ce travail, on a réalisé un système de freinage afin de l'utiliser pour des essais avec des disques de frein (ventilé, plein) et deux plaquettes de frein. Ce système de freinage a été réalisé dans un moteur asynchrone. On a tenté d'appréhender l'influence des charges appliquées, les vitesses de rotation sur la température de contact (disque/plaquette), le temps de freinage et la dureté sur la perte de masse. Des mesures ont été prises par des différents instruments de mesure.

Les résultats des essais nous ont permis de conclure que :

- la température du disque ventilé inférieure à celle du disque plein parce qu'il se refroidit par ces ailettes.
- la température dépend de la vitesse de rotation et de la charge de freinage.
- le temps de freinage dépend de charge du freinage et de la vitesse de rotation.
- la perte de masse dépend de la dureté du matériau et de la charge du freinage.

Références bibliographiques

- [1] NOEL BRUNETIERE, « INTRODUCTION A LA TRIBOLOGIE », 2016
- [2] Marielle Champagne 2009, Option Physique La Mécanique P. 183.
- [3] Ashby, M.F, Abulawi, J. Kong, H.S, « Wear Mechanism », 1991
- [4] Cornets Et Deville, 1998, « Physique Et Ingénierie Des Surfaces », 1998
- [5] M. AUBLIN, R .BONCOMPAIN ,M .BOULATON,D.CARON,E.JEAY,B. LALAGE, J. REA : " Systèmes mécaniques – Théorie et dimensionnement " , 2^{ème} édition, Editions DUNOD, 2004
- [6] SCHMITT. Emmanuelle, GAGNE .Wilfrid. " Etude sur le freinage automobile ".
Préparation à l'agrégation de mécanique 2002-2003.
- [7] A. BELHOCINE, Thèse pour l'obtention du Diplôme de doctorat en génie mécanique
« ETUDE THERMOMECHANIQUE DES DISQUES DE FREIN APPLICATION DU CODE DE CALCUL ANSYS v11.0 », 2011
- [8] A.E. Anderson, Friction and wear of automotivebrakes, Friction, lubrication and wear technology. ASM hand book, 18(1990)569–577.
- [9] A. Daoud, M.T. Abou El-Khair, Wear And Friction Behaviour Of Sand Cast Brake Rotor Made Of A359-20 Vol% Sic Particle Composites Sliding Against Automobile Friction Material, Tribology International 43 (2010) 544–553.
- [10] N. Natarajan, S. Vijayarangan, I. Rajendran, Wear Behaviour Of A356/25sicp Aluminium Matrix Composites Sliding Against Automobile Friction Material, Wear261(2006)812–822.
- [11] P. Baque, P. Fernier, Les Notes Techniques Du Cetim12 (1975).
- [12] J-J.Carré. "Technique d'Ingénieur ,Technologie de Freinage ,Frein à Disque 1993.

[13] M. Benramdane¹, Y. Khadraoui¹ et N. Bibi-Triki² " Analyse de la contribution du transfert thermique des disques tournants (disque de frein) uniformément chauffés "

Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur Université Abou BekrBelkaïd, Tlemcen, Algérie

[14] Tmd Friction Services Gmbh-Textar-Analyse Des Dommages Sur-Plaquettes De Frein A Disque Et Disques V1 -Informations Techniques

[15] Thèse Guenad Amin [Etude De Défaillance Des Systèmes De Freinage Des Véhicules Routiers.

[16] J.-M. Berthelot, Matériaux Composites : Comportement Mécanique Et Analyse Des Structures, Masson, Paris, 1992.

[17] M. Milan, O. Maluf, D. Spinelli, W. Bose, W. Filho, Metais- Uma Visão Objetiva. São Carlos, Brasil: Ed. Suprema. 2004

[18] Kim S.S., Lee S.H., Lee S.M. : "Thermomechanical wear mechanism of friction brake", Proceedings of the international tribology conference, Tokohama, pp.1567-1572, 1995

[19] Kennedy F.E., Ling F.F. : "A thermal, thermoelastic and wear simulation of a high-energy sliding contact problem ", Journal of lubrication Technology, vol.23, pp.276-296, 2000

Résumé

Dans ce travail, des essais de freinage ainsi que des essais de perte de masse du disque et la plaquette ont été réalisés dans un moteur asynchrone pour mesurer la température et le temps de freinage par des différentes charges et des vitesses de rotation.

Il est indiscutable qu'il y a nécessité vitale de réduire et de diminuer les fortes températures De contacts engendrés par le frottement (disque /plaquettes) lors du freinage, nous Avions tenté d'appréhender l'influence de la charge et la vitesse de rotation sur la température de contact et temps de freinage.

La nature du matériau du disque et la plaquette ainsi que leur géométrie, ils sont un rôle très important dans des différents paramètres tel que la force de freinage et la température de contact et la perte de masse.

En fin nous avons utilisé la méthode des moindres carrés et le logiciel origin pour l'estimation des températures de contact et le temps de freinage.

Mots clés : température de contact, temps de freinage, perte de masse.

Abstract

In this work, braking tests as well as disc and pad mass loss tests were performed in an asynchronous engine to measure temperature and braking time by different loads and braking speeds Rotation.

There is no question that there is a vital need to reduce and decrease high temperatures Contacts generated by friction (disc/pads) during braking ,we Aircraft attempting to understand the influence of load and speed of rotation on contact temperature and braking time.

The nature of the disc material and the pad as well as their geometry, they are a very important role in differential parameters such as braking force and contact temperature and mass loss In the end we had for estimating contact temperatures and braking time.

Keywords: contact temperature, braking time, mass loss.