

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



Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Mécanique

PROJET DE FIN D'ETUDES
En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat
En Génie Mécanique

THEME

**ETUDE DE L'ADAPTATION DU SYSTEME DE
FREINAGE ABS SUR UN VEHICULE INDUSTRIEL**

Proposé et dirigé par :

Mr SAIDI Djamel
Mr BOUAZIZ Mohamed

Présenté par :

HOUYOU Abdellah

2008/2009

Résumé

Le but de ce mémoire est d'établir une étude sur le système de freinage pneumatique, ses composants et son fonctionnement sur les véhicules industriels, puis de lui adapter un système d'anti blocage des roues et voir ce qu'il y a à modifier. Par la suite on réalisera une comparaison entre un véhicule équipé de ce système et un autre non équipé. On tiendra compte non seulement de la partie technique, mais aussi de la partie économique et sécuritaire.

Mots clés : ABS (Antilock braking system), Calculateur, Electrovalve, Capteur de vitesse.

Abstract

The goal of this memory is to draw up a study on the pneumatic brake, its components and its operation on the industrial vehicles, then to adapt to him a system of anti wheel locking and to see what there is to modify. Thereafter one will carry out a comparison between a vehicle equipped with this system and another not equipped. One will take account not only of the technical part, but also of the economic and sedentary part.

Key words: ABS (Antilock braking system), Calculator, Electro-valve, speed sensor.

ملخص:

الغرض من هذه المذكرة هو وضع دراسة عامة عن نظام الكبح المانع للانغلاق، مكوناته وتشغيله على المركبات ، في وقت لاحق أجرينا مقارنة بين سيارة مجهزة وأخرى غير مجهزة. ليس فقط لأنها تعكس التقنية بل أيضا لأنها اقتصادية وآمنة.

الكلمات الرئيسية : وتقاسم المنافع (نظام الكبح المانع للانغلاق) ، حاسبة ، صمام استشعار السرعة.

DEDICACES

A CEUX QUI N'ONT JAMAIS CESSÉ DE M'ENCOURAGER ET
DE ME SOUTENIR, À CEUX QUI LEUR AMOUR M'A DONNÉ
LA VOLONTÉ D'ALLER TOUJOURS DE L'AVANT,
A MES TRÈS CHERS PARENTS, QUE DIEU LES PROTÈGE
A MES TRÈS CHERS FRÈRES, A MES TRÈS CHÈRES SOEURS,
A TOUTE MA FAMILLE,
A TOUS MES AMIS
ET A TOUS MES COLLÈGUES
JE DÉDIE CE TRAVAIL

ABDELLAH,

REMERCIEMENTS

*En premier lieu je remercie Dieu qui m'a aidé
à compléter ce travail*

*Je tiens particulièrement à exprimer mes
remerciements et mes profonds respects à
monsieur SAIDI DJAMEL qui a proposé et dirigé
ce travail, pour son suivi et ses conseils*

*Je remercie également l'ensemble des membres du
jury qui ont accepté d'examiner mon travail*

*Enfin je remercie tous ceux qui ont participé dans ce
travail*

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. THEORIE DE FONDEMENT SUR LE FREINAGE	3
1.1. Généralités sur le Freinage.....	4
1.1.2. Classification des freins	5
1.1.3. Conditions à respecter pour les freins	6
1.1.4. Qualités des freins	6
1.1.5. Influence du rendement des transmissions mécaniques de la machine	7
1.2. Le freinage et ses caractéristiques	8
1.2.1. Description du freinage.....	8
1.2.2. Grandeurs caractéristiques du freinage	10
1.3. Base de calcul du dimensionnement	16
1.3.2. Exemples numériques	16
1.4. Calcul des freins à disques.....	19
1.4.1. Actions tangentielles sur le patin : couple, résultante	19
1.4.2. Rayon d'action du frein	20
1.4.3. Couple de freinage	21
1.4.4. Détermination des patins	21
1.5.1. Glissement.....	25
1.6. But du freinage	26
2. SYSTEME DE FREINAGE ET SES COMPOSANTS	27
2.1. Freins pneumatiques et freins hydrauliques	28
2.1.1. Freins hydrauliques	28
2.1.2. Freins pneumatiques	29
2.2. Composants du circuit pneumatique de freinage	31
2.2.1. Compresseur d'air	31
2.2.2. Le régulateur	33
2.2.3. Les réservoirs	34

2.2.4.	Dessiccateur d'air	34
2.2.5.	Valve de protection à 4 circuits	36
2.2.7.	La commande au pied	38
2.2.8.	Robinet de commande à main	39
2.2.9.	Les récepteurs de freinage	40
2.2.10.	Soupape de desserrage rapide	44
2.2.11.	Manomètres à air comprimé	45
2.2.12.	Manomètres de pression de freinage	46
2.2.13.	Contacteur de feu d'arrêt	46
2.3.	Principe de fonctionnement du système de freinage	46
2.3.1.	Système à circuit double	46
2.3.2.	Freinage de stationnement	47
3.	CIRCUIT DE COMMANDE ABS	50
3.1.	Introduction	51
3.2.	Composants du circuit de commande	51
3.2.1.	Unité de contrôle électronique : (Le calculateur)	51
3.2.2.	Electrovalve	52
3.2.3.	Capteur de vitesse	53
3.2.4.	Valve Relais	54
3.3.	Modifications apportées au véhicule	55
3.3.1.	Modifications sur le circuit pneumatique	61
3.3.2.	Modifications sur l'essieu avant	61
3.3.3.	Modifications sur le pont arrière	61
3.4.	Régulation de l'ABS	61
3.4.1.	Rôle	61
3.4.2.	Principe de fonctionnement	62
3.4.3.	Schéma d'installation du système ABS sur véhicule	62
3.5.	Régulation de l'ASR	63
3.5.1.	Rôle	63
3.5.2.	Fonctionnement	64

4.	COMPARATIF ENTRE L'ANCIEN ET LE NOUVEAU SYSTEME.....	65
4.1.	Comparaison des deux types de freins	66
4.1.1.	Frein à tambour	66
4.1.2.	Frein à disque.....	66
4.2.	Surveillance du système ABS	67
4.2.1.	Essai du système statique	67
4.2.2.	Instructions de sûreté du conducteur	67
4.2.3.	Surveillance du capteur de vitesse de roue	68
4.2.4.	Surveillance de valve de modulateur de pression	68
4.2.5.	Lampe d'avertissement	69
4.3.	Qualités d'un freinage avec ABS	69
4.4.	Approche économique	69
5.	CONCLUSION GENERALE.....	71
	Bibliographie	71
	Annexe	72

LISTE DES FIGURES

Figure1.1- Abaque de calcul de distance de freinage en fonction de la vitesse et de la décélération.	12
Figure1.2 - Abaque de calcul de la distance d'arrêt du véhicule	18
Figure1.3 - Élément d'un patin ds soumis à l'effort tangentiel dT	20
Figure1.4 - Patins favorisant la constance d'usure et d'échauffement.....	24
Figure1.5 - Force de freinage, Stabilité et maniabilité directionnelle en fonction du glissement	25
Figure 2.1 - Schéma de fonctionnement des freins hydrauliques	28
Figure 2.2 - Schéma de fonctionnement des freins pneumatiques à circuits simple.	29
Figure 2.3 - Schéma de fonctionnement des freins pneumatiques à circuit double.	30
Figure 2.4 - Vue éclatée d'un compresseur	32
Figure 2.5 - Le compresseur et ses composants	33
Figure 2.6 - Le régulateur de pression	33
Figure 2.7 - Réservoir, soupape de sûreté et robinet de purge.	34
Figure 2.8 - Dessiccateur et ses composants.	35
Figure 2.9 - Principe de fonctionnement du dessiccateur.	35
Figure 2.10 - Dimensions de la valve de protection à quatre circuits.	36
Figure 2.11 - Ordre de remplissage de la valve de protection à quatre circuits.	37
Figure 2.12 - Soupape de sûreté.	38
Figure 2.13- Commande au pied et ses composants	38
Figure 2.14 - Robinet de commande à main.	40
Figure 2.15 - Récepteur de freinage pour essieux avant	41
Figure 2.16 - Récepteur de freinage pour pont arrière	42
Figure 2.17 - Le régleur de jeux	43
Figure 2.18 - Principe de fonctionnement d'un frein à disque	44
Figure 2.19 - Frein à tambour et ses composants.	45
Figure 2.20 - Soupape de desserrage rapide	45
Figure 2.21 - Manomètre d'air comprimé	46
Figure 2.22 - Manomètre de pression de freinage	47
Figure 2.23 - Circuit de freinage avec système ABS.	49
Figure 3.1 - L'électrovalve et ses composants	52
Figure 3.2 - Le capteur	53
Figure 3.3 - La valve relais	54
Figure 3.4 - Circuit avec soupape de desserrage rapide.	55

