



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID –TLEMCE-
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE
LABORATOIRE D'INGENIERIE DES SYSTEMES MECANIQUES ET MATERIAUX



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

**Master
En
Génie Mécanique**

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par :

GUENAD Amin

Thème

**Etude de défaillance des systèmes de freinage des
véhicules routiers**

Soutenu le 31/10/2012 devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Mr. HAMZA CHERIF S.M	MCB	UABB. Tlemcen
<i>Encadreur</i>	Mr. BELALIA. S.A	MCB	UABB. Tlemcen
<i>Co-encadreur</i>	Mr. BOUKHALFA. A	MCA	UABB. Tlemcen
<i>Examineur</i>	Mr. GUEZZEN.S	MAB	UABB. Tlemcen
<i>Examineur</i>	Mr. ACHOULM	MAA	UABB. Tlemcen

Année universitaire 2011-2012

Remerciements

A terme de ce travail, je veux adresser mes vifs remerciements à mes chers parents pour leurs sacrifices, aides, soutiens et encouragements durant mon cursus d'étude.

Mes remerciements à mes encadreurs Mr. BELALIA Sid Ahmed et Mr. BOUKHALFA Abdelkrim pour l'encadrement exceptionnel, pour leurs disponibilités et leurs judicieux conseils, pour le climat de famille qu'ils ont créé autour de moi durant ma préparation de ce mémoire.

J'adresse mes profonds remerciements à Mr. HAMZA CHERIF S.M, Mr. GUEZZEN.S et Mr. ACHOULM ,qui ont spontanément la volonté et l'honneur d'examiner mon travail.

Mes plus vifs remerciements à Mr. BJELILI YUCEF qui m'a aidé à apprendre le logiciel Abaqus.

Mes plus vifs remerciements à Mr. RAZNI Abdelkader qui m'a orienté durant mon stage au niveau de l'entreprise de la SNVI.

Sans oublier à remercier chaleureusement tous les enseignants contribuant durant ma formation, enfin à tous mes camarades de classe de la promotion génie mécanique.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents qui m'ont beaucoup aidé pour terminer mes études, et qui m'ont tellement encouragé.

A toute la famille sans exception.

A mes encadreurs Mr. **Belalia sid ahmed**, Mr. **BOUKHALFA Abdelkrim** et tous les enseignants.

A mes amis : **Ahmed, , Mohamed, Said, Amine, Isame, Yocef.**

A tous mes amis de la promotion génie mécanique sans citer les noms.

A tout ce qui m'a aidé durant ma vie.

Sommaire

Sommaire	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VIII
Liste de symboles	X
Introduction	1

Chapitre1 : Les systèmes de freinage des véhicules routiers

1. Historique.	2
1.1. Les premiers freins	2
1.2. Le premier incident de frein	2
2. Fonction de frein.....	3
3. Types de freins.....	3
3.1. Le frein de service ou frein principal	3
3.2. Le frein de stationnement ou frein à main	3
3.3. Le frein de secours.....	3
3.4. Le frein de ralentissement	4
3.5. Frein à inertie.....	4
3.6. Frein hydraulique.....	4
3.7. Frein pneumatique	4
4. Les différentes installations de freinage	4
4.1 .Installation hydraulique.	5
4.1.1. Freins à disque.....	6
4.1.2. La plaquette	6
4.1.3. Etrier.....	7
4.1.4. Freins à tambour	9
4.1.5. Assistance (servofrein)	10
4.1.5.1. Fonction	11
4.1.5.2. Fonctionnement	12
4.1.6. Maître-cylindre	13
4.1.6.1. Fonction	13
4.1.6.2. Fonctionnement	13
4.1.7. Canalisations et Flexibles	15
4.1.8. Correcteur de freinage	16

4.1.8.2. Fonctionnement des correcteurs de freinage	16
4.2. Installation pneumatique	16
4.2.1. Fonctionnement	17
4.2.1.1. Le compresseur d'air	17
4.2.1.2. les réservoirs	17
4.2.1.3. La pédale de frein	18
4.2.1.4. Les récepteurs de freinage	18
4.2.1.5. Les segments et les tambours de frein	18
4.3. Installation oléo- pneumatique	19
5. Système antiblocage des roues (ABR)	20
5.1. Définition	20
5.2. Les différents systèmes antiblocages.....	20
5.3. Composants du système ABR	20
5.4. Principe de fonctionnement	21

Chapitre 2 : Etude du système de freinage

1. Introduction.	22
2. Notions de base sur le système de freinage	22
2.1. Energie.....	22
2.1.1. Energie cinétique	22
2.1.2. Energie dissipée	23
2.2. La force d'adhérence	23
2.2.1 Adhérence.....	23
2.2.1. Force d'adhérence	23
2.3. Le glissement (λ)	24
2.4. La distance d'arrêt.....	25
2.5. La force maximale de freinage	27
2.6. Le couple maximale de freinage.....	27
2.7. La réaction au pivot	27
3. Etude frein à disque	28
3.1 .Exemple de calcul.....	28
4. Matériaux et contre-matériaux.....	30
4.1 .La garnitures.	30
4.1.1. Composition	30
4.1.2. Fixation.....	30

4.2. Contre-matériaux	31
4.2.1. Qualités contact de garniture avec contre-matériaux	31

Chapitre 3 : Défaillance des systèmes de freinage

1. Introduction.	33
2. Défaillance des systèmes de freinage	33
2.1 Assistés par servofrein.....	33
2.2. Maître-cylindre	34
2.3. Flexibles de frein	34
2.4. Étrier de frein.....	35
2.5. Les garnitures de freins.....	35
2.5.1. Plaquette de frein pour disque	35
2.6. Disques de freins.....	38
2.7. Tambour de frein	38
3. Les causes de défaillance	43
3.1. La lubrification	43
3.2. La Chaleur	45

Chapitre 4 : Entretien des Systèmes de Freinage

1. Entretien du système de freinage.....	46
1.1. Contrôle du niveau du liquide de frein	46
1.1.1. Vidange et purge du circuit.....	46
1.2. Contrôle maître-cylindre.....	48
1.3. Contrôle assistance de freinage (ou servofrein).....	49
1.3.1. Contrôle du clapet de retenue (1) du servofrein	49
1.3.2. Contrôle de l'étanchéité du servofrein	49
1.4. Contrôle de Correcteur de freinage	50
1.4.1. Consignes générales avant intervention.....	50
1.4.2. Procédure de contrôle	50
1.5. Contrôle des tambours.	50
1.6. Contrôle de l'épaisseur de garniture de mâchoire (voir la figure 4.9).....	51
1.7. Contrôle de l'étrier de frein.	51
1.7.1. Procédure de contrôle	51

1.8. Contrôle le disque de frein.....	52
1.8.1. Procédure de contrôle	52
1.9. Contrôle des plaquettes.....	52

Chapitre 5 : Modélisation du disque de frein

5.1 SOLID WORS	55
5.2. ANSYS	55
5.2.1. Elément utilisé dans le maillage	55
5.2.2. Les propriétés physiques des éléments du disque	55
5.2.3. Analyse modale	55
5.3. Simulation thermique	58
5.3.1. Visualisation de température	58
5.3.2. Visualisation de contrainte	59
Conclusions et perspectives.....	61
Références bibliographiques.....	62
ANNEXE A	64

Introduction

Durant notre stage au niveau de l'entreprise **SNVI** (Société Nationale des Véhicules Industriels) de Tlemcen, et pour un développement de nouvelles technologies dans l'industrie du transport, on a trouvé que les systèmes de freinage sont les premiers organes de sécurité d'un véhicule pour être sûr et efficace. Le temps et la distance de freinage ne doivent pas atteindre une valeur maximale quel que soit les conditions de chargement (normales) du véhicule et les conditions extérieures.

Suivant l'importance du système de freinage, son inaltération est indispensable. A partir de cette idée, on a pris l'initiative d'étudier ce problème sur des bases scientifiques dans le cadre de notre projet de fin d'étude.

Les objectifs de l'étude sont:

- ✓ Etudier le frein à disque et indiquer les défaillances qui se produisent au niveau de ce disque.
- ✓ Calcul de l'effort de serrage F est la force de pression de chaque garniture sur le disque.
- ✓ Visualisation de la répartition des contraintes et de température sur le disque de frein.

Voici les démarches suivies dans notre travail :

- ✓ Etude du système de freinage par les calculs de l'effort sur le disque.
- ✓ Les dessins de disque et de plaquette en utilisant **SOLIDWORKS**.
- ✓ Une modélisation est faite par le logiciel **ANSYS**.
- ✓ Une simulation thermique est faite par le logiciel **Abaqus**.

Le mémoire est organisé en cinq chapitres:

- Les différents types d'installation de systèmes de freinage des véhicules routiers qui constituent le premier chapitre. On présente l'historique de frein, et les différents types de freins, avec une présentation du système ABS « Anti-lock Breaks System ».
- En deuxième chapitre, on fait une étude sur le système de freinage choisi, avec un calcul de l'effort de serrage F .
- Le troisième chapitre est consacré pour le problème posé, c'est-à-dire les défaillances existantes de systèmes de freinage et ses causes.
- Le quatrième chapitre, on présente un entretien du système de freinage.
- En cinquième chapitre, on présente une simulation thermique par logiciel **Abaqus**.

Et à la fin, une conclusion générale avec quelques perspectives.

Chapitre 1 : Les systèmes de freinage des véhicules routiers

1. Historique

1. 1. Les premiers freins

L'histoire du frein[1] ferroviaire commence vers 1550, en Europe. Dans les mines de Leberthal, en Alsace, le minerai est extrait à l'aide de wagonnets dont les roues en fer roulent sur des longrines qui ne s'appellent pas encore des rails. Un historien nous apprend qu' "une pièce de bois, disposée horizontalement au-dessus d'une roue, était articulée au flanc du wagonnet. Le conducteur, qui était un enfant, pouvait ainsi appuyer de la main ou du pied contre la périphérie de la roue et modérer la vitesse de ces chariots miniers lancés dans de faibles déclinaisons"(voir figure1.1).

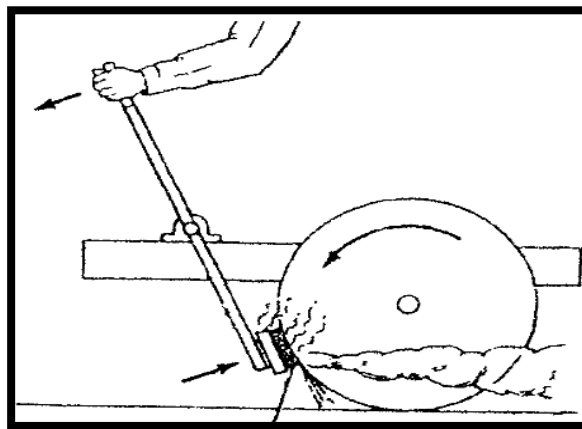


Figure 1.1 : Développement de frottement et de chaleur[1].

Deux cents ans plus tard, nous sommes au milieu du 18ème siècle et le transport par diligence se développe partout en Europe. Il s'agit, certes, de véhicules que l'on pourrait qualifier de routiers. Néanmoins, ces véhicules sont équipés, en France, d'un système de freinage appelé "mécanique" qui permettait au conducteur d'appliquer un ou plusieurs sabots contre les roues sans descendre de son siège. Ces sabots sont actionnés par une transmission commandée par le levier à disposition du conducteur : il s'agit ici d'une première ébauche du freinage à commande centralisée.

1.2. Le premier incident de frein

Restons sur la "route" avec le premier incident de freinage de l'histoire, intimement lié à la naissance du moteur. Le 23 novembre 1770, Nicolas Joseph Cugnot présente, à l'Arsenal de Paris, son désormais célèbre fardier, un chariot équipé d'un moteur à vapeur. Difficile à diriger et faiblement freiné, il finit sa course dans un mur de clôture. Cet incident mettra fin pour de longues années aux expérimentations de véhicules sans chevaux, qu'ils soient ou non guidés : déjà à l'époque, le freinage devient l'élément important qui se doit de suivre les progrès de la traction.

Avançons de quelques années avec la naissance du rail en France : à la suite d'une visite au Creusot, l'un des berceaux industriels de la France, Daubenton écrit en 1782 à Buffon : "Toutes les routes y sont tracées par des pièces de bois, auxquelles sont adaptées des bandes de fonte sur lesquelles portent les roues des chariots qui conduisent le charbon à la mine ; et ces roues sont conduites de manière que le chariot ne puisse se détourner et est obligé de suivre la route qui lui est tracée ; de sorte qu'un seul cheval, même aveugle, conduit sans gêner quatre milliers et plus...". L'accident de Cugnot n'est pas encore oublié, et la traction hippomobile règne encore en maître, ne nécessitant pas de système de freinage.

2. Fonction de frein

Un véhicule en mouvement possède une énergie cinétique, fonction de la masse et de la vitesse. Le rôle des freins est d'arrêter ou de ralentir le véhicule en absorbant cette énergie en partie ou en totalité avec un maximum d'efficacité tout en alliant confort et sécurité.

Freiner un véhicule consiste à lui appliquer des forces qui s'opposent à la rotation des roues, notamment pour :

- ✓ **Stabiliser** la vitesse du véhicule.
- ✓ **Ralentir** le véhicule.
- ✓ **Arrêter** le véhicule.
- ✓ **Maintenir** le véhicule à l'arrêt.

3. Types de freins

Selon la fonction et le mode de fonctionnement, on distingue plusieurs types de freins :

3.1. Le frein de service ou frein principal

Il agit sur toutes les roues du véhicule, il est destiné à ralentir ou à arrêter le véhicule. Le temps et l'intensité d'utilisation peuvent être très variables (**obstacle imprévu** : freinage intense de courte durée, **descente de col** : freinage léger de longue durée). Ce frein est généralement commandé par une pédale.

3.2. Le frein de stationnement ou frein à main

Il agit en général sur un seul essieu (essieu arrière) déterminé en fonction de la répartition de la charge du véhicule sur ses essieux, il est destiné à maintenir à l'arrêt un véhicule en stationnement, même sur une pente et en absence du conducteur. Sa commande doit être distincte du freinage principal, il est commandé par un levier à main.

3.3. Le frein de secours

Il est destiné à arrêter, dans des conditions prescrites par la réglementation, le véhicule en cas de défaillance d'une partie du frein principal. Le freinage de secours peut être obtenu soit à partir de la partie non défaillante du frein principal, soit à partir du frein de

stationnement ou à partir d'un système de freinage supplémentaire doté d'une commande distincte agissant directement sur les feins.

3.4. Le frein de ralentissement

Organe auxiliaire, équipant surtout les poids lourds, placé sur la transmission et que le conducteur utilise à la place des freins pour ralentir la vitesse du véhicule sans désirer l'arrêt complet. Il est susceptible de fonctionner pendant des temps très longs, il s'échauffe donc de façon constante, et doit alors évacuer la chaleur de façon permanente.

3.5. Frein à inertie

Dispositif de freinage utilisé sur les remorques, placé entre le crochet et la barre d'attelage. Lorsque la vitesse de la remorque dépasse momentanément celle du véhicule tracteur, le poids de la remorque écrase le dispositif, qui par réaction, actionne les feins principaux de la remorque.

3.6. Frein hydraulique

Système de freinage caractérisé par le fait que la transmission de l'effort du conducteur aux organes de freins liés aux roues est assurée par un liquide incompressible.

3.7. Frein pneumatique

Système de freinage utilisant une source d'air comprimé entretenue par un compresseur entraîné par le moteur et très utilisé sur les poids lourds en raison de sa puissance.

4. Les différentes installations de freinage

L'énergie mécanique par l'action du conducteur sur la pédale de frein est transmise aux organes à freiner, ou à ralentir (roues) selon la figure 1.2.

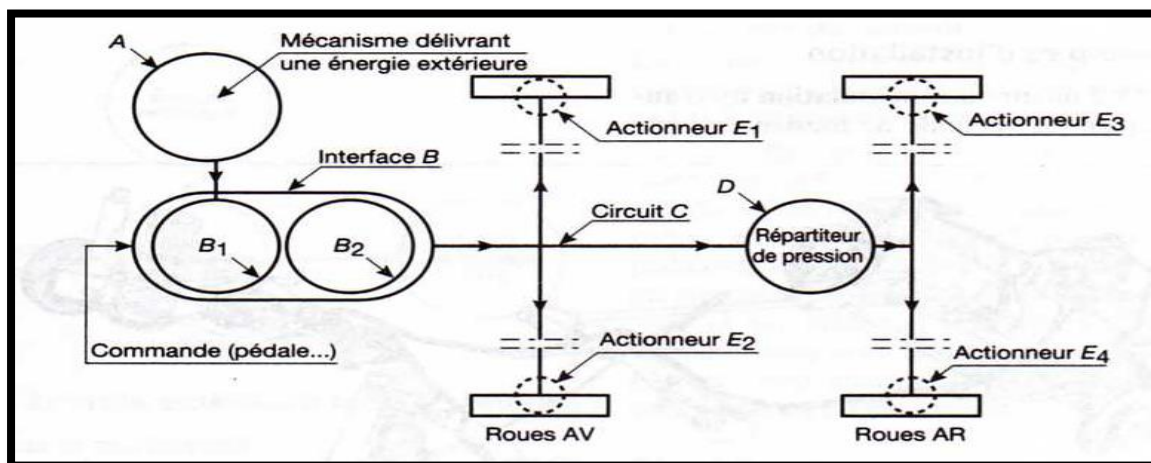


Figure 1.2 : Les organes à freiner [2].

Le tableau 1.1 montre les différents composants A, B, C, D et E selon la transmission de puissance : hydraulique, oléopneumatique ou pneumatique.

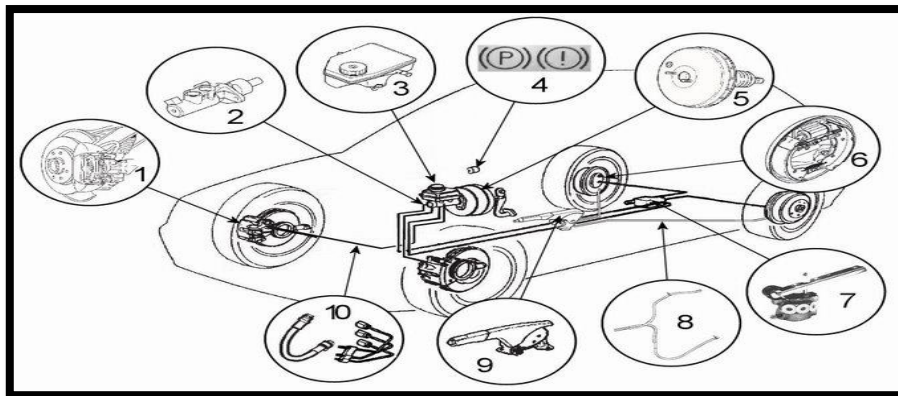
Tableau 1.1 : Différents types d'installation de freinage [2].

Type installation	A	B1	B2	C	D	E	Applications
Hydraulique	Dépression ou pression (Gaz ou air)	Servo-frein	Maitre-cylindre	Tuyauterie pour circulation d'huile	Répartiteur de pression arrière et roues avant	cylindres de roues	Véhicules de tourisme jusqu'à 4.5 Tonnes
Oléo-pneumatique	Pression air Epuration Compression Accumulation Régulation De pression	Distributeur / doseur	Tuyauterie pour circulation d'huile	Véhicules Industriels Jusqu'à 21 Tonnes			
Pneumatique			Tuyauterie pour circulation d'air	Vases à diaphragme		Véhicule industriels jusqu'à 38 Tonnes	

4.1. Installation hydraulique

Système de freinage dont l'énergie de fonctionnement est fournie par un liquide hydraulique sous pression, emmagasiné dans un ou plusieurs accumulateurs alimentés par un ou plusieurs générateurs de pression munis chacun d'un régulateur limitant cette pression à une valeur maximale.

La figure 1.3 montre une installation hydraulique choisie pour les véhicules touristiques disposant de freins à disque à l'avant, et de freins à tambour à l'arrière.



- 1 : Freins à disque
- 2 : Maître-cylindre
- 3 : Réservoir de liquide
- 4 : Voyants d'alerte et d'état
- 5 : Assistance (servofrein)
- 6 : Freins à tambour
- 7 : Correcteur de freinage
- 8 : Câbles de frein à main
- 9 : Levier de frein à main
- 10 : Canalisations et flexibles

Figure .1.3 : Installation hydraulique pour véhicule touristique [3].

4.1.1 Freins 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, on peut utiliser des disques ventilés.

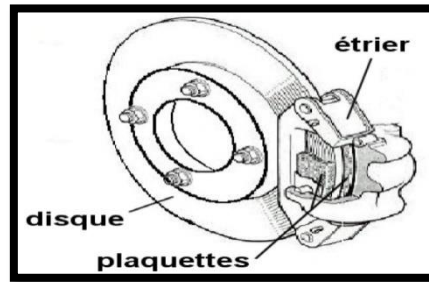


Figure1.4 : Le frein à disque [4].

Le frein à disque (figure1.4) est composé de:

1. Un disque généralement en fonte lié à la roue par l'intermédiaire du moyeu et qui lui est intérieur, il existe deux type de disque :
 - **Le disque plein** de géométrie simple et donc de fabrication simple, il se compose tout simplement d'une couronne plein reliée à un « bol » qui est fixe sur le moyeu la voiture (figure1.5).
 - **Le disque ventilé** de géométrie plus complexe, ils se composent de deux couronnes « appelées flasques » séparées par des ailettes, il refroidit mieux que le disque plein (figure 1.6).



Figure1.5 : Le disque plein [4].



Figure1.6 : Le disque ventilé [4].

4.1.2. La plaquette

La plaquette de frein est un élément du frein à disque constitué par une plaque métallique sur laquelle est rapportée (collée) une garniture épaisse, à fort coefficient de friction, portée par l'étrier et serrée sur le disque par le piston de frein (Figure 1.7).

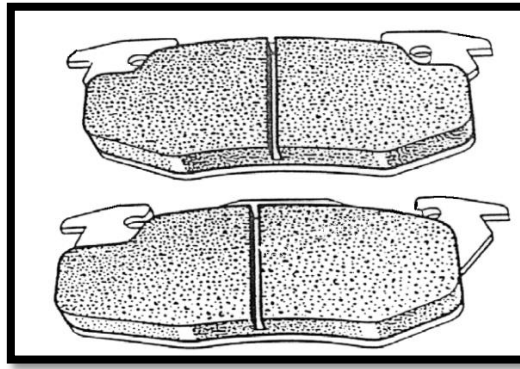


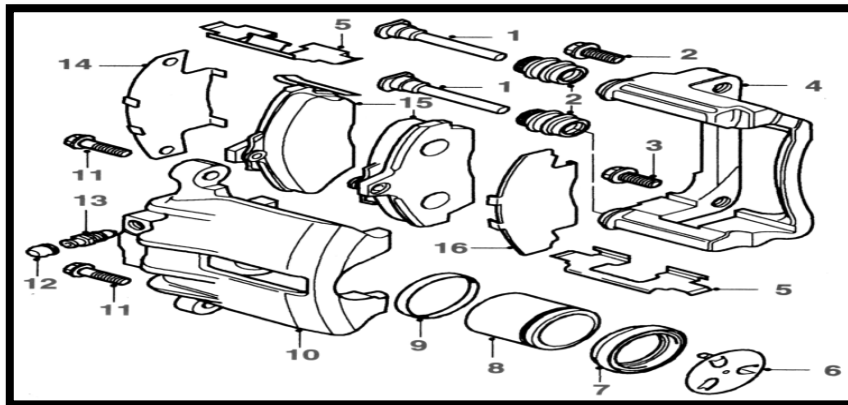
Figure 1.7 : La plaquette de frein [5].

4.1.3. Etrier

L'étrier est une pièce rigide solidaire de l'essieu, il coiffe le disque sur une portion d'arc. Il porte de part et d'autre du disque un élément de friction communément appelé "plaquette de frein" dont la poussée contre le disque peut être obtenue suivant deux principes :

- étrier fixe à pistons opposés.
- étrier flottant à deux pistons ou à piston unique.

L'étrier constitue la terminaison de la commande hydraulique du frein à disque. Il comprend le système cylindre / piston qui actionne les plaquettes de frein (Figure 1.8).

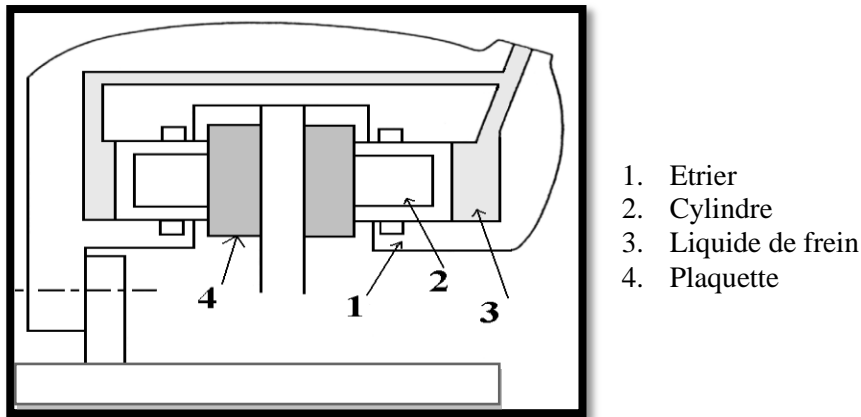


- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1 : Axe de guidage | 9 : Coupelle de piston |
| 2 : Soufflet | 10 : Corps d'étrier |
| 3 : Boulon-fixation d'étrier | 11 : Boulon d'axe de guidage |
| 4 : Support d'étrier | 12 : Pare-poussière-vis de purge |
| 5 : Retenue de plaquette | 13 : Vis de purge |
| 6 : Cale | 14 : Cale de plaquette intérieure |
| 7 : Pare-poussière | 15 : Plaquettes de frein |
| 8 : Piston | 16 : Cale de plaquettes extérieure |

Figure 1.8 : Etrier de freinage [5].

▪ Etrier fixe

Type d'étrier de frein à disque lié rigidement au porte-moyeu et portant un cylindre de commande de chaque côté du disque sous l'action de la pression hydraulique les deux pistons poussent chacun une plaquette contre le disque ce qui entraîne le freinage(Figure1.9).



1. Etrier
2. Cylindre
3. Liquide de frein
4. Plaquette

Figure1.9 : Fonction d'étrier fixe [5].

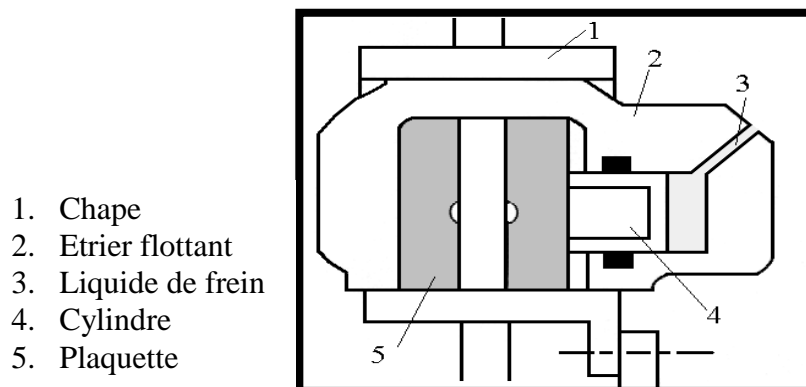
▪ Etrier flottant

Type d'étrier de frein à disque présentant une mobilité axiale par rapport au disque et portant un seul ou deux cylindres de commande hydraulique.

Pendant la phase de freinage, la pression hydraulique agit :

- ❖ sur le piston qui pousse la première plaquette contre le disque.
- ❖ sur le fond du logement du piston, l'étrier se déplace alors axialement et appuie la seconde plaquette sur le disque

Lorsque l'action du freinage cesse, le desserrage du frein est obtenu de façon naturelle par le recul du ou des pistons ainsi que du cylindre, de quelques dixièmes de millimètres, recul provoqué par l'élasticité du joint d'étanchéité qui se déforme légèrement pendant la phase de freinage. Le rappel des plaquettes est assuré par le voile du disque.



1. Chape
2. Etrier flottant
3. Liquide de frein
4. Cylindre
5. Plaquette

Figure1.10 : Fonction d'étrier flottant [5].

➤ **Avantages du frein à disques :**

- Meilleure rigidité.
- La dilatation n'affecte pas la qualité de freinage.
- Jeu de fonctionnement faible, action rapide.
- Bonne progressivité.
- Répartition uniforme de la pression.
- Remplacement des garnitures plus rapide.

➤ **Inconvénients du frein à disques :**

- Bruit.
- Prix

4.1.4. Freins à tambour

Le frein à tambour est un type de frein composé d'un tambour lié à la roue et de segments intérieurs, revêtu d'une garniture de frottement rivetée ou collée, solidaires d'un plateau lié aux structures des véhicules (figure 1.11).

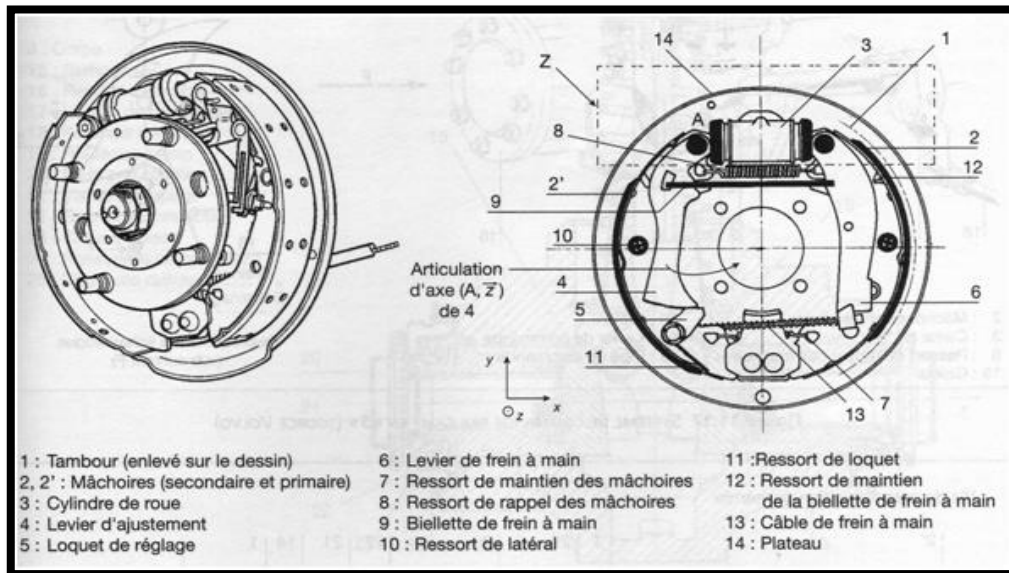


Figure 1.11 : Freins à tambour [2].

Le frein à tambour (figure 1.11) est composé de :

- **Plateau (flasque) :** Le plateau est un disque en tôle emboutie boulonné sur l'essieu arrière, qui constitue le point fixe du frein, reçoit le cylindre de roue et supporte les segments (mâchoires) de frein.
- **Cylindre de roue :** Terminaison de la commande hydraulique des freins, il est constitué d'un petit vérin double qui pousse les segments vers les parois du tambour.

- **Segments (mâchoires) :** Elément du frein à tambour qui porte une garniture à haut coefficient de friction et qui, sous la poussée du cylindre de roue, appuie cette garniture sur le tambour de frein ce qui engendre le couple de freinage.

Le frein à tambour peuvent être équipés d'un levier relié à la commande de frein à main par un câble pour assurer la fonction frein de parking et parfois frein de secours (figure1.12).

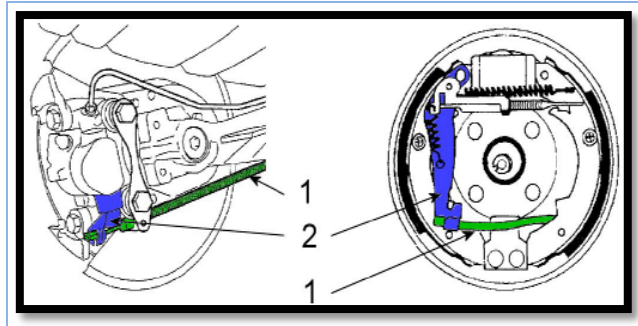


Figure1.12 : Frein à main[3].

Le conducteur actionne le levier en le faisant pivoter sur son axe .Celui-ci reste en position après enclenchement des crans de verrouillage .Par l'intermédiaire du palonnier, les câbles (1) se tendent et entraînent les leviers (2) situés dans les organes de frein.

Lors d'un freinage, le piston écarte les deux segments. Ceux-ci s'arc-boutent et pressent les garnitures contre le tambour qui tourne avec la roue. Ainsi, le mouvement de rotation est ralenti. Le rappel des segments est assuré par des ressorts.

a) **Avantages du frein à tambour**

- Commande de frein à main plus simple

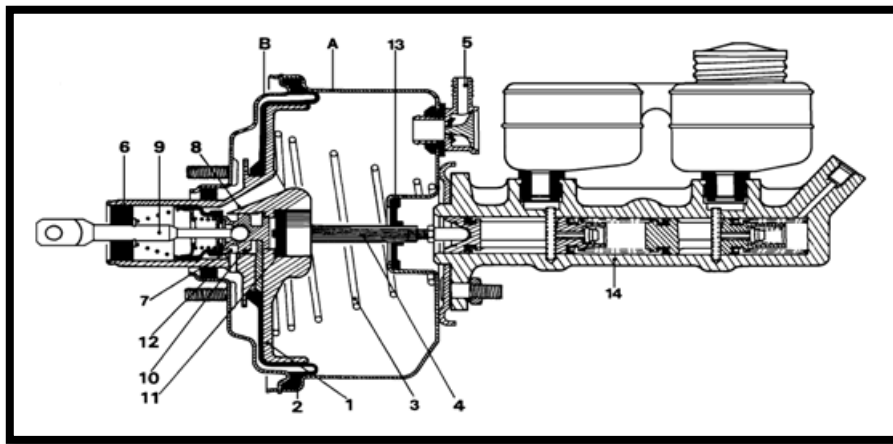
b) **Inconvénients du frein à tambour**

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

4.1.5. Assistance (servofrein)

Le frein à disque procurent un frottement plus puissant que le frein à tambour mais nécessitent par contre une force pressante plus élevée.

Afin d'accroître l'agrément de freinage en diminuant l'effort à la pédale, on utilise fréquemment des servofreins. Par dispositif commandé par la pédale de frein, qui multiplie l'effort exercé par le conducteur pendant le freinage, en faisant appel à une source d'énergie auxiliaire (figure1.13).



- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1 : Piston moteur | 8 : Orifice de vide |
| 2 : Membrane | 9 : Tige de commande |
| 3 : Ressort de rappel | 10 : Piston plongeur |
| 4 : Tige de poussée | 11 : Disque de réaction |
| 5 : Clapet de retenue | 12 : Joint de piston moteur |
| 6 : Filtre à air | 13 : Joint de tige de poussée |
| 7 : Orifice d'atmosphère | 14 : Maître-cylindre |
- A , B : Coquilles formant cylindre à air

Figure1.13 : Assistance (servofrein)[2].

4.1.5.1. Fonction

Un servo-frein est destiné à réduire considérablement l'effort exercé par conducteur sur la pédale de frein. Il peut être assimilé à une interface comprise entre un organe de commande (pédale de frein) délivrant une basse pression (BP) et un circuit de freinage devant disposer d'une pression plus importante (HP) comme le montre le figure1.14.

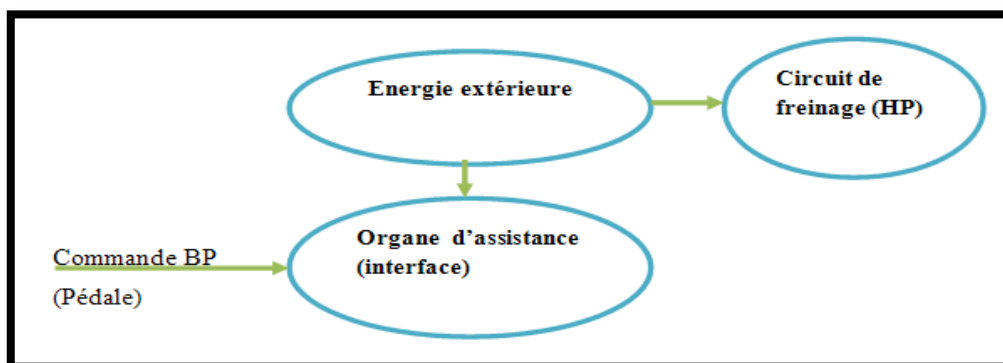


Figure1.14 : Fonction de servo-frein.

Deux cas présentent l'énergie extérieure :

1. Le véhicule est propulsé par un moteur thermique à essence, dans ce cas, l'organe d'assistance utilise la dépression disponible dans la *tubulure d'admission* du moteur.

2. Le véhicule est propulsé par un moteur diesel, dans ce cas, la dépression est obtenue par **une pompe à vide** entraînée par le moteur lui-même.

Il existe trois types de servofrein :

1. **Servofrein à dépression** : Dispositif utilisant la différence de pression entre la pression atmosphérique et la dépression régnant dans la tubulure d'admission, comme source d'énergie auxiliaire.
2. **Servofrein par pression hydraulique** : Dispositif utilisant une réserve d'huile mise sous pression par une pompe comme source d'énergie auxiliaire.
3. **Servofrein par pression d'air** : La pression d'air est fournie par compresseur.

4.1.5.2. Fonctionnement

Le tableau 1.5 explique le mode d'assistance au freinage en fonction de l'état des orifices d'atmosphère 7 et de vide 8 de la valve contrôle. A chaque situation envisagée (repos, freinage, position de maintien, freinage maximal).

Tableau 1.2: fonctionnement d'assistance (servofrein) [2].

	9,10	7	8	chambres		1,4	11	Commentaires
				Gauche G	Droite D			
Repos	—	F	O	Dépression maximale		—		Une dépression égale de part et d'autre du piston moteur 1 équilibre axialement l'ensemble mobile {1, 4,11} (les chambres G et D communiquent).
Freinage	→	F	F	Dépression partielle		—		La communication entre les chambres G et D est supprimée. la dépression dans la chambre D est supérieure à la dépression dans la chambre G. la piston moteur 1, déséquilibre axialement, se déplace légèrement
	→	O	F	Pression Atmosphérique	Dépression maximale	→	Comprimée	La chambre G est en communication avec le milieu extérieur (air à la pression atmosphérique).le piston moteur 1 se déplace entraînant avec lui l'ensemble (1,4,11).Le maitre-cylindre 14 active alors le circuit de freinage.
Position de maintien	—	F	F	Dépression partielle		—	Comprimée	La chambre G n'est plus en communication avec le milieu extérieur. Le piston moteur 1 continue d'exercer un effort axial constant sur l'ensemble (1,4,11).Le circuit de freinage reste activé à une pression constante.
Freinage maximale	→	O	F	Pression Atmosphérique		→	Comprimée	La chambre G est en communication avec le milieu extérieur. Le circuit de freinage est activé à une pression maximale. Toute nouvelle augmentation de celle-ci ne peut être obtenue que par un effort supplémentaire du conducteur.

— : pas de déplacement → : déplacement O : ouvert F : fermé.

4.1.6. Maitre-cylindre

4.1.6.1. Fonction

Le maitre-cylindre transforme l'effort du conducteur sur la pédale (assistée ou non par un servofrein) en une pression hydraulique dans le circuit de freinage conduisant aux roues avant et arrière du véhicule.

Il existe deux types maitre-cylindre:

- Le maitre-cylindre « simple » ne pouvant alimenter qu'un circuit unique de freinage. (figure 1.15)
- Le maitre-cylindre « tandem » alimentant simultanément (parallèlement) deux circuits de freinage indépendants. (figure 1.16)

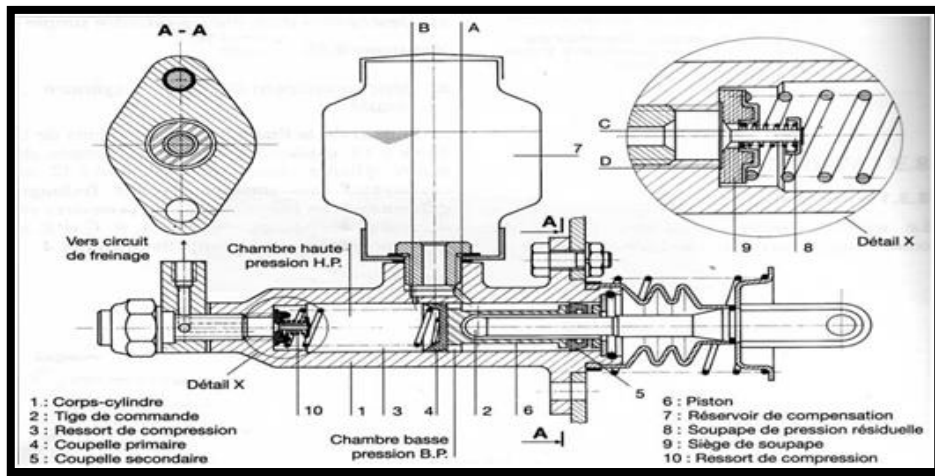


Figure 1.15 : Le maitre-cylindre « simple » [2].

4.1.6.2. Fonctionnement

Pour le maitre-cylindre « simple », le tableau 1.7 explique le fonctionnement de la figure 1.15 en envisageant trois situations (repos, freinage, dé freinage), en fonction de l'état (ouvert ou fermé) des passages repérés A, B, C et E, et de la forme prise par la coupelle primaire 4.

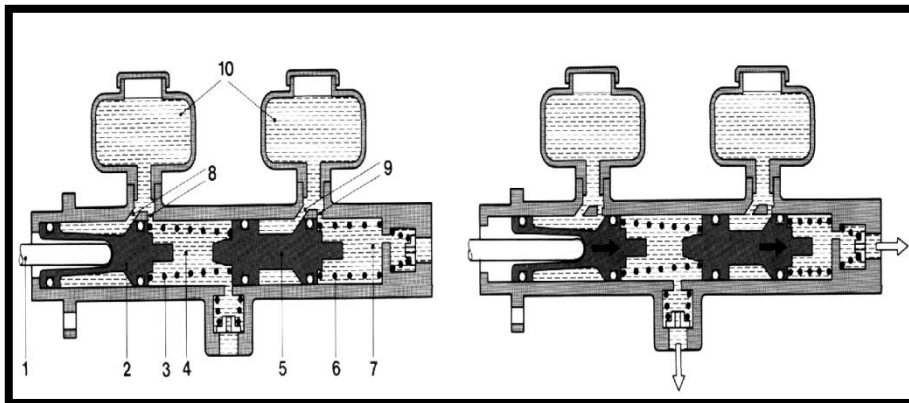


Figure 1.16 : Le maitre-cylindre « tandem » [5].

- | | |
|-------------------|----------------------------|
| 1 : Tige poussoir | 6 : Ressort de compression |
| 2 : Piston | 7 : Chambre de pression |

3 : Ressort de compression

8 : Canal d'équilibrage circuit 1

4 : Chambre de pression

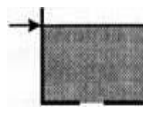

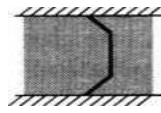
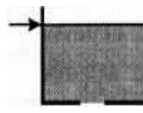

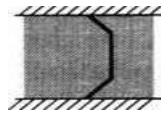
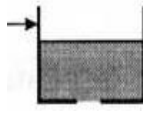
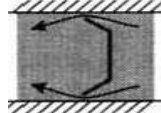
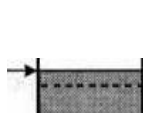
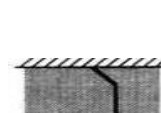
9 : Canal d'équilibrage circuit 2

5 : Piston intermédiaire

10 : Réservoir du fluide hydraulique

Le fonctionnement du maître-cylindre « tandem » est basé sur le même principe que celui du maître-cylindre simple. Chaque piston comporte une coupelle primaire et une coupelle secondaire. Un ressort de compression intermédiaire sépare les deux pistons dans la deuxième chambre HP (figure 1.16).

Tableau 1.3 : fonctionnement Le maître-cylindre « simple ».

Situation	Réservoir	(2,4,6)	Passages				coupelle	4	Commentaires
			A	B	C	D			
Repos			o	o	F	F		Les ressorts 3 et 3' maintiennent fermés les passages C et D. Une pression résiduelle règne dans le circuit de freinage.	
Freinage			O	F Puis O	O	O		L'action du liquide sur la coupelle A a augmenté la pression radiale de celle-ci sur la paroi de cylindre 1 d'où une quasi-parfaite étanchéité entre les chambres HP et BP. En début de course, une légère quantité de liquide remonte dans le passage B.	
Défreinage	1 ^{ère} phase		O	F Puis O	O	O		Sous l'effet du ressort 3, l'ensemble (2,4,6) reprend sa position initiale à une vitesse supérieure à celle du retour de la colonne liquide du circuit de freinage. La coupelle 4 se déforme sous la dépression ainsi créée, et une certaine quantité de liquide est aspirée du réservoir, au travers des trous axiaux aménagés dans le piston.	
	2 ^{ème} phase		O	O	F	F		La colonne de liquide dans le circuit de freinage reflue au réservoir sous l'action des ressorts de rappel des mâchoires (freins à tambour), ou des joints qui reprennent leur place dans les étriers (freins à disque)	

— : pas de déplacement. ← → : déplacement. O : ouvert F : fermé

4.1.7. Canalisations et Flexibles

La liaison entre les différents organes du dispositif de freinage est assurée par un circuit hydraulique composé de conduits rigides ou flexibles, qui transmettent la pression du fluide servant à appliquer la force de freinage aux freins du véhicule. Le circuit doit être étanche et protégé contre les pertes de pressions.

- **Canalisation** : tube rigide monté sur les masses suspendues.
- **Flexible** : tube souple constitué d'un tuyau en caoutchouc synthétique à armature tressé monté sur les masses non suspendues au moyen d'embouts métalliques.