Figure 3.5 - Circuit avec valve relais	55
Figure 3.6 - Support frein.	56
Figure 3.7 - Support capteur.	57
Figure 3.8 - Roue dentée.....	57
Figure 3.9 - Douille	58
Figure 3.10 - Moyeu avant usinage.	58
Figure 3.11 - Moyeu après usinage.	58
Figure 3.12 - Support capteur (pont arrière).	59
Figure 3.13 - Support couronne	59
Figure 3.14 - Couronne.	60
Figure 3.15 - Support frein (pont arrière).	60
Figure 3.16 - Schéma du système électronique ABS.....	61
Figure 3.17 - Schéma du principe de la régulation	62
Figure 3.18 - Schéma d'installation du système ABS.....	63

Nomenclature:

I_n [kg m ²]	Moment d'inertie d'une pièce.
I_n' [kg m ²]	Moment d'inertie du frein lié à la pièce.
ω [rd/s]	Vitesse angulaire de la pièce.
ω_n [rd/s]	Vitesse angulaire du frein.
ρ_n	Vitesse angulaire du frein / Vitesse angulaire de la pièce
m [kg]	Masse tournante.
D [m]	Diamètre de la roue tournante.
V [m/s]	Vitesse du véhicule.
v [m/s]	Vitesse du véhicule.
s_f [m]	Distance de freinage.
t_f [s]	Temps de freinage.
μ	Coefficient de frottement Roue /Sol.
γ [m/s ²]	La décélération.
$R_{moy f}$ [N]	Résistance due aux frottements.
$R_{moy p}$ [N]	Résistance due à la pente.
$R_{moy r}$ [N]	Résistance au roulement.
$R_{moy a}$ [N]	Résistance d'aérodynamisme.
E_c [J]	Energie cinétique.
M [kg]	Masse du véhicule.
E_g [J]	Energie de giration.
ω [rd/s]	Vitesse angulaire de la roue
g [N/kg]	La gravité.
f_{moy}	Coefficient de frottement.
λ [°]	Angle de pente.

f_r	Coefficient de frottement due au roulement.
ρ [kg/m ³]	Masse volumique de l'air.
C_x	Coefficient de forme.
S [m ²]	Surface frontale.
v_f [m/s]	Vitesse du véhicule.
v_v [m/s]	Vitesse frontale du vent.
W_f [J]	Travail de freinage.
F_f [N]	Force de freinage.
P_{\max} [W]	Puissance de freinage maximale.
C_f [Nm]	Couple de freinage.
ω_{\max} [rd/s]	Vitesse angulaire maximale.
P_{moy} [W]	Puissance de freinage moyenne.
Δt [s]	Temps mort.
\vec{N} [N]	Effort normal sur le disque.
μ	Coefficient de friction Patin / Disque.
p [bar]	Pression sur les freins.
\vec{T} [N]	Effort tangentiel sur disque.
C_1 [Nm]	Couple de frottement.
R_m [m]	Rayon moyen.
R_a [m]	Rayon d'action.
α [°]	Angle d'action des freins.

INTRODUCTION GENERALE

Afin de limiter le nombre de morts causés par les accidents routiers et qui ne cesse d'augmenter, nous allons étudier, dans ce sujet, l'adaptation du système ABS sur un véhicule industriel disposant d'un freinage classique.

Il est évident qu'il est indispensable pour un conducteur de pouvoir arrêter son véhicule ou en ralentir la vitesse dans certains cas. Cet arrêt ou ce ralentissement doit être rapide, s'il présente un obstacle imprévu, il peut être progressif et se prolonger dans le cas de descente d'une cote, par exemple.

Il est nécessaire également qu'à l'arrêt, le véhicule puisse être immobilisé de façon sûre et permanente afin qu'il ne se mette en mouvement de lui-même. En outre, sur les poids lourds qui sont équipés de dispositifs pneumatiques de freinage, les règlements exigent le montage d'un frein secours.

Toutes ces conditions sont réalisées par des organes de freinage, dont le principe consiste à mettre en contact étroit des organes solidaires aux roues avec des organes ne dépendant pas du système de transmission.

Alors afin d'optimiser le freinage d'un véhicule industriel, on opte pour l'installation du système ABS sur ce dernier. Et ça bel et bien pour apporter un surplus de sécurité au véhicule et aider le conducteur à bien contrôler son véhicule dans des conditions difficiles.

Dans la première partie de ce travail, nous présentons tous les principes de base concernant l'action des freins, leurs calculs et leurs caractéristiques.

Dans la deuxième partie, nous définissons le système de freinage pneumatique, où nous présentons ses types, son fonctionnement et ses aspects techniques.

Dans le troisième volet, nous entamons une étude sur les dispositifs antiblocage ABS (Antilock Braking System), ensuite, nous nous intéressons au fonctionnement du circuit de freinage par ordre chronologique, de l'ancien, sans système ABS, au nouveau équipé avec. On verra aussi les modifications qu'il faut faire et les pièces à ajouter afin d'équiper notre véhicule d'un système ABS.

Dans la dernière partie de ce projet, nous abordons l'aspect économique et sécuritaire du système ABS qui reste primordial pour être concurrentiel.

Enfin, et sous forme d'une conclusion, nous essayons de mettre en évidence les avantages qu'offre un circuit de freinage équipé par un système ABS en termes de performances et de sécurité.

CHAPITRE 1

THEORIE DE FONDEMENT SUR LE FREINAGE

1.1. Généralités sur le Freinage

Quel que soit le système de freinage et son emploi, un frein absorbe une énergie mécanique extérieure pouvant être soit une énergie potentielle due à la gravité (cas des appareils de levage), soit une énergie cinétique (cas des véhicules), soit les deux à la fois (cas, par exemple, d'un véhicule lancé abordant une descente). L'énergie mécanique absorbée est restituée par le frein sous une autre forme qui dépend du système de freinage considéré.

Nous nous limiterons à l'étude des freins transformant l'énergie mécanique en chaleur par frottement de deux solides car ce sont les plus répandus et les plus économiques pour assurer la fonction de freinage : le ralentissement ou l'arrêt de la machine ou de l'appareil en mouvement est dû à la résistance de frottement engendrée dans un organe de friction, par la pression d'un corps contre la jante d'un rotor en mouvement. [1]

Nous ne saurions trop insister sur l'importance du freinage et sur le soin que l'on doit apporter à la détermination des freins. Dans le prix d'une installation, les dispositifs de freinage entrent pour une faible part et, cependant, ils conditionnent à la fois la sécurité et la souplesse de conduite de l'appareil. Ils sont un élément de jugement du sérieux de la construction.

1.1.1. Fonction

Un frein est un transformateur d'énergie destiné à ralentir (frein de ralentissement) ou à arrêter complètement le mouvement d'un engin (frein d'arrêt).

Le tableau 1 donne le principe des systèmes de freinage courants.

Mode de transformation	Energie transformé	Applications
Frottement solide	Energie calorifique	Freins de ralentissement et d'arrêt
Frottement liquide	Energie calorifique	Freins de ralentissement et d'arret
Création de courant de Foucault	Energie électrique transformé	Freins de ralentissement
Création d'énergie électrique par dynamo	Energie électrique récupérée	Freins de ralentissement
Transformation thermodynamique	Energie calorifique	Freins de ralentissement
Transformation par création de fluide	Energie potentielle (accumulateurs)	Freins de ralentissement

Tableau 1- Systèmes de freinage courants pour une transformation d'énergie mécanique [1]

Un organe de friction est essentiellement un transformateur d'énergie en chaleur. Le rotor du frein emmagasine et disperse la plus grande partie de la chaleur produite : c'est donc par le calcul des dimensions du rotor qu'il faudra aborder le problème. De plus, le choix des dimensions du rotor est soumis à des conditions faisant intervenir la nature du métal de friction du rotor et celle de la garniture de frein frottant sur le rotor les propriétés d'un frein sont caractérisées par les grandeurs suivantes : [1]

— L'effort de commande est la force maximale constante exercée par l'opérateur sur l'organe de commande du frein au cours du freinage.

— La course de commande est le déplacement de l'organe de commande du frein, de la position de repos à la position de freinage.

— L'indice de commande d'une installation de freinage est le produit de l'effort par la course de commande. Cet indice, homogène à une énergie, caractérise la valeur de l'installation de freinage comprenant le frein proprement dit et la transmission.

— L'efficacité d'un frein (souvent appelée puissance d'un frein) est le rapport du couple de freinage à l'indice de commande.

1.1.2. Classification des freins

Les freins peuvent être classés suivant deux paramètres :

— d'après la forme de l'organe de friction utilisé :

- freins à sabots (rotor cylindrique ou rotor à gorge),
- freins coniques (rotor conique ou rotor à gorge),
- freins à enroulement (ou à bandes) (rotor cylindrique),
- freins à mâchoires (rotor-tambour cylindrique),
- freins à disques (cas particulier des freins coniques d'angle au sommet égal à 180°).

— d'après le mode de fonctionnement :

- freins à commande réversible sans blocage (fonctionnant à la main, au pied, etc.).
- freins à encliquetages non automatiques (fonctionnant à la main, au pied, électromagnétiques, etc.).
- freins à encliquetages automatiques (freins actionnés par la charge et utilisant la poussée axiale d'une vis) ; ces freins peuvent être coniques ou à lames.
 - freins à sabots ou à bandes actionnés par la force centrifuge.

1.1.3. Conditions à respecter pour les freins

1.1.3.1. Conditions d'installation

Les rotors de freins doivent être installés, autant que possible, sur l'arbre de commande (arbre tournant à grande vitesse) ou, si cet arbre est susceptible de se déplacer, sur l'arbre intermédiaire le plus voisin, afin de diminuer l'effort tangentiel, c'est-à-dire travailler avec un couple minimal. Les freins doivent être disposés aussi près que possible de l'endroit où se produit l'effort qu'ils combattent, en évitant que la résistance du frein ne soit transmise par un arbre (ce qui le fatigue beaucoup), ou par des engrenages (ce qui risque de les détériorer). C'est pourquoi pour des véhicules routiers, par exemple, le meilleur emplacement se trouve au niveau de la roue. [1]

Les freins doivent être accessibles pour faciliter leur entretien. Dans le cas des freins à bandes par exemple, les bandes souffrent beaucoup d'être souvent ouvertes lors du montage et du démontage ; il y a donc avantage à monter, si possible, le frein en porte à faux sur son arbre. Dans l'encombrement disponible, il faut toujours prévoir le dégagement latéral de la bande.

Enfin, la disposition du frein doit être telle que les calories dégagées lors de son fonctionnement soient facilement évacuées.

1.1.4. Qualités des freins

On demande à un frein :

- l'efficacité ;
- la régularité du couple de freinage ;
- le silence lors du fonctionnement ;
- un faible indice de commande ;
- des réglages aussi espacés que possible ou bien pas de réglage grâce à un dispositif automatique ;
- une construction facile ;
- un entretien facile ;
- un bas prix de revient correspondant au genre de construction de la machine.

Ces qualités s'opposent l'une à l'autre et il faut établir, entre elles, un compromis en fonction du but à atteindre. Un frein, s'il doit être efficace, ne doit pas l'être trop sous peine de désordres graves, tels qu'une fatigue exagérée des mécanismes et des supports par suite de l'action brusque et presque instantanée du freinage, des oscillations, des enrayages des galets de roulement, etc. Un frein efficace est un frein qui fournit un couple de freinage donné pour un faible indice de commande.

La régularité du couple (ou de l'effort) de freinage peut être due, soit à la faible variation du couple de freinage lorsque le coefficient de frottement de la garniture vient à varier, soit à une réponse du frein par un couple de freinage aussi proche que possible de la proportionnalité à l'effort de commande exercé. [1]

Nous verrons qu'efficacité et régularité sont antagonistes. Le principe du frein est un élément déterminant de la corrélation efficacité-régularité. Les dispositions particulières de la timonerie et l'indice de commande peuvent influencer défavorablement sur la régularité.

L'indice de commande est fonction du jeu fonctionnel, de la rigidité de la commande, de la compressibilité de la garniture de friction, de la déformation du rotor, de la dilatation du rotor (dans les freins à tambour) sous l'influence de la chaleur développée par le frottement et, pour certains types de freins, de l'usure normale de la garniture pendant une période donnée (donc de la fréquence des réglages de rattrapage d'usure).

La dilatation du rotor dépend de son diamètre. Aussi, pour comparer entre eux les divers types de freins, il est nécessaire de les rapporter à un rotor type (par exemple, 500 mm de diamètre effectif) et à un effort de freinage tangentiel type de 1 000 N (ce qui délivrera un couple de 250 N.m). Il est bien entendu que la comparaison de deux freins ne peut se faire qu'en mettant à part le dispositif de commande (les flexions des timoneries peuvent allonger les courses à chaque relais ou les différents organes d'un circuit hydraulique de commande peuvent avoir des dilatations variables sous pression ce qui est ressenti dans la course de commande). [1]

1.1.5. Influence du rendement des transmissions mécaniques de la machine

Dans ce paragraphe, on étudiera l'influence du rendement des transmissions mécaniques de la machine sur le choix du couple de freinage et de l'inertie du rotor de frein. Il ne faut pas oublier que tous les organes de transmission constituent eux-mêmes un frein qui absorbe une

certaine énergie, soit lorsque le moteur entraîne la machine, soit lorsqu'il est entraîné par elle au moment du freinage. Le frein moteur agit alors comme servocommande du frein intérieur que constitue la mécanique elle-même. [2]

Avec une transmission par engrenages cylindriques ou coniques, le rendement dépasse rarement 0,85 dans le sens moteur et 0,81 dans le sens récepteur. L'action de ce frein intérieur n'est donc pas prépondérante (véhicule routier, par exemple).

Il n'en est pas de même lorsque la réduction est à vis sans fin de rapport élevé : celle-ci absorbe alors la majeure partie du travail de freinage et le frein moteur ne fournit plus qu'un appoint régulateur conditionnant la durée de l'opération. Si le réducteur est irréversible, l'inertie de l'arbre moteur doit lui fournir l'appoint de couple nécessaire pour que le freinage ne soit pas instantané. De plus, le rendement d'une transmission à vis n'est pas constant : il s'améliore avec le rodage et diminue ensuite avec l'augmentation de l'usure ; il est sensible à la qualité du lubrifiant et à la température de fonctionnement. [2]

Dans ce cas, le couple exercé par le frein sera donc plus faible que dans le cas d'une transmission par engrenages et, pour diminuer l'effet des variations de rendement de la transmission à vis, il faudra augmenter l'inertie de l'arbre moteur (souvent dans de fortes proportions) en utilisant un rotor de frein plus lourd.

De plus, comme il est nécessaire d'assurer un couple de freinage variable au gré du conducteur, il est indispensable de prévoir une commande proportionnelle de type électro-aimant à intensité variable ou commande mécanique directe.

1.2.Le freinage et ses caractéristiques

1.2.1. Description du freinage

Pour ramener au repos un corps en mouvement, on doit absorber l'énergie mécanique qu'il a emmagasinée et la transformer en chaleur par frottement dans le frein.

Le travail de frottement est dû :

— à l'action de la pesanteur sur la masse manœuvrée, qui provoque un couple, appelé couple de gravité ; ce couple agit positivement à la descente et négativement à la montée. Le rendement de la transmission diminue l'effet du couple de gravité à la descente et l'augmente à la montée,

— à l'action des résistances passives, provenant des frottements en divers points, qui donnent un couple de résistances passives ; ce couple vient toujours en aide au couple de freinage (pour les véhicules routiers, il est introduit par la résistance au roulement, la résistance aérodynamique et par le frein moteur).