On utilise différentes méthodes pour séparer le système de freinage en deux parties :

- les freins avant sur un circuit, les freins arrière sur l'autre (double circuit classique en "H")(figure 1.17).

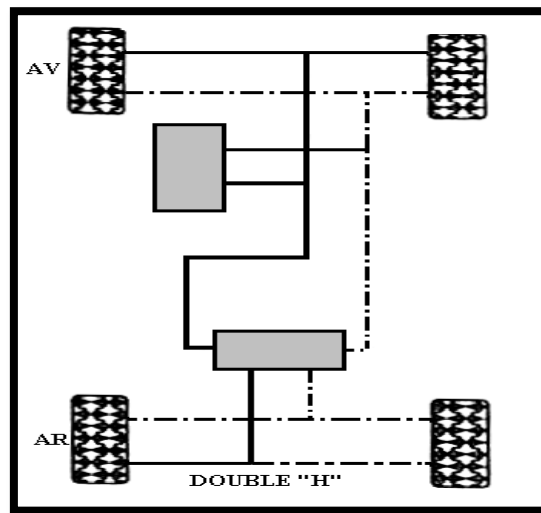


Figure 1.17 : Circuit classique en "H"[5].

- Les freins avant gauche et arrière droit sur un circuit, les freins avant droit et arrière gauche sur l'autre (double circuit en "X")(figure 1.18).

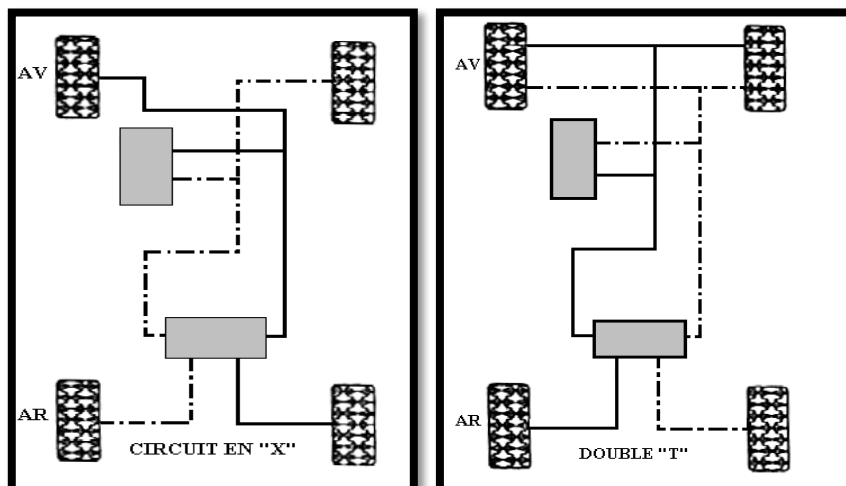


Figure 1.18 : Circuit classique en "X"[5]. Figure 1.19 : Circuit classique en "T"[5].

- Ou bien la moitié des freins avant sur un circuit, l'autre moitié plus les freins arrière sur l'autre (double circuit en "T") (figure 1.19).

4.1.8. Correcteur de freinage

Un correcteur de freinage est précisément destiné à adapter la pression du liquide de freinage, au niveau de l'essieu arrière, en fonction de l'importance du délestage, pour éviter le blocage des roues (figure 1.20).

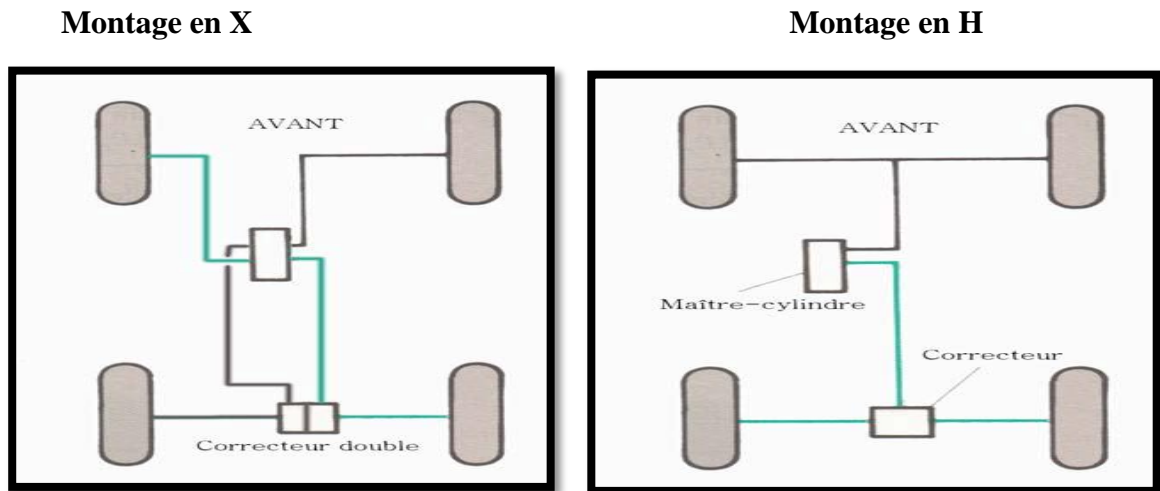


Figure 1.20 : Montage correcteur dans un véhicule [3].

Ils comprennent deux familles :

- **Les limiteurs** : Ils limitent la pression sur les roues arrière à une valeur maxi prédéfinie.
- **Les compensateurs** : À partir d'une valeur définie, l'augmentation de pression dans les roues arrière est possible, mais inférieure et proportionnelle à la pression avant.

Chaque famille comprend deux catégories :

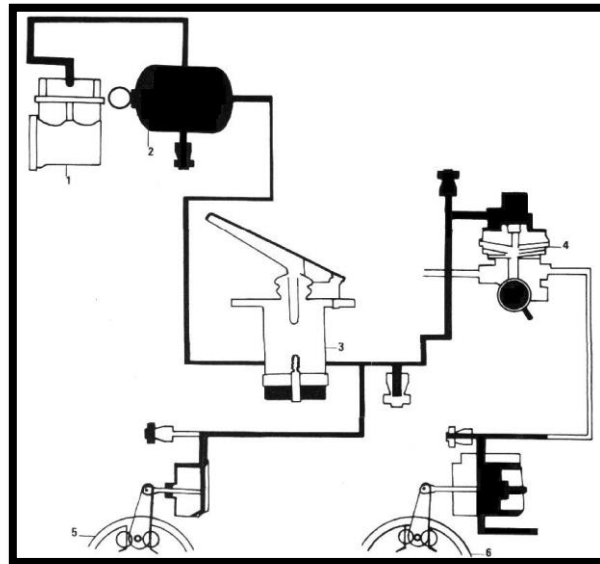
- ✓ Les non asservis à la charge du véhicule.
- ✓ Les asservis à la charge du véhicule.

4.1.8.1. Fonctionnement des correcteurs de freinage

Le fonctionnement du correcteur de freinage est montré dans le tableau annexe A.

4.2. Installation pneumatique

Une installation pneumatique équipant un poids lourd disposant de freins à tambour sur l'ensemble des quatre roues (Voir figure 1.21).



1 : Compression d'air

2 : Réservoir d'air

3 : Vanne distributrice (pédale)

4 : Correcteur de freinage

5 : Frein avant

6 : Frein arrière

Figure 1.21 : Installation pneumatique pour poids lourd [5].

4.2.1. Fonctionnement

4.2.1.1. Le compresseur d'air

Dans un système de freinage pneumatique, la force est communiquée par l'intermédiaire de l'air. L'air provient d'une pompe à air appelée "*compresseur d'air*". Le compresseur d'air agit par pompage de l'air dans le réservoir où l'air est emmagasiné sous pression (figure 1.22).

4.2.1.2. Les réservoirs

Les réservoirs sont conçus pour recevoir l'air et sont protégés des pressions excessives par une soupape de sûreté (figure 1.23). Les réservoirs sont aussi munis d'un robinet de purge qui permet d'éliminer la condensation qui se forme à l'intérieur du réservoir.

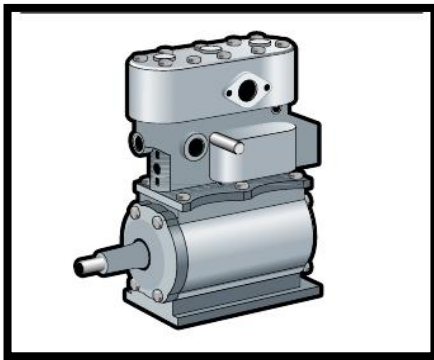


Figure 1.22 : Compresseur d'air [6].

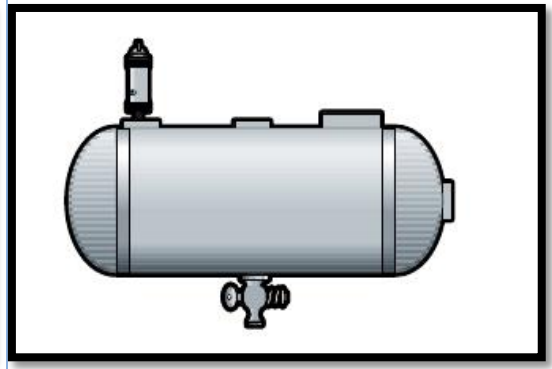


Figure 1.23 : Réservoir d'air [6].

4.2.1.3. La pédale de frein

La pédale de frein (figure 1.24) permet au conducteur d'actionner les freins. La course imprimée à la pédale de frein détermine la quantité d'air comprimé que l'on envoie dans le circuit de freinage. Par contre, la pression maximale obtenue ne peut excéder la pression d'air qui se trouve dans le réservoir. En relâchant la pédale de frein, les freins se desserrent.

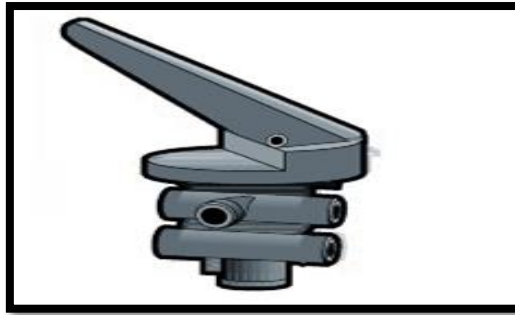


Figure 1.24 : Pédale de frein [6].

4.2.1.4. Les récepteurs de freinage

Le récepteur de freinage est généralement localisé sur l'essieu près de la roue à freiner. L'air pénètre par l'orifice A (figure 1.25) et exerce une pression sur la membrane B et la tige de poussée qui en est solidaire. La tige de poussée est reliée à un levier, appelé levier réglable, au moyen d'une chape et d'un axe. La pression d'air exercée dans le récepteur crée un déplacement longitudinal de la tige de poussée; ce déplacement est transformé en mouvement rotatif de l'arbre à came qui, à son tour, commande les cames en S et les segments de frein. Lorsque l'air comprimé est évacué, le ressort de rappel permet à la tige de poussée de reprendre sa position de repos.

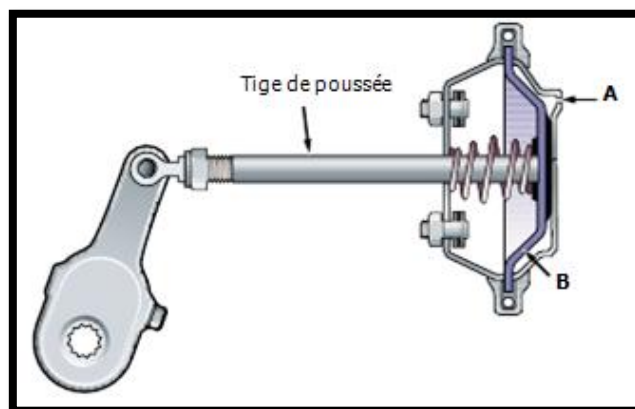


Figure 1.25 : Récepteur de freinage [6].

4.2.1.5. Les segments et les tambours de frein

La figure 1.26 montre le mécanisme de frein installé sur l'essieu arrière d'un camion, sur les essieux d'une remorque ou sur l'essieu avant. L'ensemble récepteur de freinage et levier réglable est installé sur la plaque support, ce qui permet aux roues directrices de tourner dans les deux sens. Les garnitures fixées aux segments de frein doivent permettre

un freinage uniforme sur l'ensemble des roues portantes, avec un minimum de perte d'efficacité à haute température; pour ce faire, on utilise divers types de matériaux que l'on choisit en fonction des besoins du véhicule.

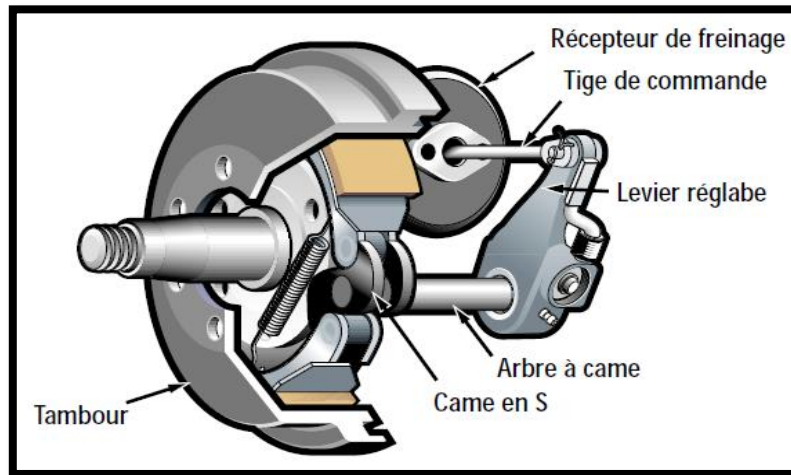
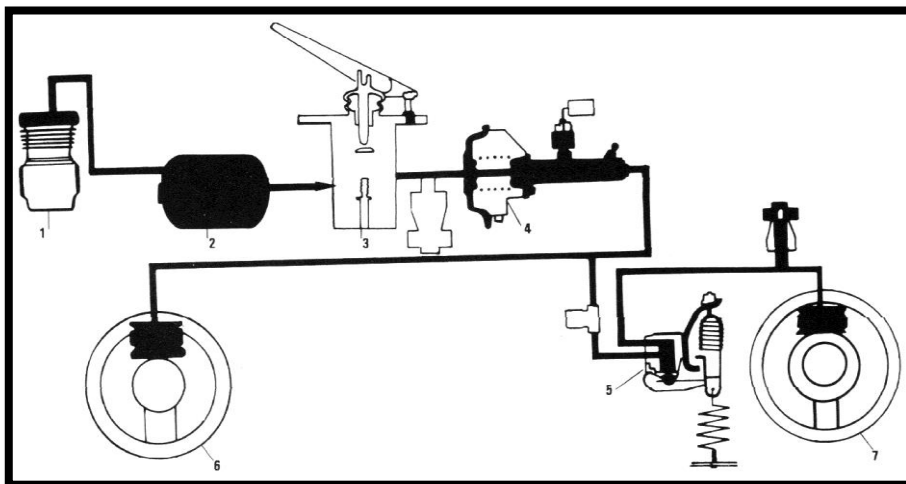


Figure 1.26 : Mécanisme de frein [6].

3.3. Installation oléopneumatique

Système de freinage équipant les véhicules poids lourds pour lesquels un système hydraulique ne serait plus assez puissant. Il faut donc faire appel à une réserve d'énergie emmagasinée dans des réservoirs d'air comprimé. L'action sur la pédale délivre une pression d'air qui est convertie en haute pression hydraulique par le cylindre oléopneumatique. Cette pression actionne les cylindres de roue (figure 1.27).



- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 : Compression d'air | 4 : Cylindre oléopneumatique |
| 2 : Réservoir d'air | 5 : Correcteur de freinage arrière |
| 3 : Vanne distributrice (pédale) | 6 : Frein avant |
| 7 : Frein arrière | |

Figure 1.27 : Installation oléopneumatique pour poids lourd [5].

5. système antiblocage des roues (ABR)

5.1. Définition

L'ABR ou ABS («*Anti-lock Brakes System*») est un dispositif automatique d'antiblocage, qui module la force de freinage indépendamment de l'action du conducteur sur le frein de service, de sorte que le glissement au freinage maximal admissible ne soit pas dépassé et que les roues ne puissent bloquer.

5.2. Les différents systèmes antiblocage

On distingue principalement deux familles de système antiblocage des roues :

- **Les systèmes additionnels** : ajoutés en série sur le dispositif de freinage classique.
- **Les systèmes intégrés** : circuit comprenant un système de freinage et d'antiblocage regroupés dans le même ensemble. De conception plus complexe et plus difficile à implanter, ils sont aujourd'hui abandonnés.

5.3. Composants du système ABR

Le dispositif antiblocage des roues est constitué des éléments suivants la figure 1.28 :

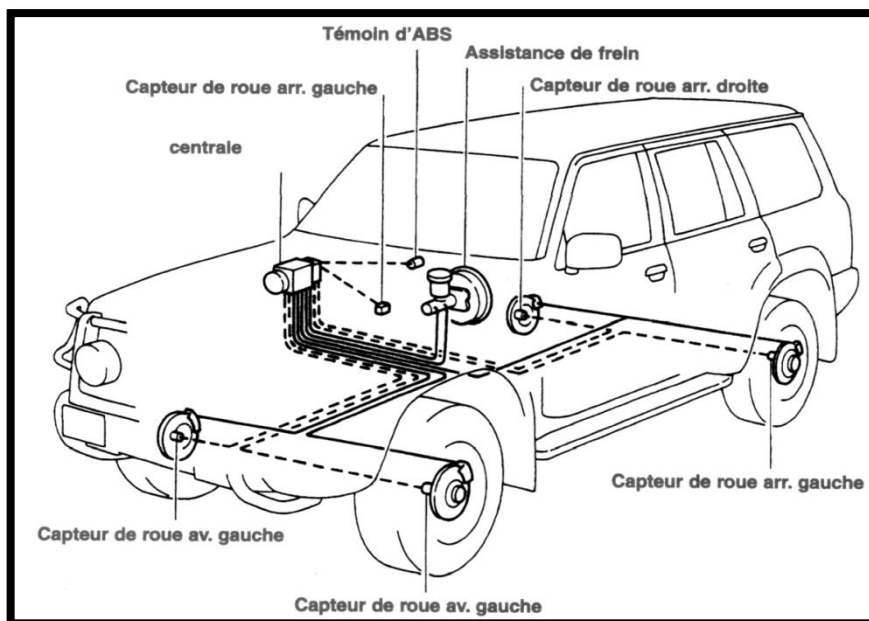
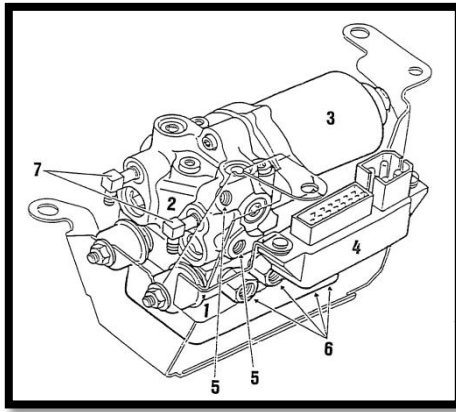


Figure 1.28 : Composants du système ABS dans un véhicule [5].

- **Capteur de vitesse et disque d'impulsion** : Ensemble monté sur le moyeu de chaque roue composé d'un disque denté et d'un élément capteur. La rotation du disque produit une tension alternative induite dans le capteur, la fréquence de cette tension est proportionnelle à la vitesse de la roue.
- **centrale hydraulique** (figure 1.29) qui régule individuellement les pressions de freinage appliquées à chaque cylindre récepteur, on emploie généralement des électrovannes à trois voies qui permettent trois phases de réglage :



1. Bloc électrovanne
2. Pompe
3. Moteur électrique
4. Platine relais
5. Arrivée du maître-cylindre
6. Sortie vers les freins
7. Retour au réservoir

Figure 1.29 : centrale hydraulique [5].

- a) communication entre le maître-cylindre et le cylindre récepteur (freinage normal)
 - b) coupure de la communication, interdisant ainsi l'augmentation de la pression dans le cylindre récepteur
 - c) connexion entre le cylindre récepteur et une pompe de refoulement, faisant ainsi chuter la pression dans le cylindre récepteur et dé freinant la roue.
- **Calculateur électronique** qui pilote le groupe hydraulique. Il compare les vitesses relevées par les capteurs à une vitesse optimale déterminée, ce qui conditionne en permanence le calcul de la décélération, de l'accélération et du glissement de chaque roue soumise à régulation. Les roues restent ainsi dans une plage de glissement optimal.
 - **Un témoin lumineux** placé sur le tableau de bord qui indique si le système ABR est opérationnel ou non.

5.4. Principe de fonctionnement

À partir de différentes informations fournies par des capteurs, le calculateur détermine le glissement et la variation de vitesse de chacune des roues sur lesquelles s'opère la régulation. Le calculateur agit alors sur une commande, généralement "**une électrovanne**" chargée de moduler la pression dans le circuit de freinage de la roue considérée. Suivant l'état de la chaussée, il peut se produire plus de 10 cycles de régulation par seconde. Il existe de nombreuses logiques de calcul et de multiples dispositions des capteurs ; la plus répandue pour les véhicules de tourisme consiste en quatre capteurs (un par roue) et un circuit permettant de réguler, indépendamment, les roues avant et, en bloc, les roues arrière suivant un mode "**select low**"; ce principe impose la même loi de régulation pour chacune des deux roues arrière en prenant comme base de référence la roue arrière se trouvant sur la plus basse adhérence.

Chapitre 2 : Etude du système de freinage

1. Introduction

Les freins sont utilisés pour relier entre deux parties d'une même machine qui tournent à des différentes vitesses pendant une fraction du temps que dure leur cycle d'opération (voir figure 2.1).

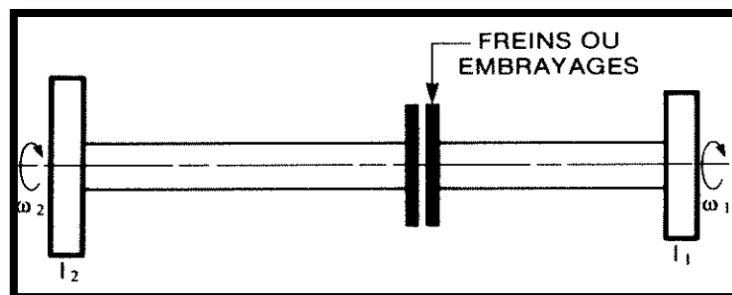


Figure 2.1 : Représentation dynamique d'un frein ou d'un embrayage [7].

Les freins servent à régler la vitesse des machines et des véhicules, ou à commander l'arrêt complet. Dans ce cas, l'énergie que possèdent les corps en mouvement (transmission ou rotation) est transformé en chaleur qui provient du frottement d'une garniture sur une autre surface .il excite plusieurs types de freins que l'on peut classifier suivant leur principe de fonctionnement :

- ❖ Les freins électriques ou magnétiques.
- ❖ Les freins hydrodynamique ou hydraulique.
- ❖ Les freins mécaniques qui utilisant différent mécanismes (bande ou courroies, bloc ou sabot, disque).

La grande majorité des freins sont mécaniques, et nous n'étudierons que ces éléments dans ce chapitre.