— à l'énergie cinétique comprenant la force vive de la charge animée d'une vitesse v , soit $mv^2 / 2$, et celle de l'ensemble des masses tournantes m , d'inertie $I = mD^2 / 4$ et de vitesse angulaire ω , soit $\Sigma I\omega^2 / 2$.

Le couple cinétique correspond à l'ensemble de ces énergies cinétiques ; il agit toujours positivement.

Toutes les énergies cinétiques partielles doivent être ramenées à l'arbre du frein. On sait que, si une pièce d'inertie I_n tourne autour d'un arbre avec une vitesse angulaire ω_n tandis que le rotor de frein tourne avec la vitesse angulaire ω , la pièce équivalente sur l'arbre du rotor aura un moment d'inertie I_n' tel que :

$$I_n' \omega^2 = I_n \omega_n^2$$

D'où

$$I_n' = I_n (\omega_n^2 / \omega^2) = I_n \rho_n^2 \quad (1)$$

En désignant par ρ_n le rapport de démultiplication entre la pièce considérée et le rotor de frein.

Dans le cas où il y aurait multiplication de rapport ρ'_n , on devrait écrire :

$$I_n' = I_n (1/\rho'_n)^2 \quad (2)$$

L'inertie de la charge peut également être rapportée à la vitesse angulaire du rotor de frein, en tenant compte, s'il y a lieu, de la démultiplication du mouflage :

$$I' = m \rho_1^2 r^2 \quad (3)$$

Avec ρ_1 : produit du rapport de démultiplication du rotor de frein par le rapport de mouflage (1 pour action directe, n pour mouflage de n brins). [2]

Dans le cas des véhicules roulants, ce sont des considérations de distances d'arrêt et la valeur de l'accélération négative (décélération) qui entrent en ligne de compte pour déterminer le couple de freinage, en même temps que les conditions de transmission et d'évacuation de la chaleur produite par le frottement.

1.2.2. Grandeurs caractéristiques du freinage

1.2.2.1. Distance, durée et accélération de freinage

1.2.2.1.1. Mouvement de translation

- **1er cas (simple):** Seule l'énergie cinétique intervient. En admettant que l'accélération négative (décélération) γ produite par le freinage soit constante au cours du coup de frein, la distance de freinage s_f est donnée par :

$$s_f = \frac{1}{2} v t_f = \frac{1}{2} \gamma t_f^2 \quad (4)$$

Pour une estimation rapide de cette distance, l'abaque de la figure a été établi, permettant une lecture directe. La décélération est égale à :

$$\gamma = \frac{2 s_f}{t_f^2} \quad (5)$$

Et la durée de freinage :

$$t_f = \frac{2 s_f}{v} = \sqrt{\frac{2 s_f}{\gamma}} \quad (6)$$

- **2ème cas (plus complexe) :** Il est nécessaire de prendre en compte d'autres éléments que l'énergie cinétique pure. On doit considérer l'inertie des pièces tournantes, la possibilité de pente, la résistance au roulement, la pénétration dans l'air :

$$s_f = \frac{\sum E (\text{énergie})}{\sum R (\text{résistance})}$$

$$s_f = \frac{E_{\text{cinétique}} + E_{\text{giration}}}{R_{\text{moy.f}} + R_{\text{moy.p}} + R_{\text{moy.r}} + R_{\text{moy.a}}}$$

$R_{\text{moy f}}$	frottement.
$R_{\text{moy p}}$	\pm pente.
$R_{\text{moy r}}$	roulement.
$R_{\text{moy a}}$	\pm aérodynamisme.

*Energie cinétique

$$E_c = \frac{1}{2} M v^2$$

Avec « M » masse du véhicule

*Energie de giration

Dans le cas d'un véhicule routier et pour un pneumatique monté sur une jante, on pourra faire une approximation sur le rayon, en prenant le rayon moyen r_{moy} égal à 0,7 fois le rayon sous charge r_c . [2]

Avec $I = m r_{\text{moy}}^2$ et $\omega = \frac{v}{r_c}$, on obtient l'énergie de giration E_g :

$$E_g = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} m r_{\text{moy}}^2 \omega^2$$

Qui donne en sachant que $r_{\text{moy}}^2 \approx \frac{1}{2} r_c^2$: $E_g = \frac{1}{4} m v^2$

Soit pour les 4 roues du véhicule :

$$E_g = m v^2$$

L'énergie de giration qui est généralement prise en compte n'incorpore que les roues et on néglige celle correspondant au volant moteur, aux pignons de boîte, aux arbres, au différentiel.

***Résistances**

$$\sum R_{moy} = R_{moy.f} + R_{moy.p} + R_{moy.r} + R_{moy.a}$$

****Pente**

Avec λ angle de pente et f_{moy} coefficient fonction de tous les paramètres (frottement, roulement, aérodynamique), on a :

$$R_{moy.p} = mg \cos\lambda f_{moy}$$

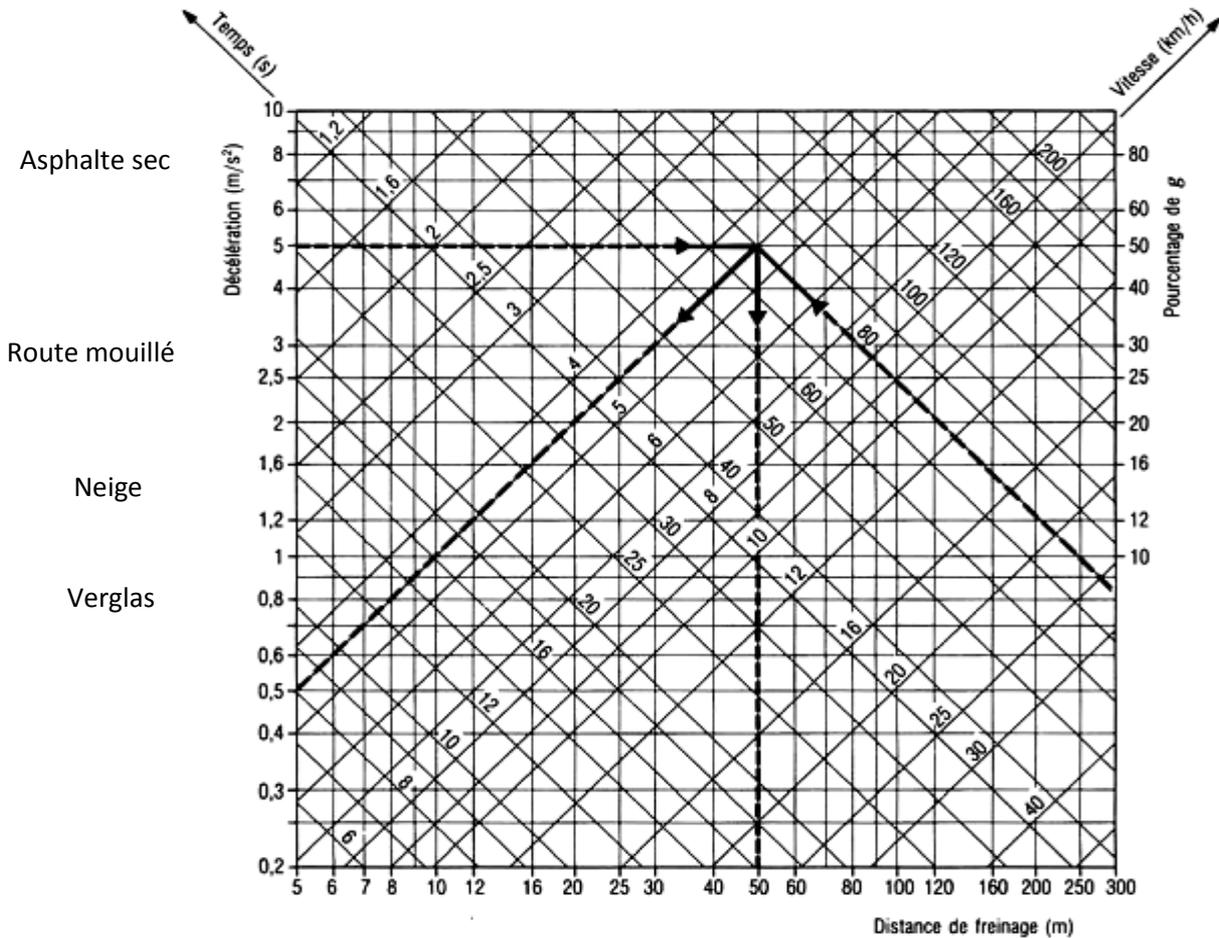
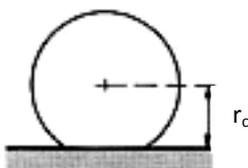


Figure 1.1- Abaque de calcul de distance de freinage en fonction de vitesse et de décélération[1]

****Roulement**

Pour un véhicule routier, la résistance au roulement est due au plat formé par un pneumatique sur la route



$$R_{moy.r} = mg \cos\lambda f_r \quad [N]$$

Avec f_r coefficient de résistance au roulement.

Une formule approchée donne les valeurs suivantes :

- pneu basse pression..... $f_r = 0,03$
- pneu haute pression $f_r = 0,015$
- lors du démarrage pour pneu haute pression $f_r = 0,02$
- en tout terrain..... $f_r = 0,15$

Pour un calcul plus précis de la résistance au roulement, on peut appliquer la formule générale d'Andreau :

$$R_{moy.r} = 0,001 \text{ m} \cos\lambda \text{ } 2g \left[\frac{-10}{p^{0,64}} - \frac{V^{3,7}}{7375,8 \times 10^3 p^{2,08}} \right]$$

Avec V vitesse du véhicule (en km/h) et p pression du pneu (en bar).

Pour des vitesses entre 20 et 150 km/h et des pressions entre 0,9 et 10 bar, cette formule est bien adaptée.

En dehors de ces limites, la formule DIN (Deutsches Institut für Normung) peut être utilisée :

$$R_{moy.r} = 2 \text{ m} \cos\lambda \text{ } g \left(0,005 + \frac{0,010 \text{ } 545}{p} + \frac{0,475 \cdot 10^{-6} V^2}{p} \right)$$

Avec V en km/h et p en bars.

****Aérodynamique** : la résistance aérodynamique est donnée par

$$R_{moy.a} = \frac{\rho}{2} c_x S (v_f \pm v_v)^2$$

Avec : C_x coefficient de forme, égal à :

0,3 à 0,4 sur voiture

0,5 à 0,6 sur camionnette

S (m^2) surface frontale ;

En première approche, pour un véhicule routier de tourisme, on peut prendre :

$$S = 0,8 \times \text{hauteur} \times \text{largeur}$$

V_f (m/s) vitesse du véhicule,

V_v (m/s) vitesse frontale du vent (positive ou négative),

ρ masse volumique de l'air ($\rho = 1,202$ kg/m³ à une altitude de 200 m).

Très souvent, on emploie la notion de S_{cx} qui associe les paramètres de forme du véhicule.

1.2.2.2. Travail et puissance de freinage

Dans un mouvement de translation, le travail de freinage W_f est le produit de la distance de freinage s_f par l'effort de freinage F_f :

$$W_f = F_f s_f \quad (7)$$

L'énergie cinétique absorbée pendant le coup de frein comprend le travail dû aux frottements :

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2 = (R + F_f) s_f \quad (8)$$

Formule dans laquelle R est la résistance due aux frottements.

Dans un mouvement de rotation, le travail de freinage pendant un cycle d'opérations est donné par :

$$W_f = C_f \lambda \quad (9)$$

Avec α (rad) parcours angulaire total.

La puissance de freinage pendant le coup de frein est maximale pour la vitesse angulaire maximale :

$$P_{\max} = C_f \omega_{\max} \quad (10)$$

La puissance moyenne de freinage pendant le coup de frein uniforme est égale à la moitié de la puissance maximale de freinage :

$$P_{\text{moy}} = \frac{1}{2} P_{\max} \quad (11)$$

La puissance moyenne générale de freinage, pendant un cycle de durée t_0 (s) au cours duquel il se produit un certain nombre de coups de frein d'une durée totale de η secondes, est égale

au produit de la puissance moyenne par le rapport de la durée totale des coups de frein à la durée du cycle :

$$P(t_0) = P_{\text{moy}} \frac{\eta}{t_0} \quad (12)$$

Pour les pièces tournantes, la puissance maximale de freinage s'exprime en fonction du moment d'inertie I des masses tournantes et de la durée de freinage t_f par :

$$P_{\text{max}} = \frac{I \omega_{\text{max}}^2}{2 t_f} \quad (13)$$

1.2.2.3. Rôle de l'inertie des corps en mouvement

Le début de ce paragraphe a montré que l'inertie, caractérisée par la masse m pour les corps en mouvement de translation, ou par le moment d'inertie I pour les corps en mouvement de rotation, est proportionnelle à l'énergie mécanique qu'il faut absorber pour ramener le corps au repos. L'inertie est donc toujours nuisible, sauf dans le cas où elle régularise la vitesse et la course de freinage : ce sera, par exemple, le cas pour les monte-charges ou les ascenseurs.

Pour les appareils de levage, les pièces tournantes et la charge ne représentent qu'un très faible pourcentage de l'inertie de l'arbre moteur et des pièces que ce dernier porte directement. Mais, dans les mécanismes d'orientation et de translation, c'est au contraire l'inertie des pièces en mouvement qui a la prépondérance.

La prise en considération des effets d'inertie est d'autant plus indiquée que, pour les grandes vitesses, la force centrifuge intervient encore pour ajouter au freinage des tensions supplémentaires à celles, déjà considérables parfois, supportées par le métal constituant les organes sollicités. [1]

1.2.2.4. Efforts, couples, puissances et travaux au cours du cycle opératoire

1.2.2.4.1. Principe du calcul

En général, on se donne un couple de freinage supérieur au couple nominal du moteur pour les mouvements de déplacement (direction, translation, orientation d'un appareil de levage). Dans le cas du levage, il est nécessaire de majorer le couple de freinage d'autant plus fortement que le moteur est plus puissant et que la vitesse de levage est plus élevée.

Pour les véhicules roulants, on se donne plutôt la longueur d'arrêt et l'accélération négative de freinage. Le calcul est effectué avec des valeurs de décélération de $9,81 \text{ m/s}^2$ pour les véhicules routiers. En utilisant les relations (4) à (6), on peut calculer les accélérations, temps et parcours de freinage. [1]

On calcule les inerties des diverses pièces de la machine, et on examine les différentes phases du cycle d'opérations pour déterminer le travail total de freinage (somme des divers travaux de frottement durant le cycle d'opérations) et la puissance moyenne de freinage.

Au contraire, pour les mécanismes de déplacement, on calcule l'inertie de la masse entraînée, qui est généralement plus grande que celle de l'arbre moteur, en majorant cette inertie de 3 % (pour un avant-projet) que l'on ajoute à l'inertie de la masse déplacée.

1.2.2.4.2. Cas des freins de translation

Pour le cas des véhicules routiers, l'objectif est d'atteindre une décélération et d'assurer le freinage dans une distance minimale.

Généralement, le calcul sera effectué en dissipant la totalité de l'énergie par frottement, les résistances passives intervenant dans le sens de « l'allègement » de l'énergie dissipée par frottement.

1.3. Base de calcul du dimensionnement

1.3.2. Exemples numériques

1.3.2.1. Véhicules roulants

Ce sont des considérations de distances d'arrêt et la valeur de l'accélération négative (décélération) qui entrent en ligne de compte pour déterminer le couple de freinage, en même temps que les conditions de transmission et d'évacuation de la chaleur produite par le frottement.[5]

*Données du véhicule

Masse : $m = 1\,500 \text{ kg}$.

Vitesse : $V = 130 \text{ km/h}$.

Décélération : $\gamma_a = 6 \text{ m/s}^2$.

*Puissance moyenne de freinage

La puissance moyenne nécessaire pour absorber l'énergie cinétique est :

$$P = \frac{m v^2}{2 t} = \frac{m V \gamma_a}{2 \times 3,6}$$

$$\text{Avec } t = \frac{v}{\gamma_a} \text{ et } v \text{ (m/s)} = \frac{V(\text{km/h})}{3,6}$$

*Quantité de chaleur à évacuer

La quantité de chaleur engendrée pendant le freinage est :

$$Q = \frac{m v^2}{2 \times 4,185} = \frac{m V^2}{2 \times (3,6)^2 \times 4,185} \quad [\text{cal}]$$

*Distance d'arrêt

Avec : v vitesse du véhicule à l'origine, le temps qui s'écoule jusqu'à l'arrêt complet du véhicule est :

$$t = \frac{v}{\gamma}$$

Et la distance parcourue pendant ce temps est :

$$S_f = \frac{v^2}{2 \mu g}$$

Avec μ pourcentage de g dans la décélération ($\gamma = \mu g$).