2. Notions de basse sur le système de freinage

2.1. Energie

2.1.1. Energie cinétique

Un véhicule en mouvement possède une énergie cinétique proportionnelle :

- à la masse du véhicule;
- au carré de la vitesse.

Cette énergie cinétique est donnée par :

$$E = \frac{1}{2} MV^2 \quad (2.1)$$

E : Energie cinétique en joules (J)

M : Masse en Kg.

V : Vitesse en m/s

2.1.2. Energie dissipée

L'énergie cinétique d'un véhicule en mouvement devra être totalement dissipée pour que le véhicule s'arrête. Cette énergie sera dissipée sous forme d'énergie calorifique :

$$Q = E/4,18 \quad (2.2)$$

Q : Energie calorifique en calories (Cal)

- a. **La vitesse (V)** : distance parcourue par unité de temps, elle est exprimée en mètre par seconde (m/s).
- b. **L'accélération (γ)** : variation de la vitesse du véhicule exprimée par le rapport de la variation de vitesse à la durée de cette variation (γ se dit Gamma).
- c. **La décélération (γ)** : elle exprime la variation de la vitesse d'un mouvement uniformément ralenti donc une diminution de vitesse par unité de temps. La décélération a la même unité que l'accélération c'est-à-dire le m/s/s ou m/s².

$$\text{Accélération } (\gamma) = \frac{V}{t} = \frac{\text{mètre/seconde}}{\text{seconde}} \quad (2.3)$$

2.2. La force d'adhérence

2.2.1. Adhérence

C'est l'absence de déplacement relatif tangentiel de la surface de contact d'un pneumatique par rapport au sol malgré l'effet des forces (patinage, dérapage) tendant à le faire glisser durant le roulement. Le tableau 2.1 donne les différents coefficients d'adhérence μ .

Tableau 2.1 : Différents coefficients d'adhérence μ [8].

Coefficient d'adhérence (μ)		Nature et état de la chaussée
Pneu neuf	Pneu usé	
0.8	0.95	Route goudronnée ou béton sec
0.6	0.2	Route mouillée (0.2 mm)
0.3	0.1	Forte pluie (1mm)
0.3	0.1	Route enneigée
0.05	0.05	Route verglacée

2.2.2. Force d'adhérence

C'est la force de résistance (F_a) qu'oppose un objet à son déplacement. Elle dépend de la force d'appui (A_p) et du coefficient d'adhérence (μ) qui est fonction de la nature des deux éléments en contact. La force d'appui (A_p) est directement liée au poids de l'objet (voir figure 2.2).

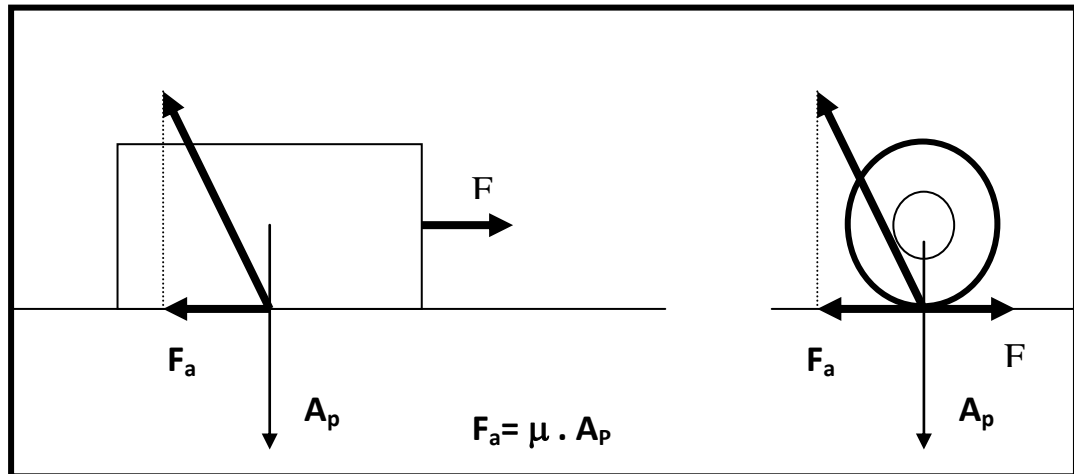


Figure 2.2 : Représentation des forces [5].

2.3. Le glissement (λ)

Si le freinage des roues va jusqu'à leur blocage complet ($V = 0$ m/s), ce n'est plus le coefficient d'adhérence qui est en jeu, mais le coefficient de glissement des pneus sur le sol, qui est toujours inférieur au premier. Les pneumatiques se déforment, il se produit des glissements partiels. Le glissement s'exprime en pourcentage, et se définit de la façon suivante :

$$\lambda = \frac{V_v - V_r}{V_v} \quad (2.4)$$

- Avec :
- λ : Glissement en %.
 - V_v : Vitesse du véhicule en m/s.
 - V_r : vitesse de la roue.

❖ Rapport entre glissement et adhérence

Pour un type de sol donné et suivant l'état des pneumatiques on obtient une courbe adhérence/glissement tel que représenté dans la figure 2.3.

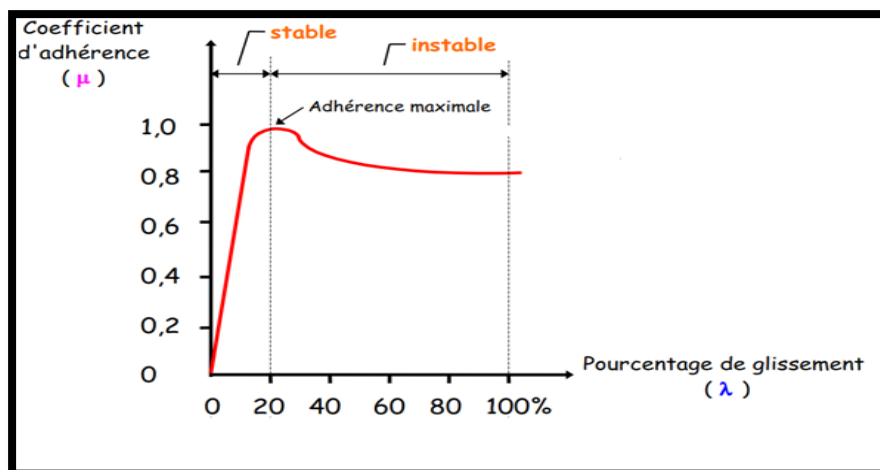


Figure 2.3 : La courbe représente la variation d'adhérence en fonction de glissement [8].

- ✓ $0 < \lambda < 20\%$: glissement déformation.
- ✓ $\lambda_c = 20\%$: glissement critique qui conduit directement au blocage des roues.
- ✓ $20\% < \lambda < 100\%$: glissement de dérapage.

2.4. La distance d'arrêt

❖ La distance de réaction D_R

C'est la distance parcourue par la voiture entre le moment où le conducteur perçoit un obstacle et le moment où il commence à appuyer sur le frein (temps de réflexe du conducteur). Le temps de réflexe vaut en moyenne 0.75s mais il peut doubler si le conducteur est fatigué ou ivre.

$$D_R = v_0 \times t \quad (2.5)$$

Avec v_0 : vitesse de la voiture (en $m.s^{-1}$).

t : temps de réflexe du conducteur(s).

❖ La distance de freinage D_F

C'est la distance parcourue par la voiture depuis le début du freinage jusqu'à l'arrêt complet du véhicule (à condition que les roues ne bloquent pas). Pour un coefficient d'adhérence μ donné, la force de résistance maximale (arrêt du véhicule) est égale au produit du poids du véhicule par μ :

$$\left\{ \begin{array}{l} F_a = \mu \times P \\ \text{et} \\ P = m \times g \end{array} \right. \quad (2.6)$$

La décélération correspondante est donnée par la relation :

$$F_a = m \times \gamma \quad (2.7)$$

Nous pouvons donc en déduire :

$$\gamma = \mu \times g \quad (2.8)$$

Sachant que la distance de freinage pour un mouvement uniformément décéléré est égale à : $D_F = V^2 / 2\gamma$ (2.9)

❖ La distance d'arrêt D_A

C'est la distance parcourue par la voiture entre le moment où le conducteur perçoit un obstacle et l'arrêt complet du véhicule. Donc, la relation entre la distance d'arrêt (D_A), à partir de l'actionnement effectif des freins, et le coefficient d'adhérence (μ) s'établit comme suit :

$$D_A = D_R + D_F \quad (2.10)$$

La SNVI (Société Nationale des Véhicules Industriels) utilise le frein à tambour de doubles segments montés de la façon comme le montre la figure 2.5.

Il existe d'autres montages, mais nous étudions celui qui est présenté. Dans ce cas, les segments sont retenus à la base par deux pivots fixes, et la force est appliquée à la partie supérieure par un cylindre hydraulique à deux pistons, la force agissent sur chacun des

segments est la même, lorsque la roue tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Le frein droit a tendance à l'auto-serrage contrairement au frein gauche (voir figure 2.5).

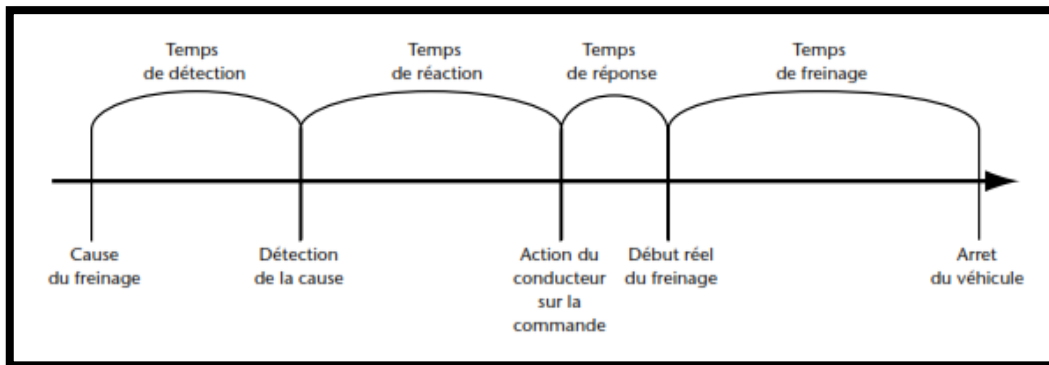


Figure 2.4 : Chemin d'arrêt véhicule[9].



Figure 2.5 : Frein à tambour à deux segments [7].

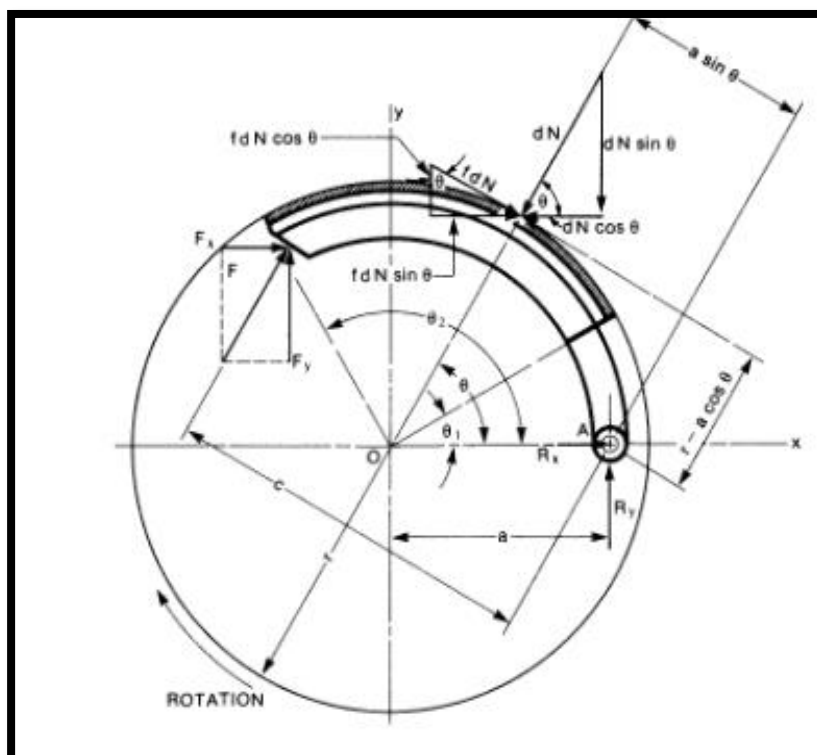


Figure 2.6 : frein à segment interne [7].

2.5. La force maximale de freinage

❖ Equilibre du segment

La force normale sur une surface $b r d\theta$ est

$$dN = p b r d\theta \quad (2.11)$$

Où b est la largeur de la garniture du tambour. Les autres variables sont définies dans la figure

$$dN = p_a \frac{br \sin \theta d\theta}{\sin \theta_a} \quad (2.12)$$

En faisant une somme des moments par rapport au point A, lorsque la rotation du tambour est dans le sens des aiguilles d'une montre, pour ce qui est du frein droit on obtient :

$$\sum MA = Fc + Mf - Mn = 0 \quad (2.13)$$

$$F = \frac{Mn - Mf}{c} \quad (2.14)$$

Dans le cas du frein gauche, cette équation devient :

$$F = \frac{Mn + Mf}{c} \quad (2.15)$$

Dans le frein à tendance à l'auto-serrage, le moment de la force de frottement Mf ainsi que Mn moment des forces normales peuvent être explicités par les équations suivantes :

$$Mf = \int_{\theta_1}^{\theta_2} f dN (r - a \cos \theta) \quad (2.16)$$

$$Mf = \frac{f P a b r}{2 \sin \theta_a} [2r(\cos \theta_1 - \cos \theta_2) - a(\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1)] \quad (2.17)$$

$$Mn = \int_{\theta_1}^{\theta_2} dN (a \sin \theta) \quad (2.18)$$

$$Mn = \frac{P a b r a}{4 \sin \theta_a} [2(\theta_2 - \theta_1) - (\sin 2\theta_2 + \sin 2\theta_1)] \quad (2.19)$$

2.6. Le couple maximale de freinage

Le couple de freinage est obtenu en intégrant le produit des forces de frottement par la barre de levier, c'est-à-dire le rayon du tambour

$$T = \int_{\theta_1}^{\theta_2} f dN r \quad (2.20)$$

$$T = f P a b r^2 \frac{(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}{\sin \theta_a} \quad (2.21)$$

2.7. La réaction au pivot

Lorsque le tambour tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, la réaction au pivot parallèle à l'axe des X s'obtient en faisant l'intégrale des composantes horizontales des forces :

$$R_x = \int_{\theta_1}^{\theta_2} dN \cos \theta - \int_{\theta_1}^{\theta_2} f dN \sin \theta - F_x \quad (2.22)$$

De façon similaire, on obtient la réaction suivant Y :

$$R_y = \int_{\theta_1}^{\theta_2} dN \sin \theta - \int_{\theta_1}^{\theta_2} f dN \cos \theta - F_y \quad (2.23)$$

3. Etude frein à disque

Soit un patin de friction en contact avec le disque par une surface plane S de forme quelconque, et appliqué sur le disque par l'effort F , la résultante des actions normales du disque sur le patin (voir figure 2.7).

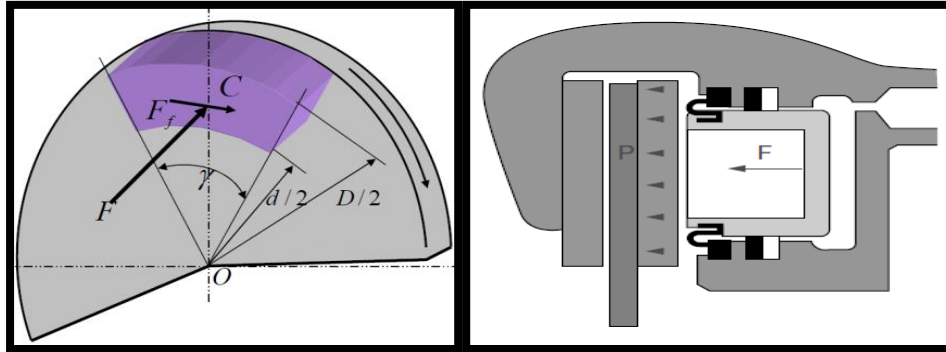


Figure 2.7: Force appliquée sur le disque [10].

Par hypothèses :

- usure constante : $p \cdot r = \text{cst.}$
- garniture à travail constante : $\gamma = \text{cst.}$

pour cette condition, on trouve les équations de calcul :

- ❖ La force de pression F pour la pression admissible P_a :

L'effort de serrage F est la force de pression de chaque garniture exercée sur le disque

$$P_a = \frac{F D/2}{\gamma d/2 \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right)} \quad (2.24)$$

- ❖ la force total de frottement F_f :

$$F_f = \frac{2 F f g \sin \gamma/2}{\gamma} \quad (2.25)$$

- ❖ le centre de frottement OC :

$$OC = \frac{\left(\frac{D}{2} + \frac{d}{2} \right) \gamma}{4 \sin \left(\frac{\gamma}{2} \right)} \quad (2.26)$$

- ❖ le couple de freinage T_f :

$$T_f = 2 F_f OC \quad (2.27)$$

On a toujours deux garniture.

3.1. Exemple de calcul

Les données existantes sont :

- Diamètre extérieur de la garniture : $D = 255$ mm.
- Diamètre intérieur de la garniture : $d = 155$ mm.
- Coefficient de frottement entre la garniture et le disque : $f_g = 0.35$.
- l'angle de la garniture : $\gamma = 60^\circ$.
- la pression admissible : $P_a \leq 10^6$ Pa.

➤ **La force de pression F**

L'effort de serrage F est la force de pression de chaque garniture exercée sur le disque

$$(2.24) \quad \Rightarrow \quad F = \frac{2 P_a \gamma d / 2 \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right)}{D}$$

A.N: **F = 4.768 kN**

➤ **la force total de frottement Ff**

$$(2.25) \quad \Rightarrow \quad \text{A.N: } \mathbf{F_f = 1.06 \text{ kN}}$$

➤ **le centre de frottement OC :**

$$(2.26) \quad \Rightarrow \quad \text{A.N : } \mathbf{OC = 130 \text{ mm}}$$

➤ **le couple de freinage Tf :**

$$(2.27) \quad \Rightarrow \quad \text{A.N : } \mathbf{T_f = 275.6 \text{ N.mm}}$$

Le disque de frein (figure 2.8) qui équipe les voitures de grandes vitesses, est fait en acier allié à haute limite élastique, au cours de freinage, chaque surface du disque reçoit un flux égal, uniformément réparti entre les diamètres $2(r_d - l_e)$: chaque disque est frotté par deux garnitures composées chacune, de longueur radiale l_e :

Lors du freinage pour passer d'une vitesse $V = 360$ km / h à 0 (notre cas), chaque disque doit absorber une énergie thermique E. La durée du freinage vaut τ , ce qui conduit à une puissance thermique moyenne produite Q égale à :

$$Q = \frac{E}{\tau} \quad (2.28)$$

Cette puissance dissipée à l'interface disque/frein se répartit entre la garniture et le disque selon la loi:

$$Q_d = (1-n) \cdot Q \quad \text{pour le disque} \quad (2.29)$$

$$Q_p = n \cdot Q \quad \text{pour les patins (plaquettes)} \quad (2.30)$$

Avec :

$$n = \frac{S_p \cdot \beta_p}{S_p \cdot \beta_p + S_d \cdot \beta_d} \quad (2.31)$$

Où S_p est la surface totale des patins, et S_d est la surface de frottement du disque.

$$S_d = 2\pi(r_d^2 - (r_d - l_e)^2) \quad (2.32)$$

β_p et β_d sont respectivement les effusivités du patin et du disque.

Ces relations entraînent la répartition suivante:

- ce qui conduit à une densité de flux de chaleur apparaissant sur les patins de:

$$\varphi_p = Q_p / S_p \quad (2.33)$$

- ce qui conduit à une densité de flux de chaleur sur les parois du disque de:

$$\varphi_d = Q_d / S_d \quad (2.34)$$

Ainsi, c'est le disque qui doit évacuer le flux de chaleur le plus élevé. Dans ces conditions, le disque peut atteindre des températures de l'ordre élevé.

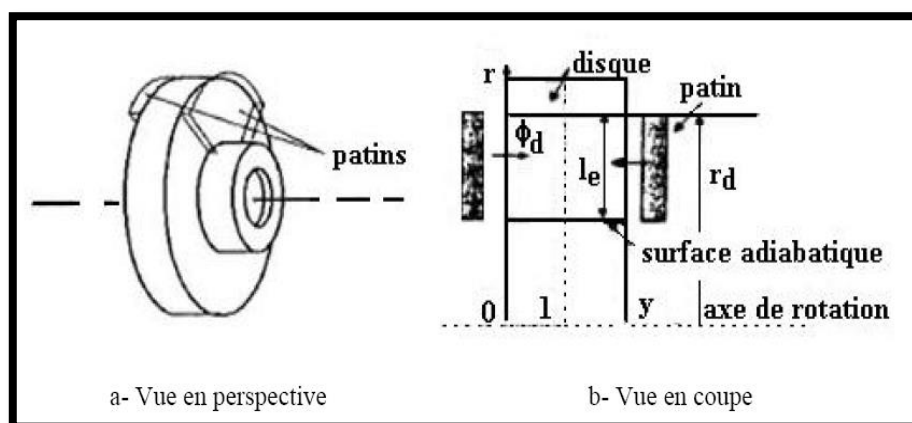


Figure 2.8: Schéma de disque de freins [11].

4. Matériaux et contre-matériaux

4.1 La garnitures

Nous nomme «**garnitures**» les matériaux de friction entrant dans la composition des segments pour les freins à tambour, et patins pour les freins à disque.

4.1.1. Composition

Les garnitures sont obtenues par tissage, moulage ou frittage à partir de trois constituants principaux :

- **Liants** : résines thermodurcissables (phénoplastes) et caoutchoucs (naturels ou synthétiques). Il assure la cohésion de la garniture.
- **Fibres** : amiante blanc (fibres courtes obtenues par broyage). des fibres d'aramide (Kevlar), d'acier, de verre, de céramique.
- **Charges** : éléments d'addition conférant au mélange fibres-liant des caractéristiques spécifiques. La silice, par exemple, est ajoutée pour ses propriétés sur le frottement.

4.1.2 Fixation

➤ Freins à tambour

Les garnitures (segments) sont rapportées sur leur support en tôled'acier par rivetage ou collage (voir figure 2.9).



Figure 2.9: Garniture (segment).

➤ **Freins à disque**

Les garnitures (plaquettes) sont rapportées sur leur support d'acier lors du moulage de celles-ci présentées par la figure 2.10.