La distance d'arrêt est donc indépendante de la masse du véhicule ; elle augmente avec la vitesse et avec le temps de freinage qui croît lui-même avec la vitesse.

Nota : à 50 km/h, il faut une distance 4 fois plus importante pour s'arrêter qu'à 25 km/h.

À 100 km/h, il en faut 16 fois plus.

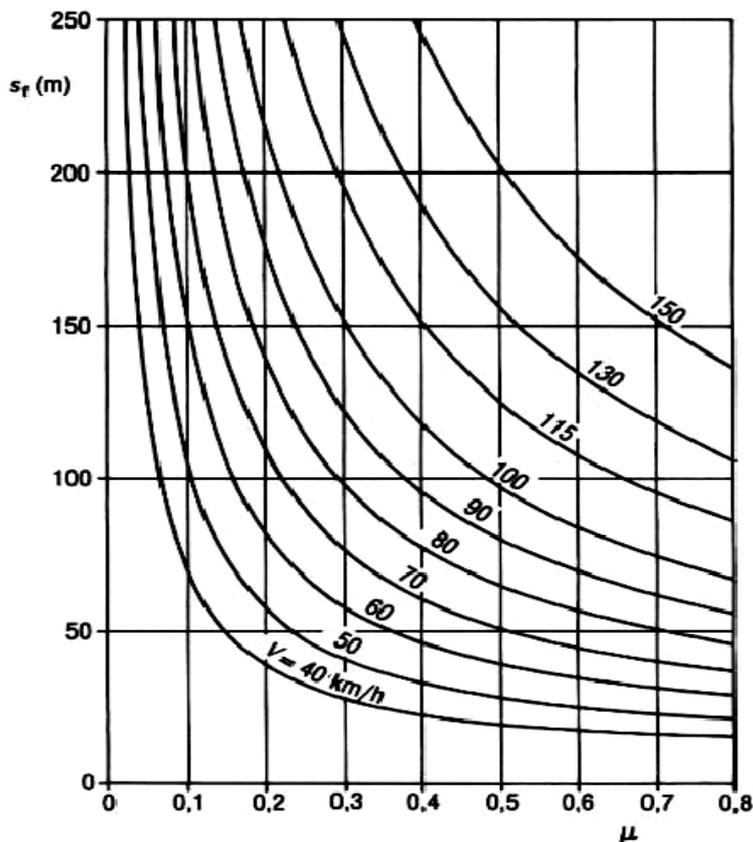
Un autre facteur est souvent oublié : le temps mort entre le moment où surgit l'obstacle et le moment où l'action des freins se trouve opérationnelle. On peut estimer ce temps mort Δt à une moyenne de 0,6 s. La distance d'arrêt réelle devient alors :

$$S_f = \frac{v^2}{2\gamma} + v \cdot \Delta t$$

L'abaque de la figure 2 donne les distances d'arrêt en fonction de la vitesse et du coefficient μ pour une valeur Δt de 0,6 s. La connaissance des distances d'arrêt minimales permet de se fixer la vitesse maximale pour une longueur libre de route donnée.

Une vitesse de 120 km/h exige sur bonne route ($\mu = 0,6$) environ 115 m de « champ libre » (95 m si l'on ne tient pas compte du temps mort, figure).

(Tenant compte du temps mort $\Delta t = 0,6$ s)



$$S_f = \frac{V^2}{2\mu g} + 0.6 V \text{ avec } V \text{ en m/s}$$

Figure 1.2 – Abaque de calcul de la distance d'arrêt du véhicule [1]

1.4. Calcul des freins à disques

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 \vec{N} , la résultante des actions normales du disque sur le patin sera $+\vec{N}$. [2]

Considérons une surface élémentaire du patin ds entourant un point P situé à une distance r de l'axe de rotation. Nous avons :

$$ds = r dr d\beta$$

Soit : μ le coefficient de friction de la garniture ;

p la pression spécifique sur la surface élémentaire considérée comme uniforme, l'élément de garniture ds est soumis à l'effort tangentiel :

$$dT = \mu pr dr d\beta$$

Et au couple de moment :

$$dC = r dT = \mu pr^2 dr d\beta$$

1.4.1. Actions tangentielles sur le patin : couple, résultante

Soit R_1 le rayon intérieur du disque, R_2 son rayon extérieur et α l'angle définissant le secteur du disque correspondant au patin utilisé.

Le couple C_1 appliqué sur le patin est donné par :

$$C_1 = \int_{R_1}^{R_2} \int_{-\alpha/2}^{\alpha/2} \mu pr^2 dr d\beta = \int_{R_1}^{R_2} \mu pr^2 \alpha dr \quad (14)$$

L'effort tangentiel \vec{T} agissant sur le patin se décompose sur les axes x et y en :

$$T_x = \int_{R_1}^{R_2} \int_{-\alpha/2}^{\alpha/2} \mu pr \sin\beta dr d\beta = \left[\int_{R_1}^{R_2} \mu pr dr \right] [\cos\beta]_{-\alpha/2}^{\alpha/2} \quad (15)$$

D'où T_x est nul, le patin étant symétrique :

$$T_y = \int_{R_1}^{R_2} \int_{-\alpha/2}^{\alpha/2} \mu pr \cos\beta dr d\beta = 2 \int_{R_1}^{R_2} \mu pr \sin \frac{\alpha}{2} dr \quad (16)$$

1.4.2. Rayon d'action du frein

Le couple C_1 appliqué au patin doit être égal au moment de T_y par rapport à l'axe passant par le centre du disque, d'où :

$$C_1 = T_y R_a$$

Soit

$$R_a = \frac{C_1}{T_y} \quad (17)$$

Avec R_a rayon d'action du frein.

Après intégration de (23) et (25), on trouve :

$$R_a = \frac{\alpha}{3 \sin \frac{\alpha}{2}} \frac{(R_2^3 - R_1^3)}{(R_2^2 - R_1^2)} \quad (18)$$

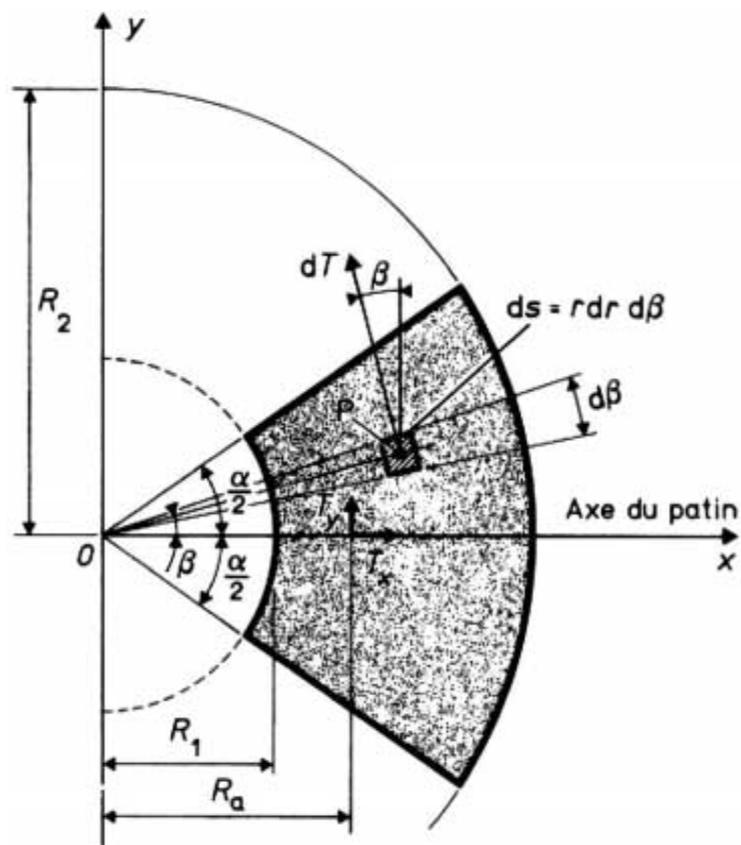


Figure 1.3 – Élément d'un patin ds soumis à l'effort tangentiel dT [2]

1.4.3. Couple de freinage

Le couple total C appliqué sur les deux faces du disque est :

$$C = 2C_1 = 2 \mu N R_a \quad (19)$$

Avec N effort normal appliqué à chaque plaquette.