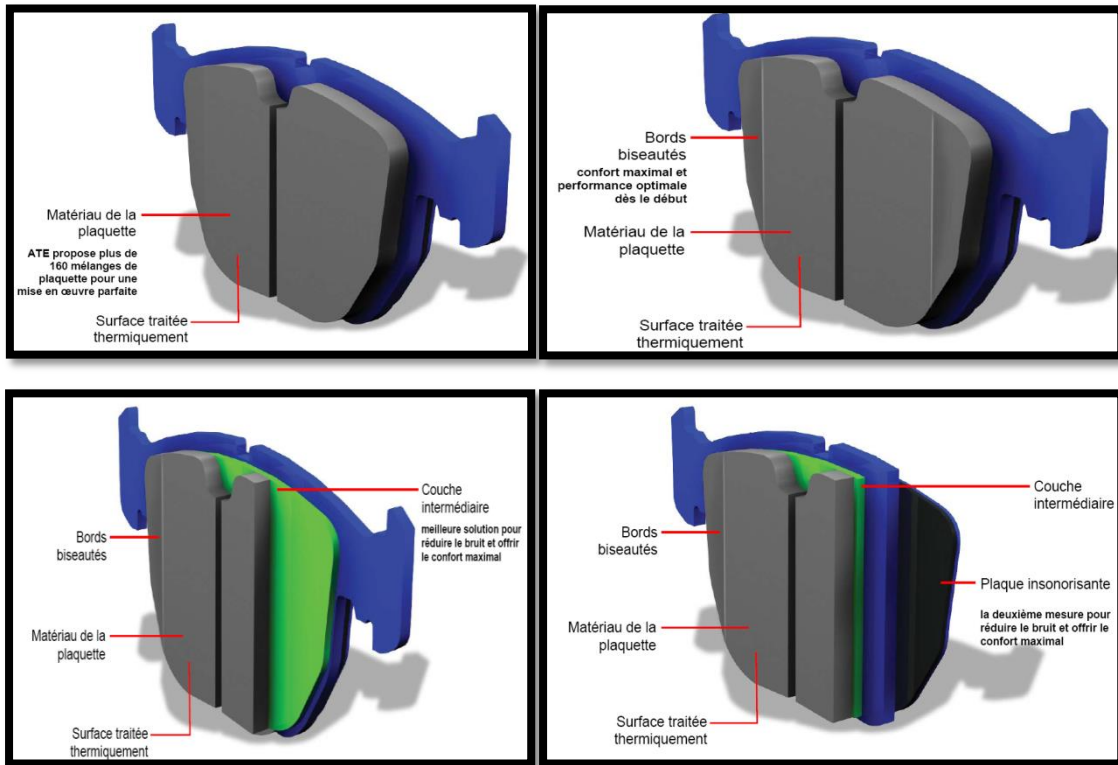


Figure 2.10 : Composition de plaquette de frein [12].

4.2. Contre-matériaux

Les contre-matériaux seront le tambour et le disque, avec lesquels les garnitures entrent en contact lors du freinage.

4.2.1. Qualités contact de garniture avec contre-matériaux

La première fonction d'un dispositif de freinage est d'assurer la stabilité du couple de freinage en toute circonstance. Ainsi peut-on citer dans l'ordre les qualités suivantes :

➤ **Stabilité du coefficient de frottement f_g :**

Celui-ci est en général compris entre 0.35 et 0.45, il peut varier avec :

- **La pression du contact :** La figure 2.11 montre la variation f_g en fonction de la pression p , lors du freinage, pour une température de 70 °C dans le tambour avant freinage, la vitesse du véhicule étant de 40 Km /h.

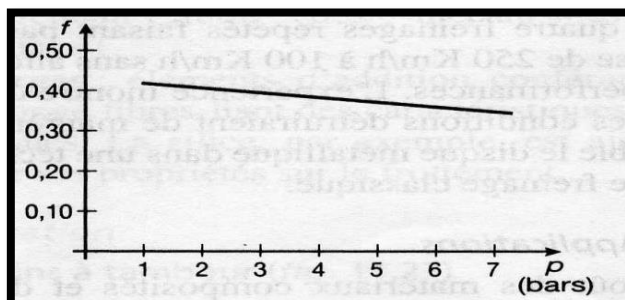


Figure 2.11 : Influence de la pression sur le coefficient de frottement [2].

- **La température :** La figure 2.12 montre la variation f_g en fonction de la température T , lors du freinage, la vitesse du véhicule étant de 60 Km/h.

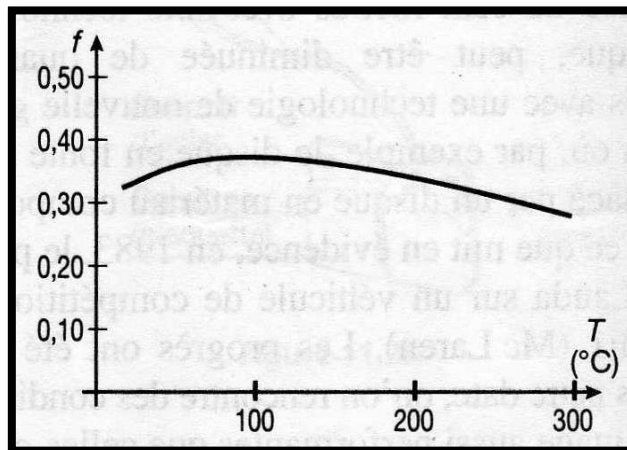


Figure 2.12 : Influence de la température sur le coefficient de frottement [2].

- **la vitesse :** La figure 2.13 montre la variation f_g en fonction de la vitesse du véhicule V à freiner pour une pression de contact de 3 bars.

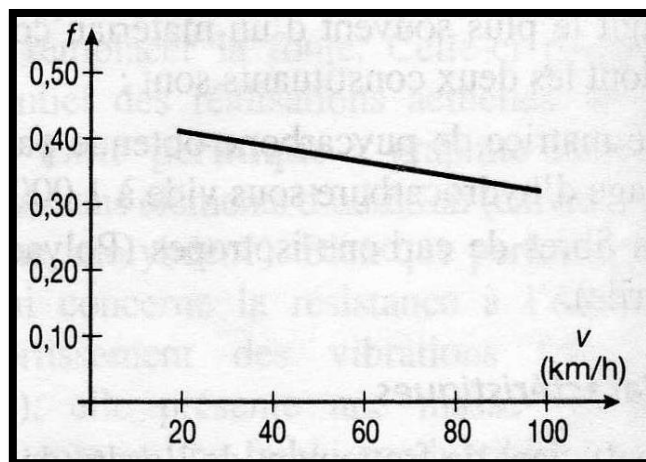


Figure 2.13 : Influence de la vitesse sur le coefficient de frottement [2].

➤ **Résistance à l'usure**

Permettant d'envisager une fiabilité acceptable du dispositif de freinage.

➤ **la sécurité**

Le contact (garniture et contre-mâtereau) ne doit pas provoquer d'étincelage pouvant être à l'origine d'une mise à feu des organes inflammables au voisinage de la zone concernée.

➤ **Le silence**

Le contact (garniture et contre-mâtereau) engendre des vibrations dont les fréquences ne doivent pas provoquer l'existence de bruits.

➤ **le caractère « non polluant »**

Le contact (garniture et contre-mâtereau) crée des poussières provenant de l'usure des deux solides en présence. Celles-ci doivent présenter une toxicité minimale pour l'environnement.

Chapitre 3 : Défaillance des systèmes de freinage

1. Introduction

Selon les statistiques de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), chaque année, 1,2 millions de personnes trouvent la mort sur la route soit plus de 3.000 personnes tuées par jour. En plus de ces tuées, il y a 140.000 blessés dont 15.000 personnes resteront handicapées à vie [13].



Figure 3.1 : Les accidents sur la route [13].

Selon la norme AFNOR n° NF X 60010, la défaillance est définie comme étant altération ou cessation d'un bien à accomplir une fonction requise. Il existe plusieurs types de défaillances, extraits de la norme :

- **Défaillance partielle:** altération du fonctionnement.
- **Défaillance complète (panne):** cessation de fonctionnement.
- **Défaillance catalectique:** défaillance soudaine et complète.
- **Défaillance par dégradation:** progressive et partielle.

2. Défaillance des systèmes de freinage

Il existe plusieurs types de défaillance dans les systèmes de freinages :

2.1 Assistés par servofrein

Les défaillances des freins (figure 3.2) assistés par servofrein sont les suivantes:

- Une soupape d'air bloquée ou collée ou un ressort de rappel de piston moteur brisé: Le frein ne relâche plus.
- par une soupape d'air collée ou par un boîtier du piston moteur bosselé ou déformé: Problème intermittent dans le dispositif servofrein.
- Tube à dépression coincé ou basse dépression provenant du moteur: pédale dure à enfoncer.



Figure 3.2 : servofrein défaillant [14].

2.2. Maitre-cylindre

Les défaillances de maitre-cylindre (figure 3.3) sont les suivantes:

- Fuite au niveau du maitre-cylindre: course important de la pédale.
- Trop de jeu entre le piston du maitre-cylindre et le levier d'attaque: La pédale va à la planche, mais si l'actionne vivement plusieurs fois.
- L'orifice d'échappement de maitre-cylindre reste fermé quand la pédale est au repos: Blocage des freins en marche.
- Fuite par l'arrière du maitre-cylindre, coté soufflet caoutchouc: Perte de liquide.

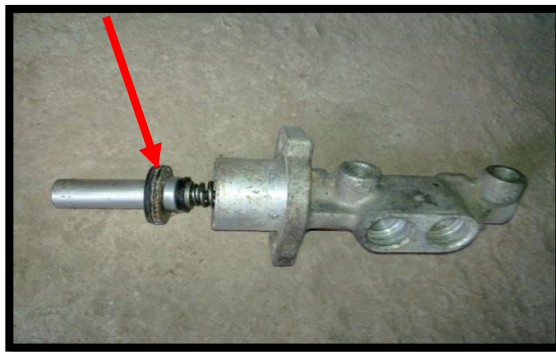


Figure 3.3 : maitre-cylindre défaillant.

2.3. Flexibles de frein

Les défaillances des flexibles sont :

- Fuite dans les flexibles: Freinage inefficace.
- Tuyaux flexibles endommagés(figure 3.4): pédale manquant de dureté.



Figure 3.4 : les craquelures du caoutchouc [14].

2.4. Étrier de frein

Il est très rare de devoir remplacer un étrier de frein (figure3.5). À la conduite, il est très difficile de savoir si l'étrier de frein est à changer ou non. C'est principalement en constatant visuellement l'usure des pièces et sur le banc d'essai que l'on arrive à diagnostiquer un étrier défectueux.

- Les défaillances étrier de frein sont les suivantes:

- Joints d'étrier usés : Pédale manquant de dureté.
- Piston d'étrier usé ou grippé : Freinage inefficace.



Figure 3.5 : étrier grippé [14].

2.5. Les garnitures de freins :

2.5.1. Plaquette de frein pour disque :

Les défaillances des plaquettes de frein sont les suivantes:

▪ Plaquette Fuselées

Une plaquette fuselée [15] 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 3.6).



Figure 3.6 : Plaquette Fuselées [15].

▪ Usure non-uniforme

On observe des cannelures profondes sur une plaquette présentant une usure non-uniforme le long de sa surface (figure3.7). 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.



Figure 3.7:Usure non-uniforme sur une plaquette [15].

- **Dénaturation**

Une plaquette dénaturée présente un matériau de friction partiellement carbonisé, caractérisé par des bords extérieurs blancs (figure 3.8). Ceci est causé par des températures excessives prolongées, dues à une utilisation intensive, à un étrier qui frotte ou à un étrier défectueux. Ceci entraîne une réduction de l'efficacité du freinage et le matériau devient fragile et se casse. Si cela a lieu les plaquettes doivent être changées.



Figure 3.8:Plaquette dénaturée [15].

- **Contamination de surface**

Si la surface du matériau de friction est contaminée par de l'huile, de la graisse ou un fluide de freinage, cela peut entraîner une importante réduction de la performance de freinage, il faut immédiatement changer les plaquettes (voir figure3.9).

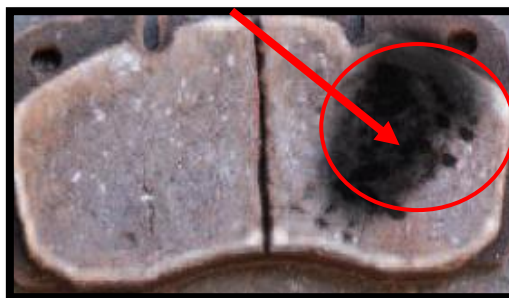


Figure 3.9 : Contamination de surface [15].

- **Plaquettes endommagée**

Une plaquette est généralement endommagée du fait d'une chaleur excessive qui rend le matériau de friction fragile et celui-ci commence à se casser (figure 3.10). Si ce problème survient, il est important d'identifier la cause de la chaleur excessive. Elle résulte généralement d'un système de freinage mal équilibré ou d'un étrier défectueux.



Figure 3.10 :Plaquettes endommagée [15].

- **Plaquettes Fissurées**

Si de petites fissures apparaissent sur la plaquette de frein (figure 3.11), 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.

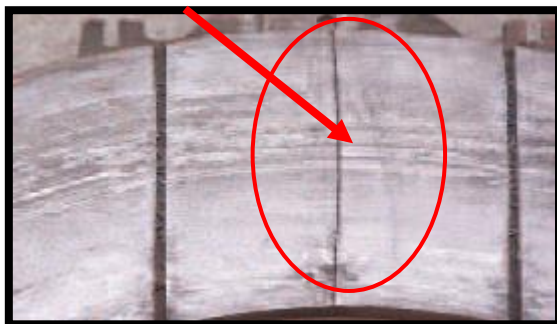


Figure 3.11 :Plaquettes Fissurées [15].

- **Aspect vitreux**

Une plaquette vitreuse émet un reflet en surface et peut entraîner une réduction de la performance de freinage. Ceci est généralement dû à une chaleur excessive ou à un freinage excessivement violent pendant la période de rodage. Si la performance se voit réduite, les plaquettes doivent être changées (voir figure 3.12).



Figure 3.12 : Plaquette vitreuse [15].

2.6. Disques de freins

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

❖ *Le disque à atteint son épaisseur minimale :*

L'épaisseur minimale est généralement inscrite sur la tranche du disque (figure 3.13).

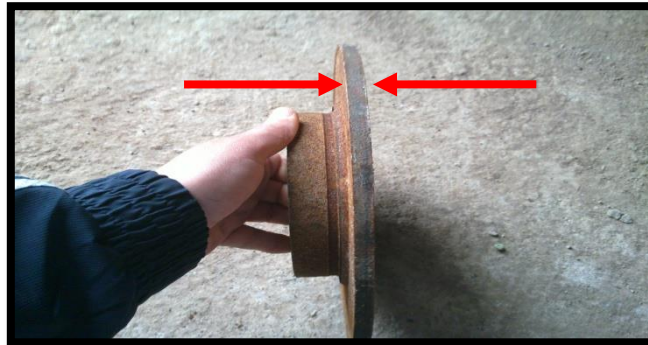


Figure 3.13 :Disque à l'usure très visible.

❖ *Les plaquettes trop usées ont légèrement attaqué la tôle du disque :*

C'est-à-dire que vous n'avez pas tardé à changer les plaquettes. Le disque semble presque intact sauf quelques marques de « raclage » à l'extérieur ou à l'intérieur du disque(figure3.14-15).



Figure 3.14 : Disque endommagé par le fer d'une plaquette.

❖ *le disque fissuré ou cassé :*



Figure 3.15 : Disque fissurés.

2.7. Tambour de frein

Les types de Défaillances des tambours de frein sont les suivantes:

- **Tambours fissurés**

Cet état est causé par un chauffage et un refroidissement excessifs du tambour de frein durant le fonctionnement. Si une telle détérioration est constatée, le tambour doit être remplacé immédiatement. Des fissures apparaissant régulièrement sur les tambours peuvent indiquer soit un système de freinage défectueux soit un abus de la part du conducteur. Si ce problème se présente, il faut donner une attention particulière à l'équilibre du système de freinage et aux taux de friction de garniture de frein tels qu'ils sont spécifiés par le fabricant de l'équipement d'origine (voir figure 3.16).



Figure 3.16 : Tambours fissurés [15].

- **Tambours souillés par de la graisse**

Si cet état apparaît, le tambour de frein présentera une décoloration sur la surface de freinage (figure 3.17). Cet état est normalement associé à un système de lubrification défectueux ou un graissage inapproprié des cames de frein. Une fois la provenance de la contamination identifiée et corrigée, les composantes doivent être nettoyées en profondeur et toutes les garnitures de frein contaminées doivent être remplacées.

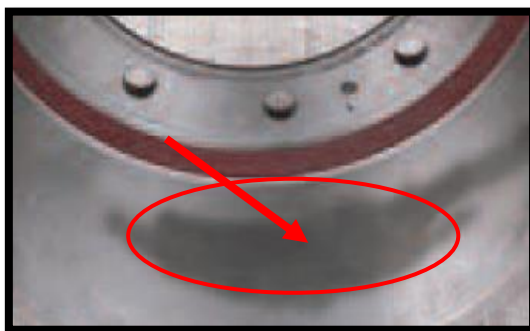


Figure 3.17 : Tambours souillés par de la graisse [15].

- **Anneau de montage**

Ce problème apparaît lorsqu'il y a une interférence entre la surface de montage du moyeu et du tambour en raison d'un placement incorrect du tambour sur le moyeu pendant l'installation, d'un moyeu endommagé ou d'un dépôt de corrosion sur le moyeu (figure 3.18). Avant de remplacer le tambour de frein, il faut contrôler le moyeu visuellement et tout défaut doit être corrigé, soit en nettoyant le moyeu, soit en le

remplaçant lorsque cela est nécessaire. Si des fissures apparaissent dans le cercle de boulonnage ou sur la surface de montage, le tambour doit être remplacé.



Figure 3.18 : Fissures apparaissent dans le cercle de boulonnage [15].

- **Tambours de frein polis**

Les tambours de frein polis peuvent être identifiés de par leur finition semblable à un miroir sur la surface de freinage (figure 3.19). Ce problème peut être réglé en ponçant légèrement la garniture et le tambour de frein à l'aide d'une toile d'émeri à grain moyen. Le système de freinage doit être contrôlé pour vérifier si les freins ne frottent pas légèrement et les garnitures doivent être contrôlées pour s'assurer que le bon matériau est utilisé.

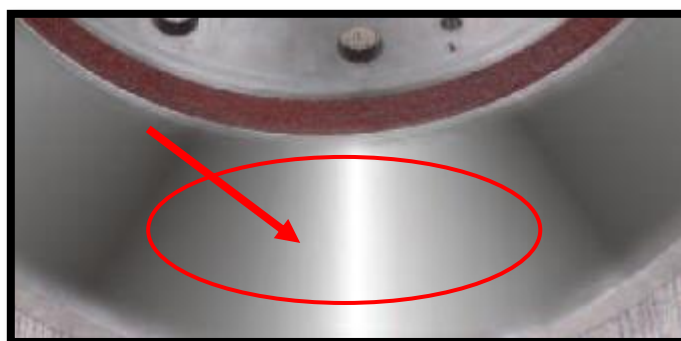


Figure 3.19 : Tambours de frein polis [15].

- **Craquelures par choc thermique**

Les craquelures par choc thermique sont caractérisées par un certain nombre de fissures courtes, légères et fines sur la surface de freinage du tambour (figure 3.20). Les craquelures par choc thermique sont une caractéristique normale que l'on trouve dans les tambours de frein et qui sont causées par un refroidissement et un réchauffement permanents de la surface de freinage, qui ont lieu lorsqu'il est fait usage des freins pendant l'utilisation standard du véhicule. Des craquelures par choc thermique normales ne diminueront pas les performances du freinage. Les craquelures de freinage disparaîtront généralement à l'usure et se reformeront du fait du processus de freinage normal. Cependant, les craquelures par choc thermique peuvent se développer dans le temps pour devenir des fissures plus importantes, qui nécessiteront le remplacement du tambour de frein.



Figure 3.20 : Les craquelures de tambours [15].

- **Fissure radiale de la surface de montage**

Cet état est causé soit par une interférence entre le moyeu et la surface de montage du tambour pendant l'installation due à l'utilisation d'un tambour inadapté à cette application, soit au nettoyage inapproprié de la surface de pilotage de moyeu avant l'installation du tambour (figure 3.21). Si cet état apparaît, le tambour doit être remplacé. Contrôlez l'application pour déterminer quel serait le tambour approprié avant d'essayer d'installer un tambour de rechange. Effectuez un contrôle visuel de la surface de pilotage du moyeu et assurez-vous que toute la saleté et la corrosion sont correctement retirées. Lorsque vous installez le tambour, veillez également à ce que la surface de montage soit placée correctement et uniformément contre la surface de montage du moyeu avant de serrer les écrous de la roue pendant l'assemblage.

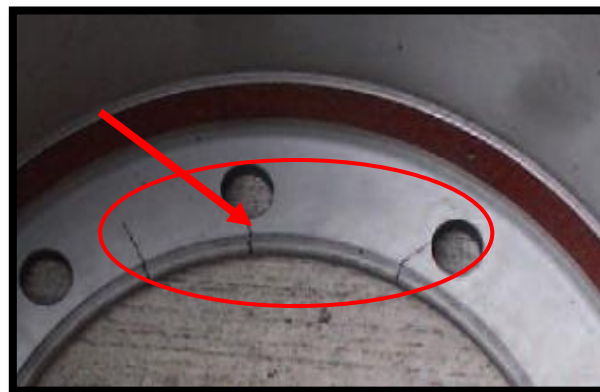


Figure 3.21: Fissure radiale de la surface de montage [15].

- **Tambour de frein rayé**

Ce problème est caractérisé par des rainures dessinées dans la surface de freinage du tambour et une usure de garniture de frein excessive (figure 3.22). Ces rainures sont dues soit à une usure totale des garnitures de frein entraînant un contact métal contre métal soit à la présence d'un corps étranger ayant pénétré dans la zone du tambour de frein.



Figure 3.22 : Tambour de frein rayé [15].

- **Tambours tachés par la martensite**

Ce problème se caractérise par des tâches dures, de couleur sombre légèrement relevées sur la surface de freinage, avec une usure inégale (figure 3.23). Les signes caractéristiques de ce problème sont une pédale de frein qui vibre et un bruit excessif. Cet état indique que le tambour a été soumis à des températures extrêmement élevées ayant pu être causées par un système de freinage mal équilibré, un frein qui frotte ou le fait d'avoir appuyé très fort sur le frein de façon répétée. Ces températures extrêmement élevées ont entraîné des modifications structurelles du matériau du tambour de frein rendant la probabilité de la formation de fissures dans le tambour plus élevée. Si cet état est constaté, le tambour de frein et les garnitures de frein doivent être remplacés et la provenance de la surchauffe doit être identifiée et corrigée.

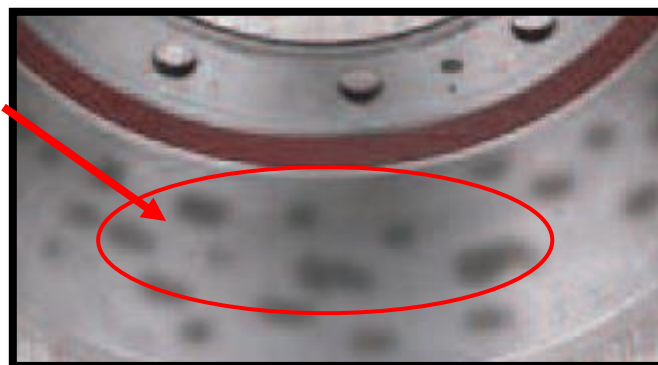


Figure 3.23 : Tambours tachés par la martensite [15].