On peut donc écrire :

$$C = \frac{4\mu N \alpha}{3 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) \left[1 - \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \right]$$

$$C = 2 \mu N K R_m \quad (20)$$

$$\text{Avec} \quad K = \frac{2 \alpha}{3 \sin \frac{\alpha}{2}} \left[1 - \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \right] \quad (21)$$

$$\text{Et} \quad R_m = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

1.4.4. Détermination des patins

1.4.4.1. Usure constante

Si l'on admet que l'usure est proportionnelle au travail, l'usure d'un élément ds , dont le centre P est à une distance r de l'axe de rotation, sera proportionnelle au travail de frottement qu'il reçoit.

Pour avoir une usure constante, il est nécessaire que le travail de frottement soit le même en tous points du patin :

$$dW/ds = Cte$$

$$dW/ds = v dT/ds = \mu r \omega \quad (22)$$

Avec :

v vitesse linéaire au droit de P ($v = \omega r$), ω vitesse de rotation du rotor,

μ coefficient de friction (supposé constant en tous points du patin),

D'où la condition pour assurer une usure constante :

$$p r = \text{Cte} = A \quad \text{ou} \quad p = \frac{A}{r} \quad (23)$$

En portant cette expression de p dans (14) et (16), on a le couple et l'effort tangentiel suivants :

$$C_1 = \int_{R_2}^{R_1} \mu A r \alpha dr = \left[\mu A \alpha \frac{r^2}{2} \right]_{R_1}^{R_2}$$

$$C_1 = \mu A \alpha \frac{(R_2^2 - R_1^2)}{2} \quad (24)$$

$$T_y = 2 \int_{R_2}^{R_1} \mu \alpha A \sin \frac{\alpha}{2} dr = 2 \mu \alpha A \sin \frac{\alpha}{2} [R_2 - R_1] \quad (25)$$

Ainsi que
$$R_a = \frac{C_1}{T_y} = \frac{\alpha}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \frac{R_1 + R_2}{2} = K_1 R_m \quad (26)$$

Avec
$$K_1 = \frac{\alpha}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (27)$$

D'où le couple total, avec K_1 calculé à usure constante :

$$C = 2 \mu N K_1 R_m$$

Exemple :

α	R_1/R_2	K d'après relation (21)	K_1 d'après relation (27)
25°	1,5	1,021	1,008
45°	1,5	1,040	1,012
45°	2,5	1,064	1,026

La valeur du couple déterminée à pression constante (K) et celle déterminée à usure constante (K_1) sont voisines tant que $R_2/R_1 < 2$, ce qui est en pratique toujours le cas.

Pour les véhicules automobiles, la valeur courante est $R_2 \approx 1,5 R_1$

1.4.4.2. Échauffement constant

Il est également souhaitable que tout élément ds du disque reçoive, au cours de son passage sur le patin, la même quantité de chaleur. Le disque s'échauffe alors régulièrement et se déforme moins. [2]

Soit un élément ds du disque, dont le centre P situé à une distance r de l'axe passe devant le patin pendant une rotation α et décrit donc pendant ce passage une course $r \alpha$. En supposant qu'il est soumis à la même pression unitaire pendant tout le trajet, l'élément ds reçoit l'énergie :

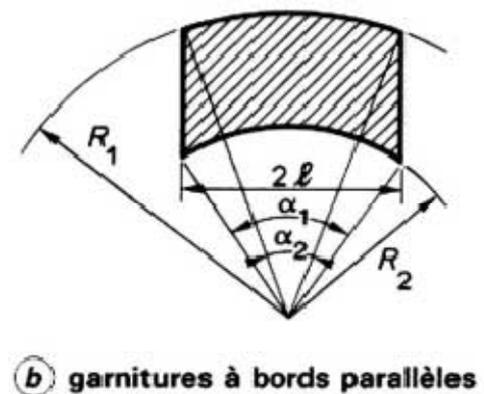
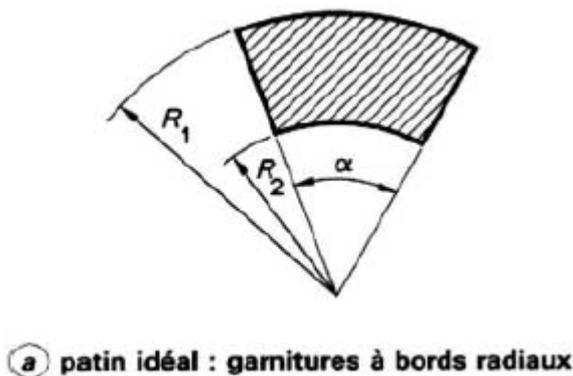
$$dw/ds = \mu p r \alpha \quad (28)$$

Le respect simultané des conditions d'usure constante et d'échauffement constant, relations (23) et (28), donne une troisième relation ($\alpha = Cte$).

Le patin idéal sera donc limité par deux arcs de cercle d'angle α (figure a).

On pourrait utiliser également un patin limité par deux cercles concentriques de rayons R_1 et R_2 et par deux droites parallèles à l'axe de symétrie et espacées de $2l$ (figure b), mais ce patin présenterait des pointes qui sont à éviter car, tout en fragilisant la garniture, elles apporteraient des points de surchauffe sur le disque.

Aussi, en pratique, pour augmenter au maximum la surface de garniture (durée de vie), on s'oriente vers une solution intermédiaire (figure c) avec le point d'application de l'effort \vec{N} confondu avec le centre de gravité, c'est-à-dire que l'on travaille à $p=Cte$.



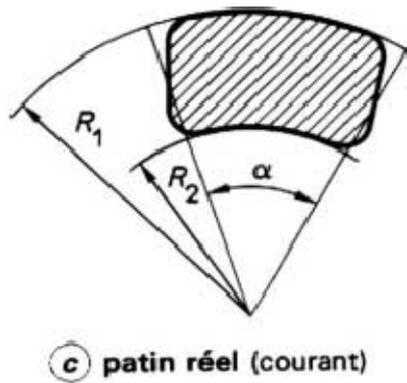


Figure 1.4 – Patins favorisant la constance d’usure et d’échauffement. [2]

1.4.4.3. Pression spécifique sur les patins

La valeur maximale de la pression spécifique moyenne (N/S) doit être comprise entre 55 et 65 bar pour un véhicule de tourisme, cette valeur pouvant aller jusqu’à 100 bar pour les poids lourds.

Compte tenu des formules (14) à (28), le projecteur devra prévoir une surface de friction compatible avec ces valeurs.

1.5. Coefficients d’adhérence

Béton sec:	0.75 à 0.85 pour un pneu neuf	0.95 pour un pneu usé.
Béton mouillé:	0.45 pour un pneu neuf	0.30 pour un pneu usé.
Goudron sec:	0.70 pour un pneu neuf	0.85 pour un pneu usé.
Goudron mouillé:	0.40 pour un pneu neuf	0.20 pour un pneu usé.
Boue et neige:	0.10 pour un pneu neuf	0.10 pour un pneu usé.
Verglas:	0.05 pour un pneu neuf	0.05 pour un pneu usé.