- **Tambours de frein bleuis**

Cet état apparaît lorsque le tambour a été soumis à des températures extrêmement élevées (figure 3.24). Cela peut être dû à des arrêts brutaux, au déséquilibre du système de frein ou à des ressorts de rappel défectueux. Il n'est pas toujours nécessaire de remplacer le tambour dans la mesure où il est toujours dans les tolérances de fonctionnement. Pour corriger ce problème, le bon équilibre du système de frein doit être contrôlé, les ressorts de rappel doivent être contrôlés pour s'assurer qu'ils ne sont pas devenus lâches ou qu'ils ne sont pas cassés et le dégagement du patin de frein doit être contrôlé et ajusté, si nécessaire. Si cet état n'est pas traité, il peut entraîner le développement de fissures ou de martensite.

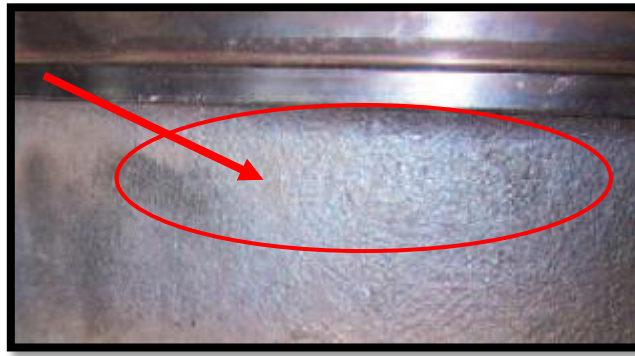


Figure 3.24 : Tambours de frein bleuis [15].

- **Usure excessive**

Si une usure excessive est constatée le long des bords de la zone de contact de garniture ou dans une zone coïncidant avec les trous de rivet de garniture, il faut contrôler le système pour s'assurer de l'absence d'un dépôt anormal de matériaux abrasifs. La cause la plus commune de ce problème est le dépôt de matériaux abrasifs causé soit par la présence soit par l'absence d'un écran anti-poussière, suivant l'application du véhicule. Si le problème survient alors que les écrans anti-poussière sont installés, retirez l'écran anti-poussière inférieur de façon à permettre aux matériaux abrasifs de sortir plus facilement du système de freinage. Si le problème survient alors que les écrans anti-poussière ne sont pas utilisés, installez des écrans anti- poussière pour réduire l'entrée de matériaux abrasifs dans le système de freinage. Les tambours de frein doivent également être contrôlés pour vérifier l'absence de rayures (voir figure 3.25).



Figure 3.25: Usure excessive [15].

3. Les causes de défaillance

La cause de défaillance de système de freinage à plusieurs facteurs, et parmi ces facteurs :

3.1. La lubrification

- **Le liquide de frein**

Le liquide de frein se dégrade dans le temps, Au moment du freinage, des frottements s'exercent pouvant entraîner des échauffements très forts et une montée en température de plusieurs centaines de degrés, qui est susceptible de dégrader le liquide de frein.

- Par ailleurs, de par sa composition, le liquide de frein va absorber l'humidité de l'air, ce qui a pour conséquence d'abaisser son point d'ébullition dans des proportions importantes : de 230°C à 165° C avec seulement 3% d'eau (voir figure 3.26).

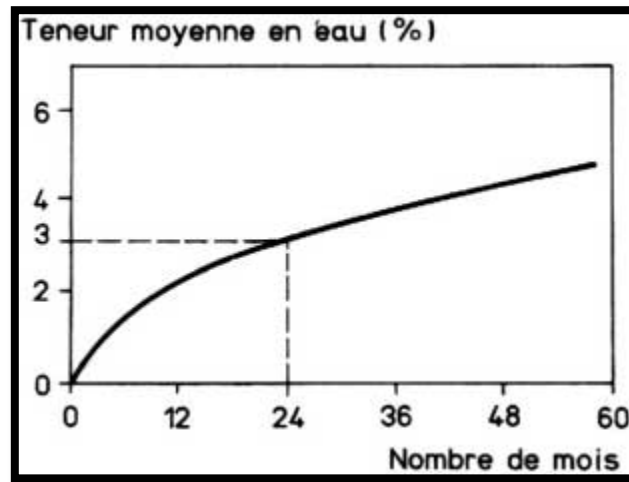


Figure 3.26: Teneur moyenne en eau du liquide de frein (au réservoir) en fonction de la durée d'utilisation [16].

- Au moment du freinage, un liquide anormalement chargé en eau va se mettre en ébullition sous l'effet des échauffements de température. Les gaz mélangés au liquide de frein vont compromettre l'efficacité du freinage et allonger anormalement la course à la pédale de frein, pouvant aller jusqu'au plancher (voir figure 3.27).

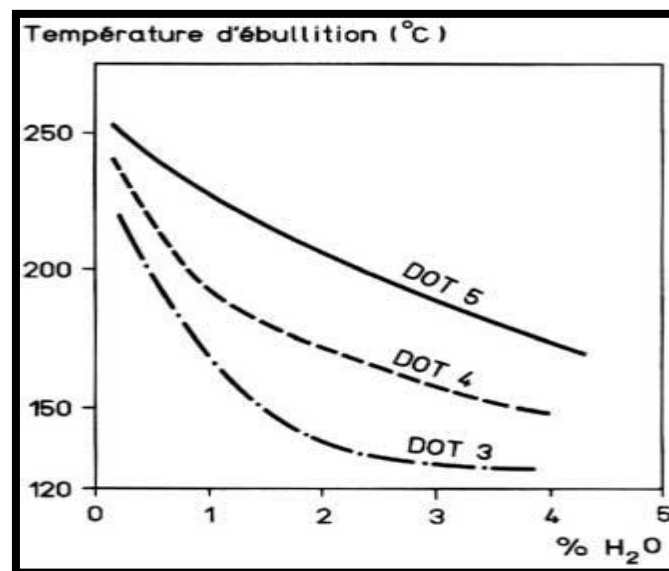


Figure 3.27 : Variation de la température d'ébullition en fonction de la teneur en eau du liquide de frein [16].

Les liquides de frein sont classés selon la norme DOT « Department Of Transportation ». Cette norme définit les caractéristiques des liquides et notamment les températures minimum d'ébullition "sec" et "humide". Lorsqu'un liquide atteint la température d'ébullition humide il doit être remplacé (voir tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Caractéristique du liquide de frein [16].

Caractéristiques	Liquides		
	DOT 3	DOT 4	DOT 5
Température d'ébullition "sec" (°C)	205	206	260
Température d'ébullition "humide" (°C)	140		180

3.2. Chaleur

La chaleur générée par le frottement peut, d'une part, réduire le coefficient de frottement et avoir des répercussions sur la performance des freins et la durabilité des composants et, d'autre part, modifier les propriétés des matériaux. Le coefficient de frottement des garnitures qui détermine l'efficacité du freinage (voir figure 3.28).

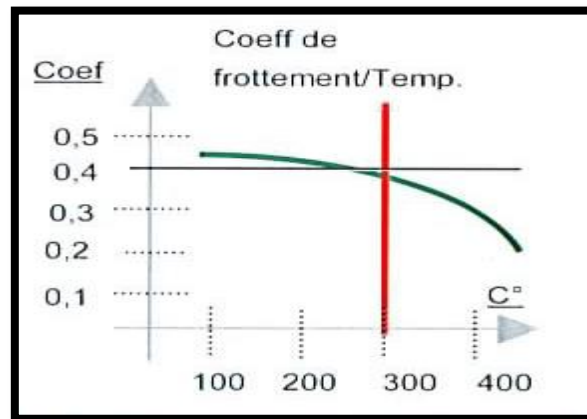


Figure 3.28 : Courbe coefficient de frottement en fonction de température [17].

Il varie avec la température. lorsque la température du tambour dépasse 300°C, la valeur de ce coefficient, chute et les freins deviennent inefficace.

Chapitre 4 : Entretien des Systèmes de Freinage

1. Entretien du système de freinage

Comme on a vu dans le chapitre précédent, les systèmes freinage sont susceptibles à plusieurs types de défaillance. Pour éliminer et réduire les pannes, il faut un bon entretien de ces systèmes.

1.1. Contrôle du niveau du liquide de frein

Il faut contrôler et renouveler régulièrement le liquide de frein (tous les 40000 Km ou au moins une fois tous les deux ans).

Le réservoir est transparent pour permettre de contrôler facilement de l'extérieur le niveau du liquide qui doit toujours se trouver entre le repère "mini" et le repère "maxi" (figure 4.1).

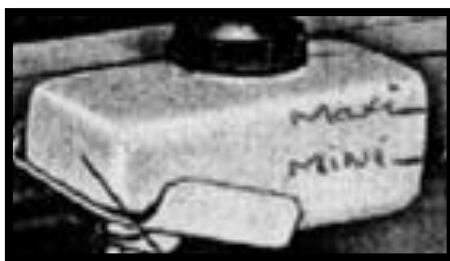


Figure 4.1 : Réservoir du liquide [18].

Il est à noter que sur certains véhicules, un niveau de liquide trop bas est signalé par l'extinction du témoin de frein à main. Une légère diminution du liquide se produit par suite de l'usure et du réglage automatique de la garniture de frein arrière. Par contre, si le contenu du réservoir diminue sensiblement et rapidement, c'est le signe d'une fuite par défaut d'étanchéité et il faut immédiatement vérifier le circuit de freinage. Pour faire l'appoint, utiliser uniquement du liquide neuf préconisé par le constructeur.

Il ne pas mélanger un liquide minéral et un liquide de synthèse (détérioration des coupelles et joints).

1.1.1. Vidange et purge du circuit

La vidange du circuit de freinage doit être effectuée tous les 20000 km ou tous les ans pour les véhicules circulant peu (ou suivant les indications du conducteur). Cette vidange doit être suivie d'une purge. Si l'on doit procéder au nettoyage des canalisations et des organes, il faut employer le liquide de freinage ou à défaut de l'alcool exempt d'impuretés. On assèche aussitôt après le nettoyage à l'alcool avec un jet d'air comprimé ou encore après avoir attendu au minimum 30 minutes que l'évaporation soit complète.

La présence d'un volume d'air dans le circuit se traduit par une augmentation de la course de la pédale qui devient élastique. La purge idéale nécessite la mise en œuvre d'un appareil spécifique qui permet d'alimenter le circuit avec du liquide à faible pression.

L'utilisation d'un tel appareil permet d'effectuer la purge tout seul et élimine les risques de détérioration des coupelles du maître cylindre (voir figure 4.2).

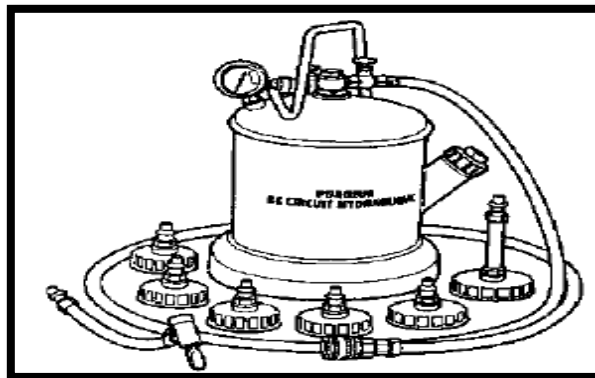


Figure 4.2 : Appareil de purge [19].

✓ Conseils concernant la purge

L'opération de purge doit être répétée sur les étriers de freins de chaque roue, en vérifiant chaque fois que la quantité de liquide contenue dans le réservoir soit suffisante. Une fois l'opération terminée, faire l'appoint dans le réservoir au niveau maxi prescrit. Dans le cas où le système hydraulique serait complètement vide, il est conseillé avant d'effectuer la purge de la façon décrite, de procéder comme suit :

- Surveiller le niveau de liquide de freins dans le réservoir.
- Les roues du véhicule doivent être posées au sol lorsque le circuit comporte un correcteur asservi à la charge.
- Lorsque le circuit n'est pas en « X » (voir figure 4.3). il faut commencer par la roue la plus éloignée du maître cylindre.

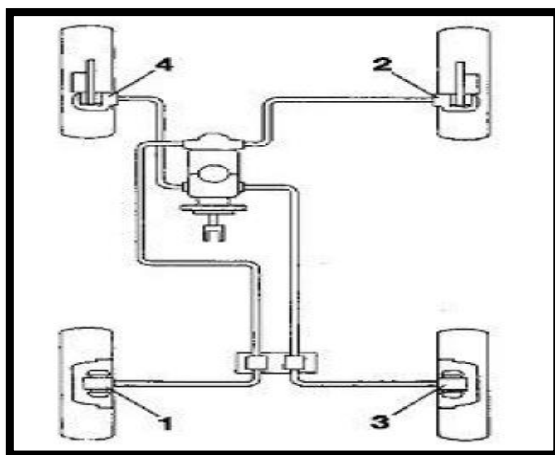


Figure 4.3 : la purge d'un circuit en « X » [19].

- Placer sur la vis de purge du premier récepteur un tube transparent dont l'extrémité doit être plongée dans un récipient contenant du liquide de frein.

- Appuyer lentement sur la pédale de frein pour mettre le circuit sous pression(1). Si la pédale ne présente aucune résistance à l'enfoncement, pomper d'un mouvement lent et continu jusqu'à l'obtention d'une résistance même minime (voir figure 4.4).
- Desserrer la vis de purge d'un quart de tour pour laisser s'écouler le liquide qui entraîne l'air présent dans le circuit. Pendant cette phase la pédale doit être maintenue enfoncée (2) et resserrer la vis de purge (3).
- Relâcher lentement la pédale (4) le liquide de frein remplit le maître-cylindre.
- Répéter l'opération jusqu'à disparition totale des bulles.
- Procéder de la même manière pour chaque récepteur en respectant l'ordre préconisé.

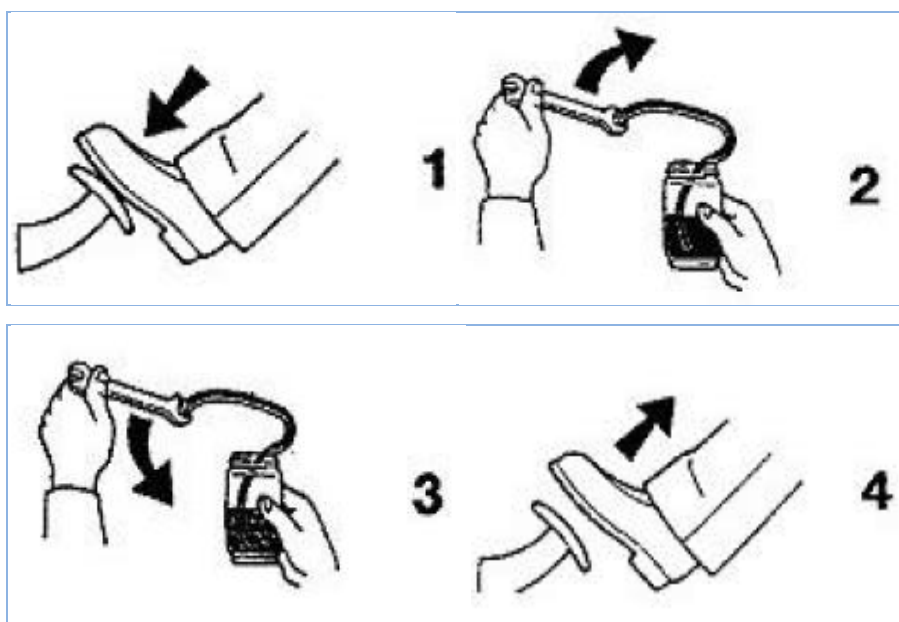


Figure 4.4 : Procédure de purge à la pédale [19].

Remarque : Si la purge n'a pas été parfaitement exécutée, la garde de la pédale de freins dépassera 20 à 25 mm et la pédale présentera une élasticité plus ou moins importante à fond de course, selon la qualité d'air restée dans le circuit. Dans ce cas, il sera opportun de répéter l'opération de purge, en agissant en même temps sur les quatre purgeurs.

1.2. Contrôle maître-cylindre

Pratiquer un contrôle visuel sur le circuit de freinage (récepteurs AV, récepteurs AR, correcteur de freinage, maître cylindre) pour vérifier s'il n'y a pas de fuite externe avant de contrôler le maître-cylindre (voir figure 4.5).

Exercer un effort sur la pédale de frein si :

- ❖ la pédale s'enfonce un peu puis devient dure, le maître-cylindre est en bon état

- ❖ la pédale s'enfonce progressivement, il y a une fuite interne, cela entraîne le remplacement du maître-cylindre.

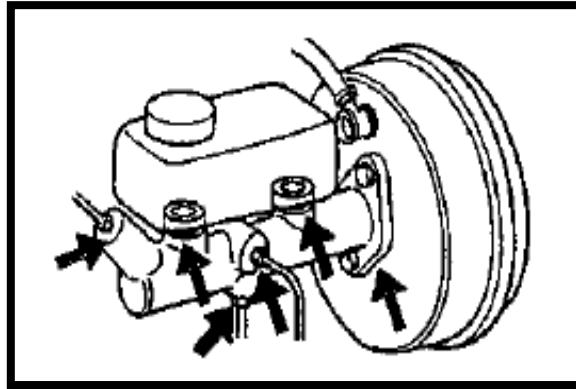


Figure 4.5 : Contrôler le maître-cylindre [20].

1.3. Contrôle assistance de freinage (ou servo-frein)

Moteur à l'arrêt, actionner plusieurs fois la pédale de frein, celle-ci doit devenir dure et de course réduite. Maintenir une action sur la pédale de frein et mettre en marche le moteur. La pédale doit s'enfoncer doucement, le fonctionnement du servofrein ne doit occasionner aucune variation du régime moteur.

1.3.1. Contrôle du clapet de retenue (1) du servofrein :

- brancher une dépression mètre conformément à la figure 4.6.
- faire tourner le moteur au ralenti, la dépression mesurée doit être égale à celle de la source (2 : collecteur d'admissions ou pompe à vide).

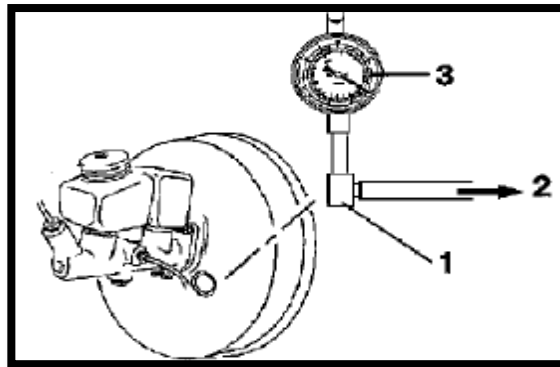


Figure 4.6: Contrôle du clapet de retenue (1) [20].

1.3.2. Contrôle de l'étanchéité du servofrein :

- brancher une dépression mètre en utilisant un raccord en T et une canalisation courte conformément à la figure 4.7.
- faire tourner le moteur au ralenti une minute environ, fermer la vanne (4) et arrêter le moteur.
- contrôler la chute de pression, celle-ci ne doit pas dépasser 0,03 bars en 15 secondes.

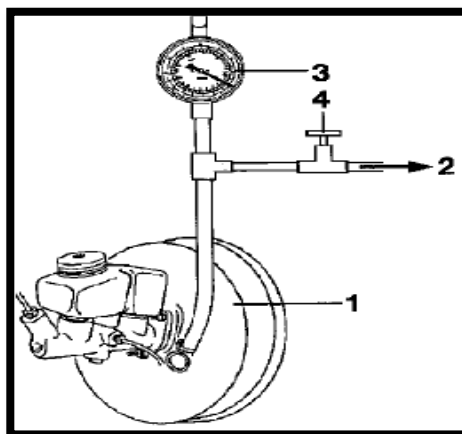


Figure 4.7 : Contrôle de l'étanchéité. [20]

1.4. Contrôle de Correcteur de freinage

Un correcteur de freinage permet de modifier la pression du liquide qui agit sur les récepteurs AR. Il sera incriminé lorsque le blocage des roues arrière se produit au moment d'un freinage brutal. Le contrôle des pressions avant et arrière permet de valider la conformité du correcteur.

1.4.1. Consignes générales avant intervention

- contrôler visuellement l'absence de fuite.
- réaliser le contrôle de pression sur chacun des deux circuits lorsque celui-ci est en « X ».
- vérifier pour un véhicule équipé d'un correcteur asservi à la charge :
 - l'état mécanique de la liaison suspension correcteur.
 - que le véhicule soit placé sur un sol plan et horizontal, train roulant en position de roulage.
 - que les conditions de charge préconisées par le constructeur soient respectées.

1.4.1. Procédure de contrôle

- brancher sur l'un des circuits, à la place des vis de purge, deux manomètres
- purger le circuit de freinage et les manomètres.
- appuyer progressivement sur la pédale de frein et contrôler les pressions AV et AR (mettre le moteur en marche si vous n'obtenez pas la pression voulue à l'avant).

1.5. Contrôle des tambours

Un contrôle visuel permet d'apprécier l'état de la piste de frottement. En cas de sillons trop profonds ou de criques dues à des contraintes thermiques anormales, il faut remplacer les deux tambours d'un même essieu. Pour évaluer à l'ovalisation, il est nécessaire de réaliser

la mesure du diamètre intérieur du tambour dans deux plans perpendiculaires. La différence entre ces deux valeurs définit l'ovalisation du tambour.

Mesurer, à l'aide d'un outil de type pied à coulisse à tambour, les diamètres intérieurs du tambour de frein selon 2 axes perpendiculaires (4) et (5) (voir la figure 4.8).

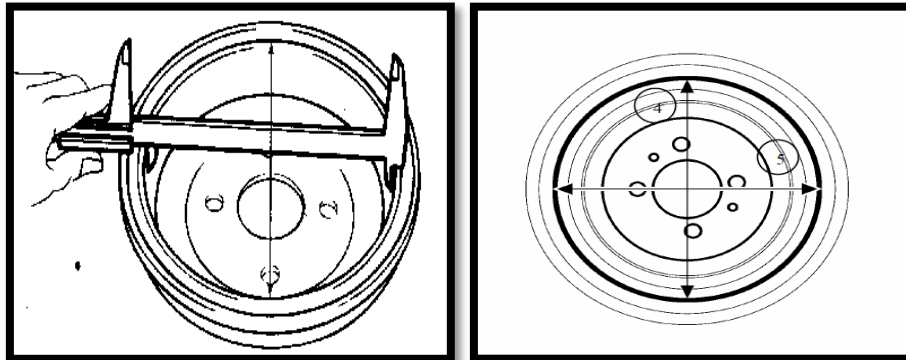


Figure 4.8 : Contrôle de tambour [19].

1.6. Contrôle de l'épaisseur de garniture de mâchoire (voir la figure 4.9)

- ❖ Les garnitures de freins doivent être remplacées lorsque l'épaisseur se rapproche de 1.5 millimètre.
- ❖ Le remplacement des segments de frein impose celui des cylindres récepteurs.
- ❖ La zone de travail des coupelles est liée à l'épaisseur de la garniture et au jeu de fonctionnement du système.
- ❖ Lors du montage de segments de frein neufs, les coupelles se déplacent alors sur des zones corrodées de l'alésage du cylindre récepteur et n'assurent pas une bonne étanchéité d'où une fuite de liquide de frein.

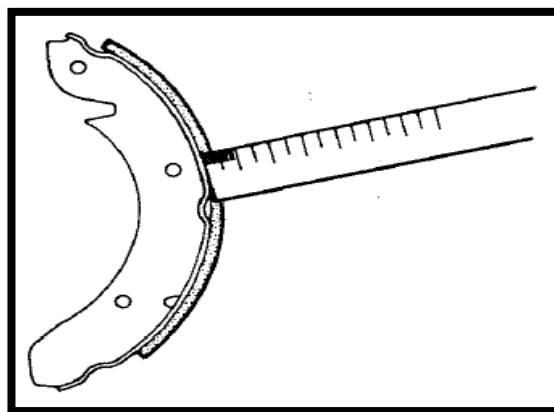


Figure 4.9 : Contrôle de l'épaisseur de mâchoire [19].

1.7. Contrôle de l'étrier de frein

Tout défaut de fonctionnement de l'étrier de frein (fuite ou grippage) entraîne la diminution

1.7.1. Procédure de contrôle

- ❖ Vérifier le libre déplacement du piston de l'étrier.
- ❖ Vérifier le libre coulissement de la chape de l'étrier.

- ❖ Soulever les capuchons en caoutchouc, la présence de liquide de frein signale.
- ❖ un suintement ou une fuite du joint de piston.

1.8. Contrôle le disque de frein

Le contrôle du disque s'effectue lors du remplacement des plaquettes. Un contrôle visuel permet d'apprécier l'état de surface des pistes de frottement. En cas de sillons ou de criques dues à des contraintes thermiques anormales (chaud/froid), il faut remplacer les deux disques d'un même essieu ainsi que les plaquettes de frein.

1.8.1. Procédure de contrôle

- Épaisseur : la mesure de l'épaisseur doit être pratiquée en 2 ou 3 points répartis sur la piste de frottement et tous les 120° à l'aide d'un micromètre. Généralement, l'usure ne doit pas dépasser un millimètre par face.
- Voile : le voile du disque doit être de faible valeur, en particulier pour les étriers fixes. Le voile se contrôle au moyen d'un comparateur et de son support magnétique.
- Placer la touche mobile du comparateur en appui sur la piste de frottement (point proche du diamètre extérieur).
- Faire tourner lentement le disque : la déviation de l'aiguille ne doit pas dépasser la valeur préconisée par le constructeur.
- Après avoir déposé la roue, mettre en place l'outil Palmer pour mesurer l'épaisseur du disque en 4 points espacés d'environ 90° (voir figure 4.10).

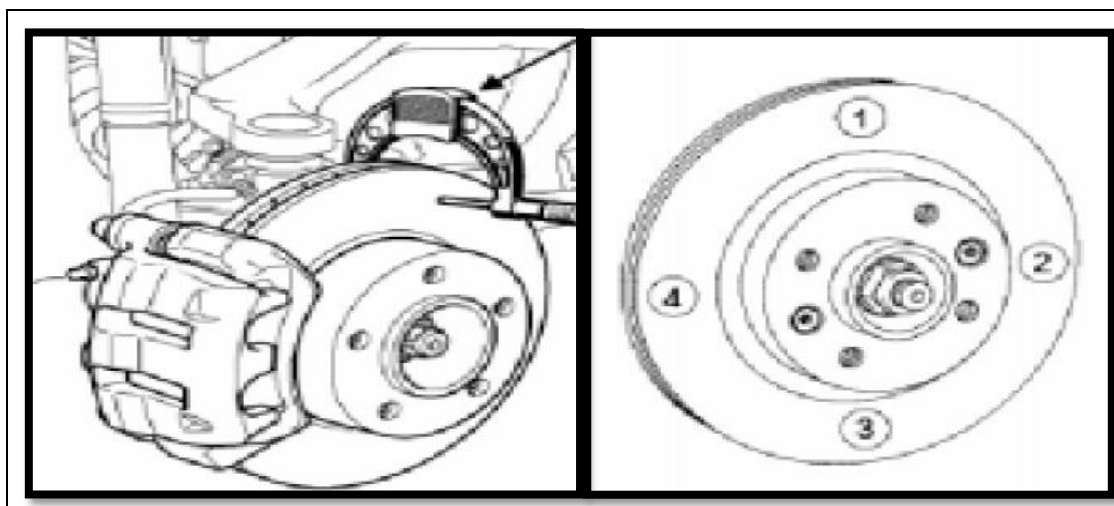


Figure 4.10 : Contrôle de l'épaisseur du disque. [21]

1.9. Contrôle des plaquettes

Mesurer la distance entre la plaque arrière (A) et la surface d'usure (B) en quatre endroits suivant la figure 4.11. Épaisseur de garniture minimale admise (matériau de friction) : **2 mm**.

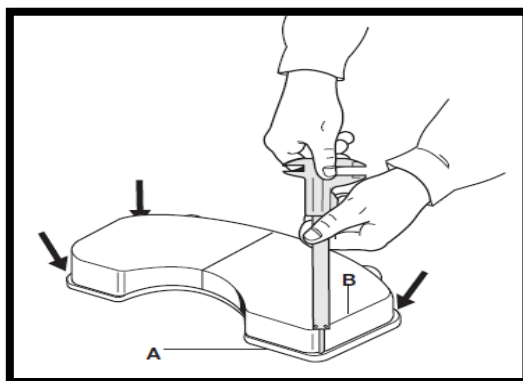


Figure 4.11 : Mesures l'épaisseur de plaquette [18].

Tous les **20 000 km** et lorsque les plaquettes ne sont pas équipées de témoin d'usure Lumineux, le contrôle visuel s'impose.

Les plaquettes doivent être remplacées lorsque l'épaisseur du matériau de friction se rapproche de **2 mm** (voir figure 4.12).

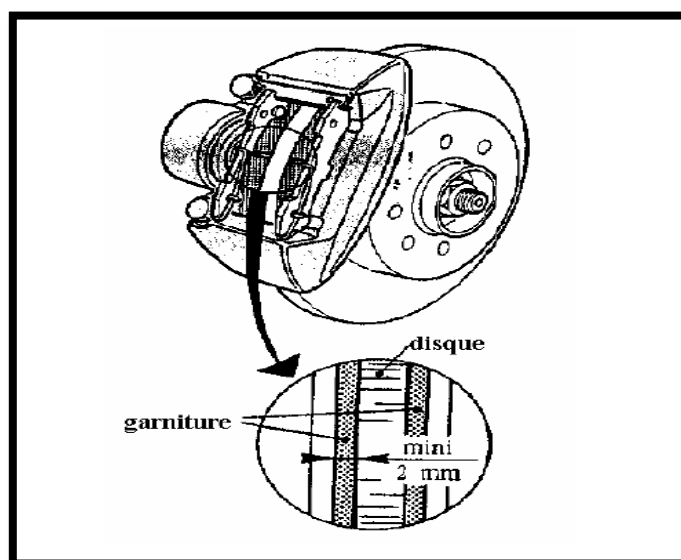


Figure 4.12 : Remplacée La plaquette [18].

Chapitre 5 : Modélisation du disque de frein

Le disque de frein automobile, comme le montre l'expérience, peut subir des dégradations dont l'origine réside dans les sollicitations couplées mécaniques (pression des garnitures sur le disque et serrage du disque sur le moyeu) et thermiques (échauffement par frottement). A cause de la complexité du système, les modélisations numériques ne sont envisageables que si elles reposent sur des hypothèses simplificatrices. Ainsi, la plupart des études ne modélisent pas les phénomènes de contact frottement.

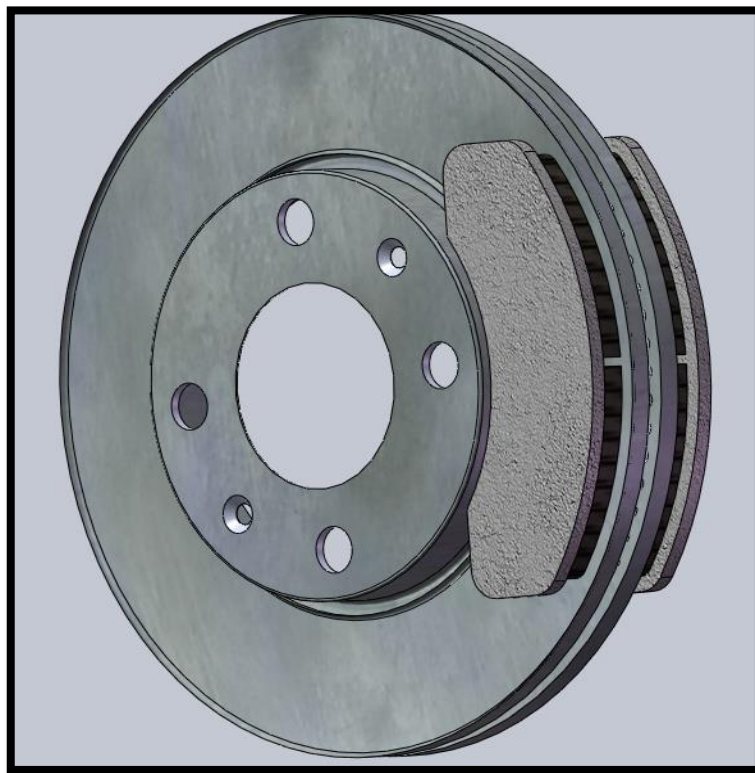


Figure 5.1 : Modèle du disque de frein.

La modélisation du disque de frein est faite par le logiciel SOLID WORKS, le modèle de ce dernier est représenté sur la figure 5.1. On respecte les dimensions réelles prises manuellement.

5.1. SOLID WORS

SOLID WORS est un outil de modélisation en 3D qui utilise la conception paramétrique . Il génère trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont dépendants, de façon que toute modification sur n'importe quel concept de base est répercutée vers tous les fichiers correspond.

Cet outil est créé par l'éditeur américain « éponyme » en 1993 et acheté en 1997 par la société « Dassault Systèmes », il est utilisé par les grandes firmes comme Michelin, Mega Bloks et AREVA [22].

5.2. ANSYS

ANSYS est un logiciel de simulation numérique utilise la méthode des éléments finis pour résoudre les modèles préalablement discrétisés. Ce logiciel est créé en 1970 par l'éditeur ANSYS Inc à Canonsburg en Pennsylvanie aux États-Unis qui possède de nombreuses filiales à travers le monde, notamment en Europe et en Asie. Dans mes études on a utilisé

Logiciel ANSYS pour déterminer les fréquences et les modes propres du disque de frein

5.2.1. Élément utilisé dans le maillage

- **SOLID 187** : est employé pour modéliser des structures à trois dimensions. L'élément est défini par cinq nœuds ayant trois degrés de liberté pour chaque nœud dans les directions nodales de X, Y, et Z.

5.2.2. Les propriétés physiques des éléments du disque

Les propriétés physiques de disque sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 5.1 : Propriété physiques de disque.

Matériau	Acier Z20C13
Module de Young	210000 N.mm ⁻²
Coefficient de Poisson	0.3
Masse volumique	7800 ^{E-9} kg.mm ⁻³

5.2.3 Analyse modale

Pour réaliser l'analyse modale du disque de frein sur ANSYS il faut créer le modèle 3D sur SOLID WORS, ensuite vers ANSYS.

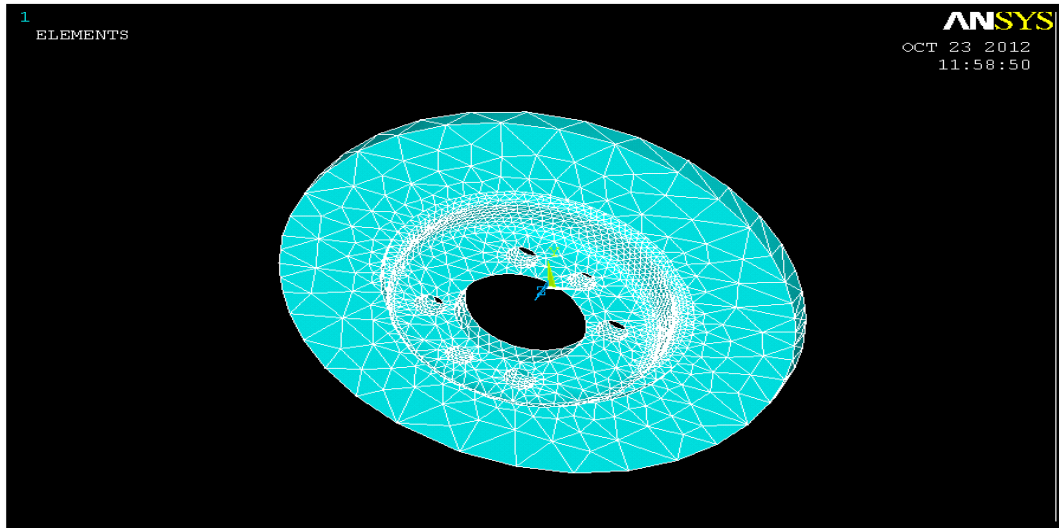


Figure 5.2 : Maillage du disque de frein.

- ❖ Les fréquences propres du système : après l'exécution du programme nous avons trouvés les résultats suivants :

Tableau 5.2 : Modes propres du disque de frein.

Numéro de mode	1	2	3	4
Fréquence [Hz]	0.251 ^E -03	0.009795	0.022688	0.027453

- ❖ Les modes propres correspondant à ces fréquences propres sont donnés les figures suivantes :

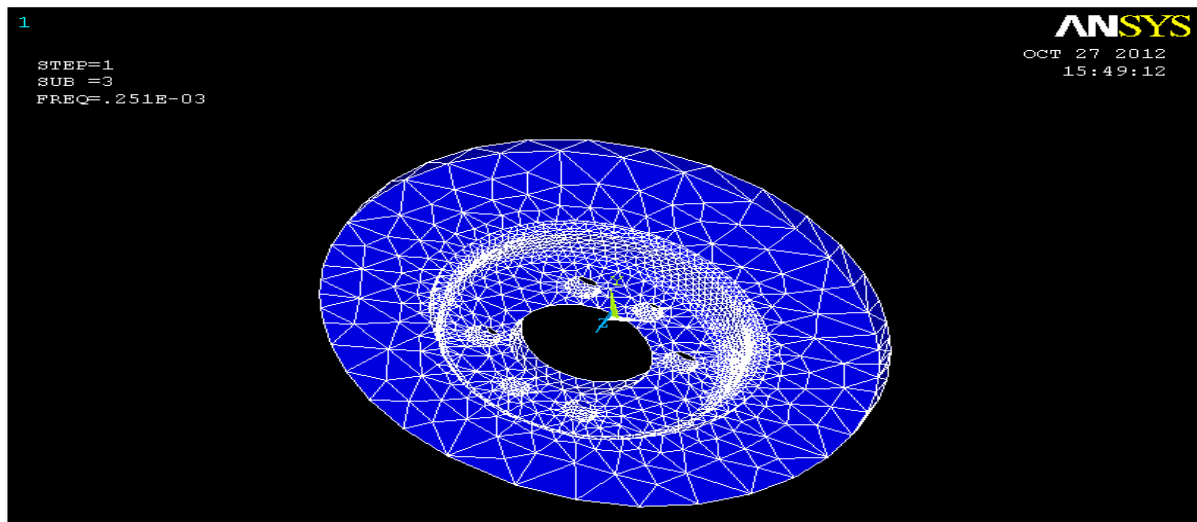


Figure 5.3 : Le mode numéro1.

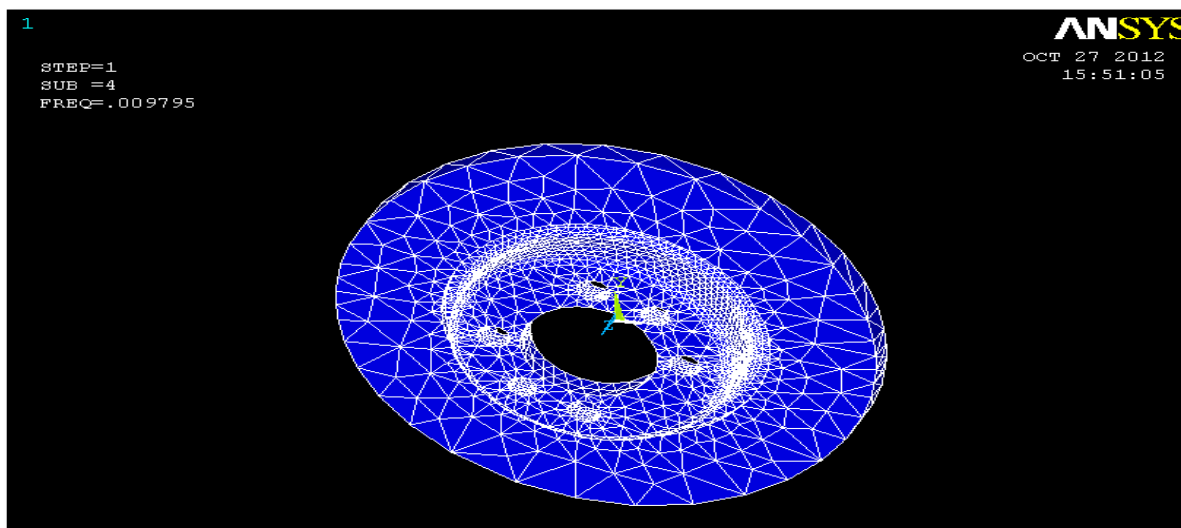


Figure 5.4 : Le mode numéro2.

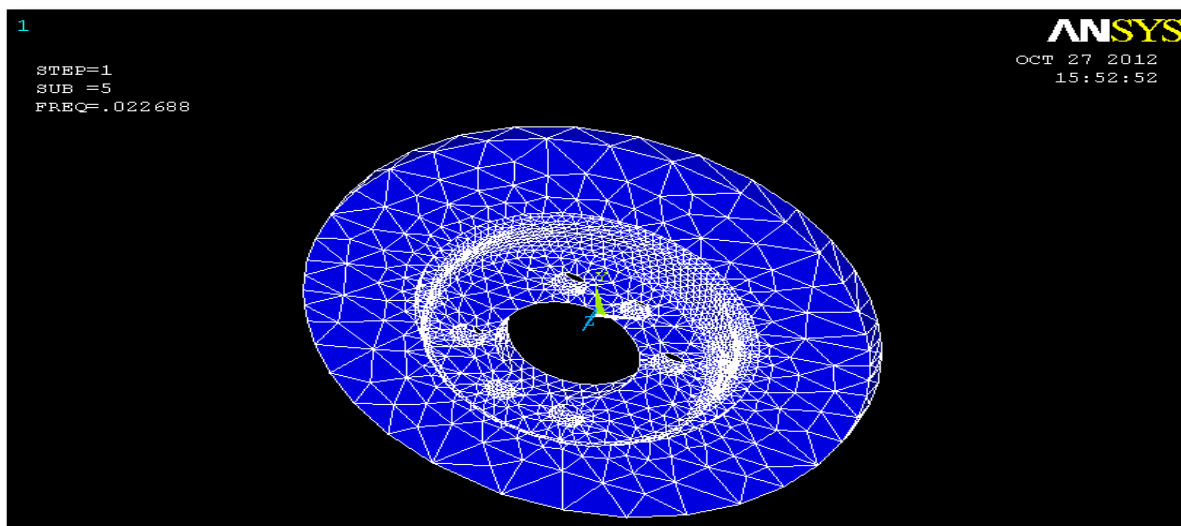


Figure 5.5 : Le mode numéro3.

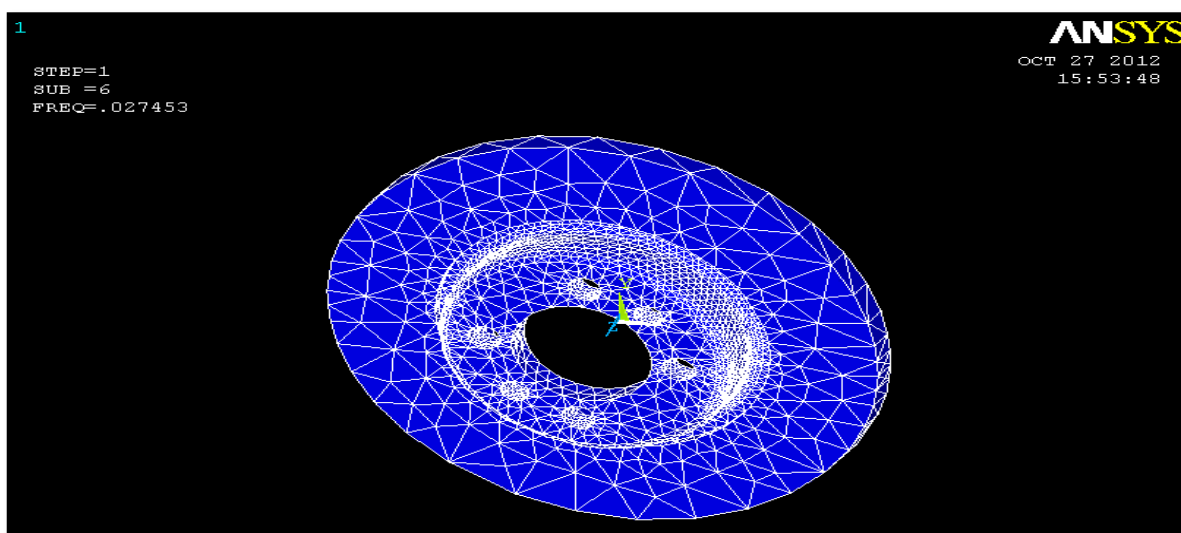


Figure 5.6 : Le mode numéro4.

5.3. Simulation thermique

Vue la difficulté des problèmes d'échauffement de disque de frein et pour le but de la simulation thermique nous avons utilise le logiciel Abaqus. Ce logiciel est mieux adapte avec ces problèmes.

5.3.1. Visualisation de Température

Dans cette partie on va étudier la répartition de la température sur le disque de frein.la figure 5.7 montre la variation de la température pendant une période de temps 2 s

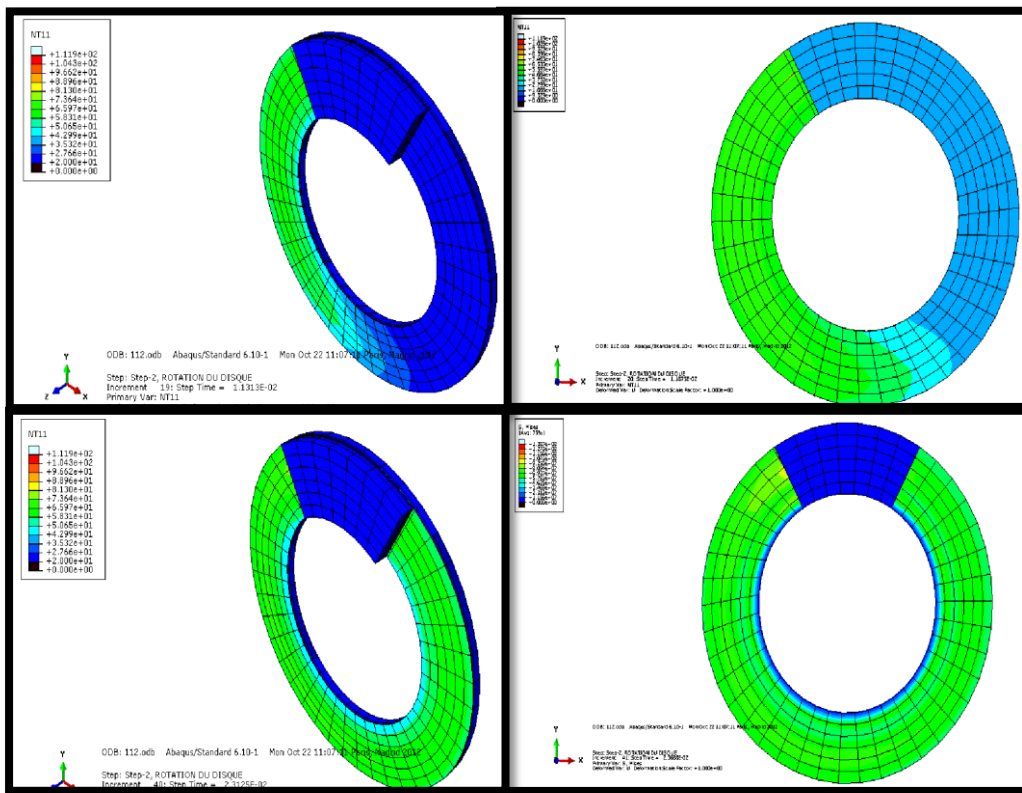


Figure 5.7: La répartition de la température.

On remarque dans la figure 5.8 que la température augment rapidement et sa répartition possède une forme de V.

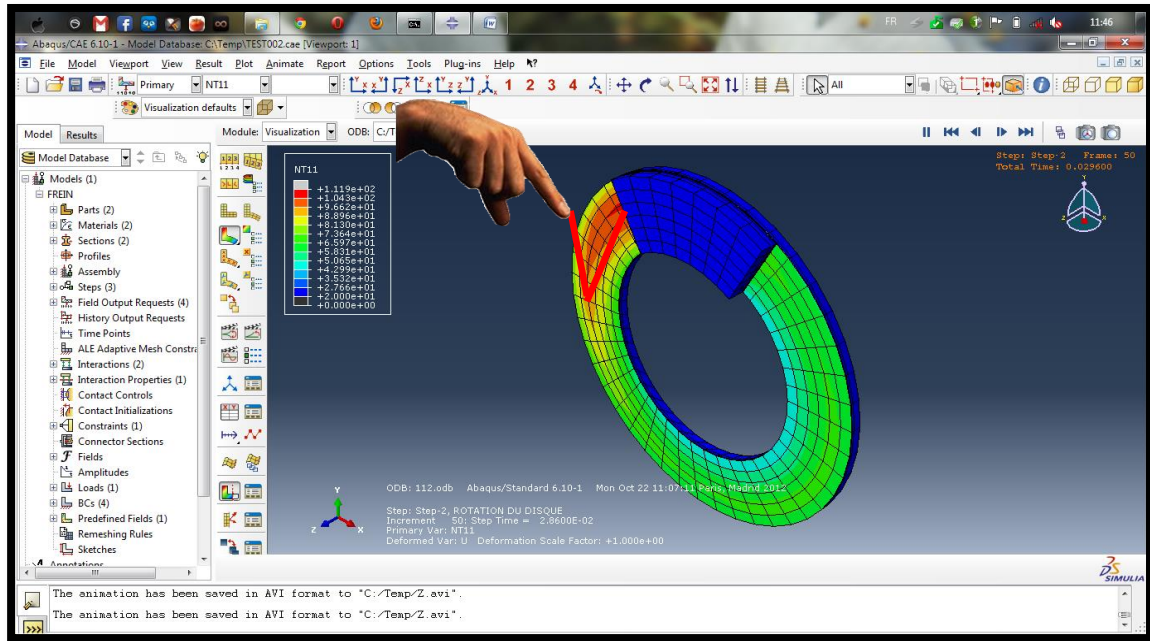


Figure 5.8 : Visualisation de température.

5.3.2. Visualisation de contrainte

Dans cette partie on va étudier la répartition de la contrainte sur le disque de frein. la figure 5.9 montre la variation de la contrainte pendant une période de temps 2 s

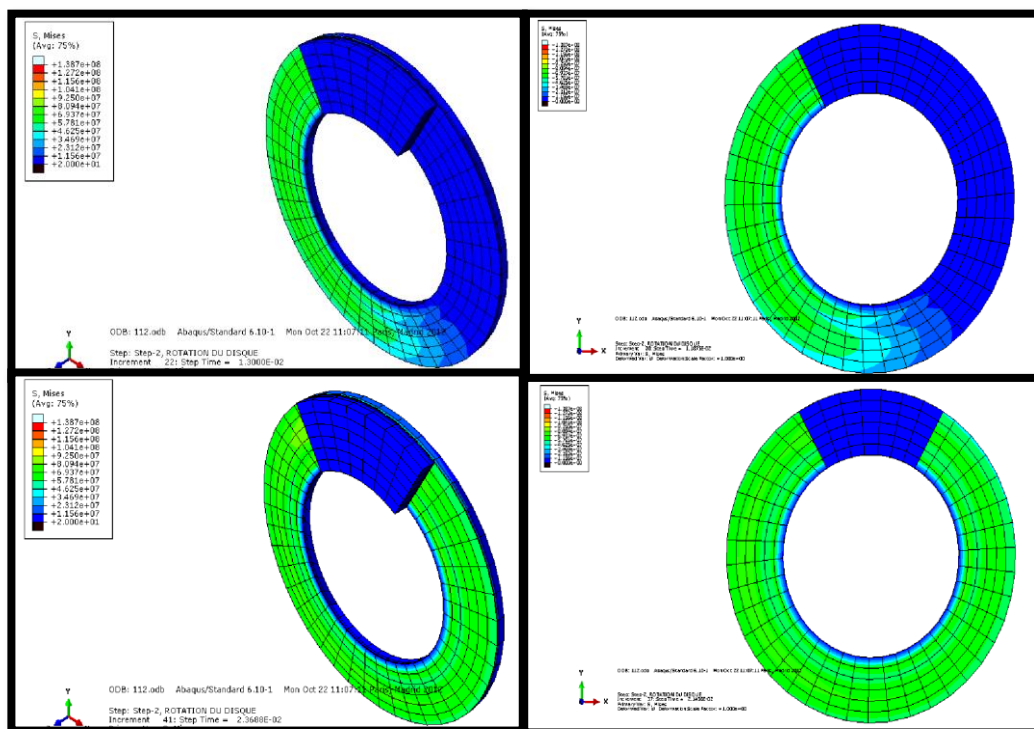


Figure 5.9 : La répartition de la contrainte.

On remarque dans la figure 5.10 que la contrainte augmente rapidement et sa répartition possède une forme de W.

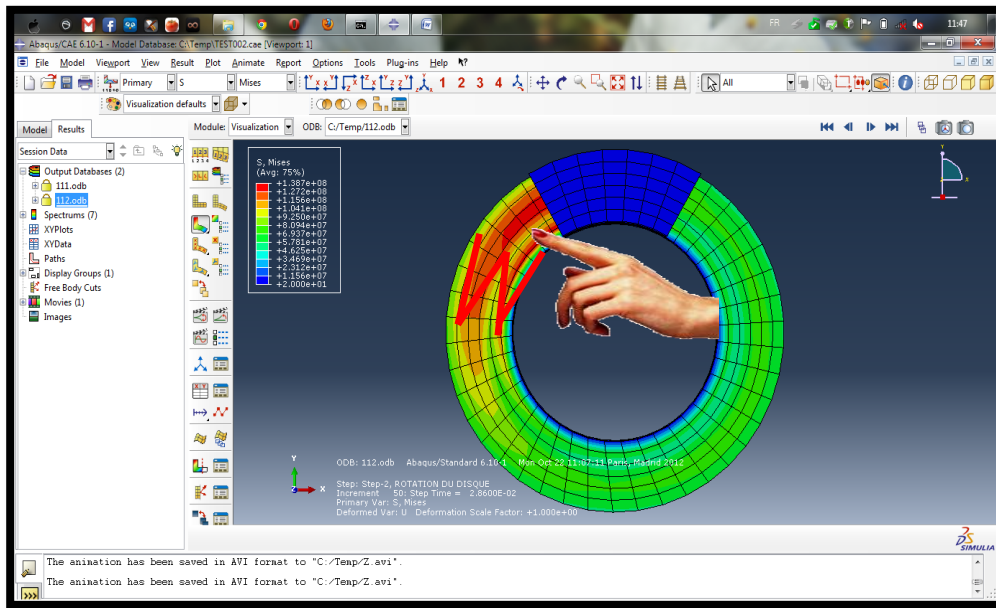


Figure 5.10 : Visualisation de contrainte.

Conclusions et Perspectives

Ce projet de fin d'étude nous a permis de traiter un problème réel posé au niveau des véhicules routiers, ce problème est la défaillance des systèmes de freinage. Pour accéder à cette étude nous avons présenté les différents types des systèmes de freinage et du calcul des efforts de pression au niveau du contacte disque-plaquette. En suite une présentation est faite des différents types de défaillances des systèmes de freinage, suivi par un entretien de ces systèmes pour augmenter leurs durées de vie. Une modélisation est achevée pour le couple de freinage (disque- plaquette) à l'aide de trois logiciels (SOLIDWORKS, ANSYS, ABAQUS) pour obtenir les dessins en trois dimensions, le calcul des modes propres et de faire une simulation de répartition des contraintes et de température sur le disque de frein. D'après les résultats obtenus par cette simulation on a remarqué que la répartition de la température possède une forme en V, par contre la répartition des contraintes possède une forme en W.

Les perspectives d'études qui peuvent être menée à la suite de ce travail : Modélisation et simulation des systèmes de freinage à disque.

Liste des figures

Figure 1.1 : Développement de frottement et de chaleur	2
Figure 1.2 : Les organes à freiner	4
Figure 1.3 : Installation hydraulique pour véhicule touristique	5
Figure 1.4 : Le frein à disque	6
Figure 1.5 : Le disque plein.....	6
Figure 1.6 : Le disque ventilé.....	6
Figure 1.7 : La plaquette de frein	7
Figure 1.8 : Etrier de freinage	7
Figure 1.9 : Fonction d étrier fixe	8
Figure 1.10 : Fonction d étrier flottant	8
Figure 1.11 : Freins à tambour	9
Figure 1.12 : Frein à main	10
Figure 1.13 : Assistance (servofrein).....	11
Figure 1.14 : Fonction de servofrein	11
Figure 1.15 : Le maitre-cylindre « simple ».....	13
Figure 1.16 : Le maitre-cylindre « tandem »	13
Figure 1.17 : Circuit classique en "H"	15
Figure 1.18 : Circuit classique en "X"	15
Figure 1.19 : Circuit classique en "T"	15
Figure 1.20 : Montage correcteur dans véhicule	16
Figure 1.21 : Installation pneumatique pour poids lourd	17
Figure 1.22 : Compresseur d'air	17
Figure 1.23 : Réservoir d'air	17
Figure 1.24 : Pédale de frein.....	18
Figure 1.25 : Récepteur de freinage	18

Figure 1.26: Mécanisme de frein.....	19
Figure 1.27 : Installation oléopneumatique pour poids lourd	19
Figure 1.28 : Composants du système ABS dans véhicule	20
Figure 1.29 : centrale hydraulique.....	21
Figure 2.1 : Représentation dynamique d'un frein ou d'un embrayage.....	22
Figure 2.2 : Représentation des forces	24
Figure 2.3 : La courbe représente la variation d'adhérence en fonction de glissement	24
Figure 2.4 : Chemin d'arrêt véhicule	26
Figure 2.5 : Frein à tambour a deux segments	26
Figure 2.6 : frein a segment interne.....	26
Figure 2.7 : Force applique sur le disque	28
Figure 2.8 : Schéma de disque de freins.....	30
Figure 2.9 : Garniture (segment).	30
Figure 2.10 : Composition de plaquette de frein	31
Figure 2.11 : Influence de la pression sur le coefficient de frottement	31
Figure 2.12 : Influence de la température sur le coefficient de frottement	32
Figure 2.13 : Influence de la vitesse sur le coefficient de frottement.....	32
Figure 3.1 : Les accèdent sur la route.....	33
Figure 3.2 : servofrein défaillant	34
Figure 3.3 : maitre-cylindre défaillant.....	34
Figure 3.4 : les craquelures du caoutchouc	34
Figure 3.5 : étrier grippé	35
Figure 3.6 : Plaquette Fuselées	35
Figure 3.7 : Usure non-uniforme sur une plaquette.....	36
Figure 3.8 : Plaquette dénaturée	36
Figure 3.9 : Contamination de surface	36

Figure 3.10: Plaquettes endommagée.....	37
Figure 3.11: Plaquettes Fissurées	37
Figure 3.12 : Plaquette vitreuse	37
Figure 3.13 : Disque à l'usure très visible	38
Figure 3.14 : Disque endommagé par le fer d'une plaquette.....	38
Figure 3.15: Disque fissuration	38
Figure 3.16 : Tambours fissurés	39
Figure 3.17: Tambours souillés par de la graisse	39
Figure 3.18 : Fissures apparaissent dans le cercle de boulonnage	40
Figure 3.19 : Tambours de frein polis	40
Figure 3.20 : Les craquelures de tambours.....	41
Figure 3.21 : Fissure radiale de la surface de montage	41
Figure 3.22 : Tambour de frein rayé.....	42
Figure 3.23 : Tambours tachés par la martensite.....	42
Figure 3.24 : Tambours de frein bleuis	43
Figure 3.25 : Usure excessive	43
Figure 3.26 : Teneur moyenne en eau du liquide de frein (au réservoir) en fonction de la durée d'utilisation	44
Figure 3.27 : Variation de la température d'ébullition en fonction de la teneur en eau du liquide de frein	44
Figure 3.28 : Courbe coefficient de frottement en fonction de température	45
Figure 4.1 : Réservoir du liquide.....	46
Figure 4.2 : Appareil de purge.....	47
Figure 4.3 : la purge d'un circuit en « X »	47
Figure 4.4: Procédure de purge à la pédale	48
Figure 4.5 : Contrôler le maître cylindre	49

Figure 4.6 : Contrôle du clapet de retenue (1).....	49
Figure 4.7: Contrôle de l'étanchéité	50
Figure 4.8 : Contrôle de tambour	51
Figure 4.9 : Contrôle de l'épaisseur de mâchoire.....	51
Figure 4.10 : Contrôle l'épaisseur du disque.....	52
Figure 4.11 : Mesures l'épaisseur de plaquette	53
Figure 4.12 : Remplacée Le plaquette.....	53
Figure 5.1: Modèle du disque de frein.....	54
Figure 5.2: Maillage du disque de frein.....	56
Figure 5.3: Le mode numéro 1	56
Figure 5.4 : Le mode numéro 2	57
Figure 5.5 : Le mode numéro 3	57
Figure 5.6 : Le mode numéro 4	57
Figure 5.7 : La répartition de la température.....	58
Figure 5.8 : Visualisation de température.....	59
Figure 5.9: La répartition de la contrainte	59
Figure 4.10 : Visualisation de contrainte.....	60

Liste des symboles

E :	Energie cinétique.
M :	Masse du véhicule.
Q :	Energie calorifique.
γ:	Accélération et décélération.
μ:	Coefficient d'adhérence.
F :	Force d'adhérence.
Fa :	Force de résistance.
Ap :	Force d'appui.
λ:	Glissement.
Vv :	Vitesse du véhicule.
Vr :	Vitesse de la roue.
D_R :	Distance de réaction.
V₀ :	Vitesse de la voiture (m.s ⁻¹).
t :	temps(s).
D_f :	Distance de freinage.
P :	Poids du véhicule.
D_A :	Distance d'arrêt.
N :	Force normale.
p :	Pression du contact.
b :	Largeur de la garniture du tambour.
r :	Rayon du tambour.
θ :	L'angle du segment.
Pa :	Pression admissible.

F :	Force maximale de serrage.
C :	Distance
M_n :	Moment des forces normales
M_f :	Moment des forces de frottement
f_g :	Coefficient de frottement
a :	Distance
T :	Couple maximale de freinage.
R_x :	Réaction au pivot x.
R_y :	Réaction au pivot y.
D :	Diamètre extérieur de la garniture.
d :	Diamètre intérieur de la garniture.
γ :	l'angle de la garniture.
T_f :	Couple de freinage.
F_f :	Force total de frottement.
OC :	Centre de frottement.
l_e :	Longueur radiale.
Q_d :	Puissance dissipée pour disque.
Q_p :	Puissance dissipée pour les patins (plaquettes).
S_p :	Surface totale des patins.
S_d :	Surface de frottement du disque.
β_p et β_d :	Respectivement les effusivités du patin et du disque
φ_p :	Flux de chaleur apparaissant sur les patins.
φ_d :	Flux de chaleur sur les parois du disque.

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : différentes type d'installation.....	5
Tableau 1.2 : fonctionnement d'assistance (servofrein)	12
Tableau 1.3 : fonctionnement Le maitre-cylindre « simple ».....	14
Tableau 2.1 : Déférant coefficient d'adhérence (μ)	23
Tableau 3.1 : Caractéristique liquide de frein	45
Tableau 5.1 : Propriété physique de disque	55
Tableau 5.2 : Modes propres du disque de frein	56
Tableau A.1 : Fonctionnement des correcteurs de freinage.....	64
Tableau A.2 : Recherche des dérangements dans l'installation de freinage.....	65

SolidWorks est un outil de modélisation en 3D qui utilise la conception paramétrique . Il génère trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont dépendants, de façon que toute modification sur n'importe quel concept de base est répercutée vers tous les fichiers correspond.

Cet outil est créé par l'éditeur américain « éponyme » en 1993 et acheté en 1997 par la société « Dassault Systèmes », il est utilisé par les grandes firmes comme Michelin, Mega Bloks et AREVA.

1. La plaquette de frein

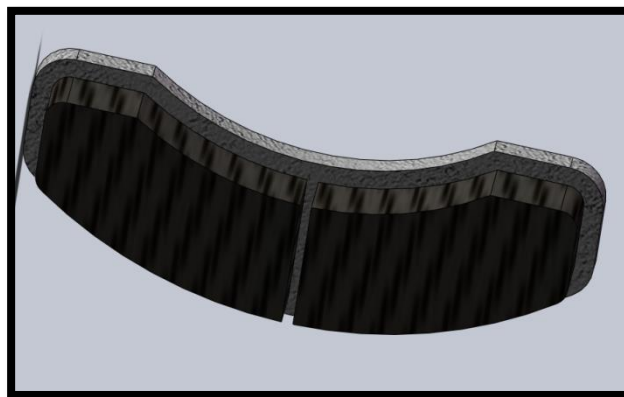


Figure B.1 : La plaquette de frein

2. Le disque ventilé

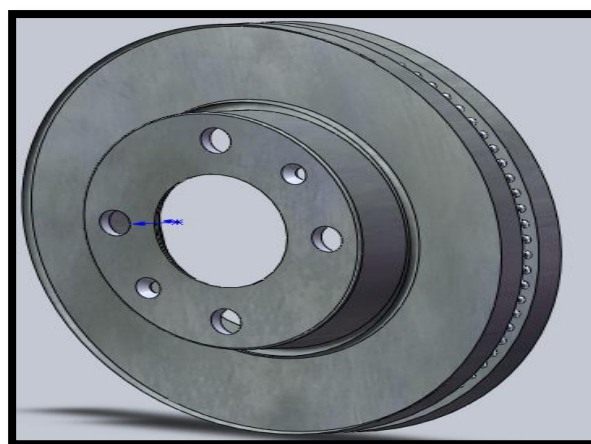


Figure B.1 : Le disque ventilé

3. Assemblage disque et plaquette

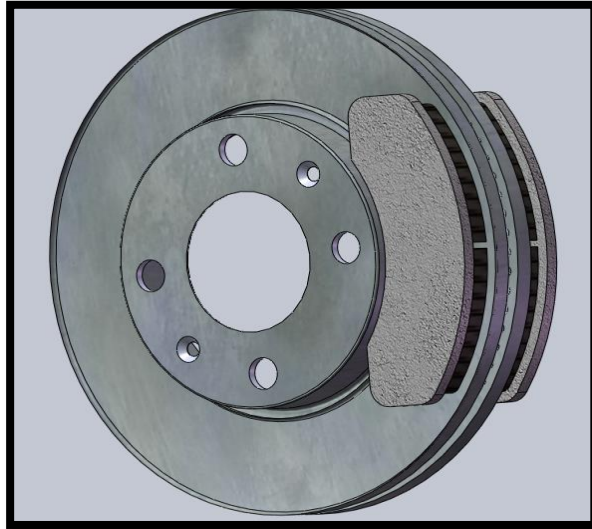


Figure B.1 : Assemblage disque et plaquette.

Tableau A.1: Fonctionnement des correcteurs de freinage. [2]

		correcteur	
Compensateur	Non asservi (C)	Asservi à la Suspension (B)	Limiteur (A)
	Asservi à la Suspension (D)		
<p>(A) Sort S la surface du piston. Tant que le produit $P_{AV} \cdot S$ reste égal à la tare du ressort :</p> $P_{AR} = P_{AV}$ <p>(B) Pour $P_{AV} \cdot S$ supérieur à la tare du ressort, le piston ferme le passage :</p> $P_{AR} \text{ reste constante}$ $P_{AV} \text{ croît avec l'effort}$ <p>à la pédale F</p>		<p>Le fonctionnement est identique à celui du limiteur non asservi à ceci près que la tare du ressort dépend de la position axiale du poussoir. Ce dernier, relié mécaniquement à l'essieu arrière, s'enfoncé proportionnellement à la charge du véhicule.</p>	
<p>Le principe mis en œuvre pour ces deux compensateurs asservis, l'effort axial s'exerçant sur le piston croît proportionnellement avec la charge du véhicule.</p> <p>Contrairement au limiteur, le compensateur permet d'obtenir une pression P_{AR} proportionnelle à l'effort à la pédale F_{ped} au-delà du point d'intervention I.</p>		<p>Le principe mis en œuvre pour ces deux compensateurs asservis, l'effort axial s'exerçant sur le piston croît proportionnellement avec la charge du véhicule.</p> <p>Contrairement au limiteur, le compensateur permet d'obtenir une pression P_{AR} proportionnelle à l'effort à la pédale F_{ped} au-delà du point d'intervention I.</p>	

Résumé

Ce projet est consacré à l'étude de défaillance des systèmes de freinage des véhicules routiers .Notre travail consiste à étudier un disque de frein, une exposition de la procédure de maintenance de celle-ci qui inclut les défaillances et ses causes possibles et un entretien du système.

Suivi par une utilisation du logiciel SOLIDWORKS pour dessiner l'ensemble (disque-plaquettes) de frein, en suite importer ces dessins par le logiciel ANSYS pour une modélisation des modes propres.

Une simulation est faite par le logiciel Abaqus pour visualiser la répartition des contraintes et de température sur le disque de frein.