1.5.1. Glissement

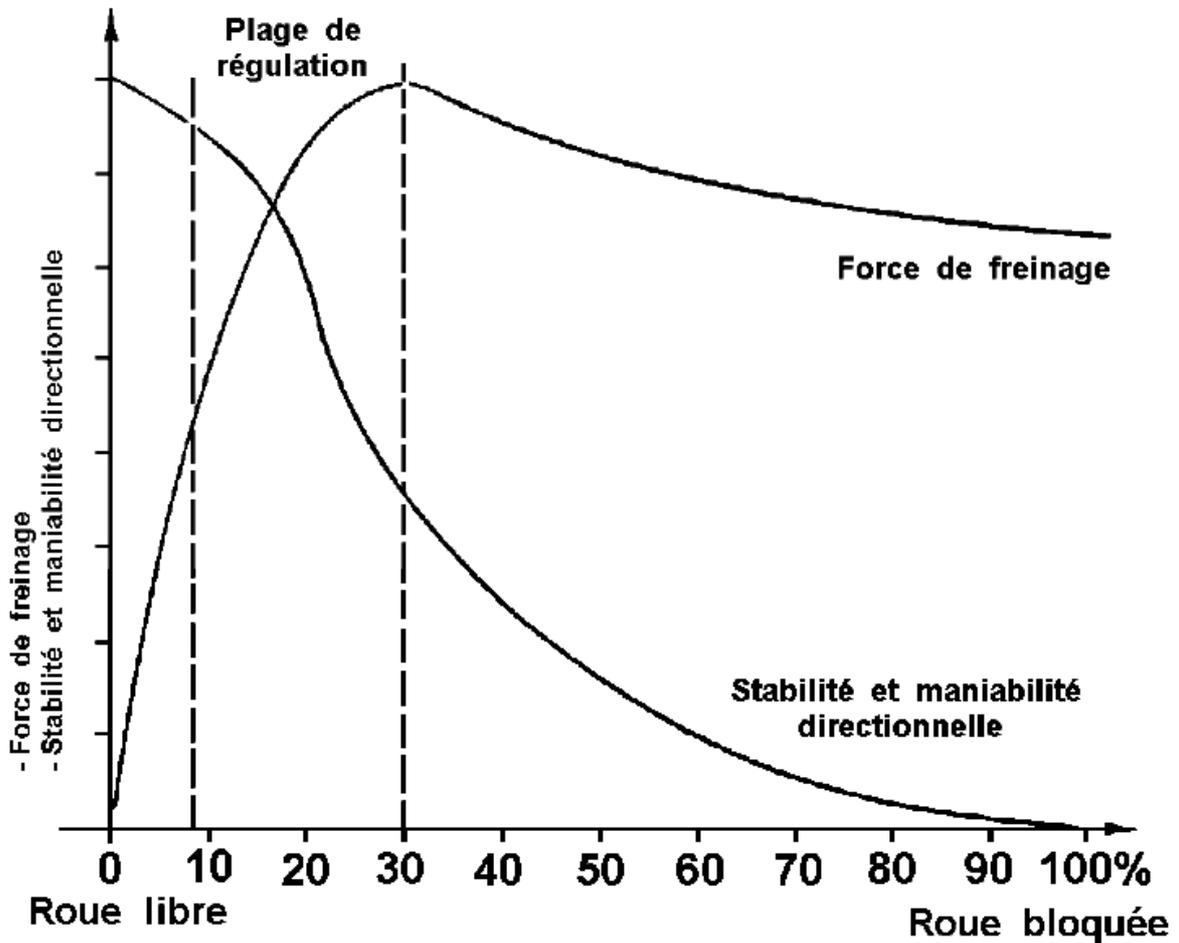


Figure 1.5 - Force de freinage, Stabilité et maniabilité directionnelle en fonction du coefficient de glissement de la roue. [4]

Remarque :

*Si la vitesse circonférentielle de la roue est inférieure à la vitesse du véhicule, on dit qu'il y a glissement de la roue par rapport au sol. Le glissement est égal à:

$$g_1 = \frac{(\text{vitesse du véhicule} - \text{vitesse de la roue}) \times 100}{\text{vitesse du véhicule}} \quad (29)$$

** Un glissement d'environ 20% donne un bon compromis entre la stabilité, la maniabilité directionnelle et la force de freinage.

1.6. But du freinage

Le système de freinage idéal doit être capable d'arrêter à tout moment un véhicule sur la distance la plus courte possible et le maintenir à l'arrêt.

Le Freinage devra donc répondre à plusieurs critères :

- * Efficacité : l'effort à appliquer sur la pédale sera faible, pour une puissance de freinage maximum;
- * Stabilité : le véhicule gardera sa trajectoire sans dérapage, ni tirage, ni déport, ni réaction dans le volant ;
- * Fidélité : pour un effort sur la pédale, on obtiendra toujours un même ralentissement ;
- * Confort : le freinage sera progressif, sans bruit, l'effort et la course à la pédale seront judicieux.

Il est possible de réaliser des systèmes de freinage remplissant toutes ces conditions et tous les systèmes actuels tendent vers ce but, mais ils ne sont que des compromis afin que leur prix demeure acceptable sur les véhicules de grande série. [1]

CHAPITRE 2

LE SYSTEME DE FREINAGE ET SES COMPOSANTS

2.1. Freins pneumatiques et freins hydrauliques

Les conducteurs de véhicules munis de freins pneumatiques doivent se rappeler que les véhicules ayant un système de freinage hydraulique réagissent et atteignent leur capacité de freinage plus rapidement que les freins pneumatiques.

Cette différence dépend de la faible compressibilité du liquide des freins hydrauliques et des dispositifs de réglage automatique; les pressions sont donc transmises aux freins des roues, ne nécessitant qu'un faible déplacement du liquide.

L'air étant très compressible et la plupart des freins pneumatiques n'étant pas munis de dispositifs de levier à réglage automatique, il faut que le volume d'air en provenance des réservoirs soit relativement plus élevé pour que s'accumule la pression nécessaire au fonctionnement des récepteurs de freinage.

2.1.1. Freins hydrauliques

Les freins ont fait de gros progrès durant les dernières décennies. Ainsi, les systèmes hydrauliques ont définitivement remplacé les freins à câble des premières automobiles. Notons que la commande par câble est encore utilisée pour les freins de parking, commandés à main, et pouvant servir de secours.[8]

2.1.1.1. Principe de fonctionnement

Voici le schéma de fonctionnement des freins hydrauliques universellement utilisés aujourd'hui.

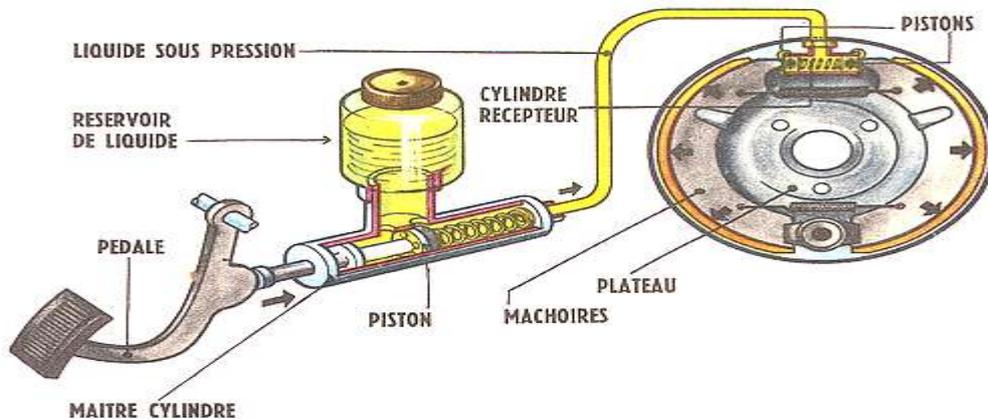


Figure 2.1 - Schéma de fonctionnement des freins hydrauliques.

Pour s'arrêter, il faut écarter les mâchoires venant frotter à l'intérieur d'un tambour relié à la roue. Ceci est obtenu grâce aux deux petits pistons, situés à la partie supérieure du plateau, entre lesquels on envoie du liquide sous pression.

C'est la pédale de frein, en actionnant le piston du maître-cylindre, qui envoie ce liquide sous pression vers le cylindre récepteur fixé sur le plateau.

Le principe du frein hydraulique fut inventé en 1858 par le **Britannique William Froude**.

2.1.2. Freins pneumatiques

2.1.2.1. Circuit pour freins pneumatiques (avant 1976)

Il s'agit d'un circuit simple illustrant le principe de fonctionnement de tout système de freinage pneumatique. Comme l'illustration le montre bien, il n'y a qu'une seule source d'alimentation pour l'ensemble du circuit de freinage, ce qui peut entraîner un inconvénient majeur s'il survient un bris d'une canalisation: l'ensemble du système de freinage tombe ainsi en panne.

Principe de fonctionnement du système de freinage pneumatique :

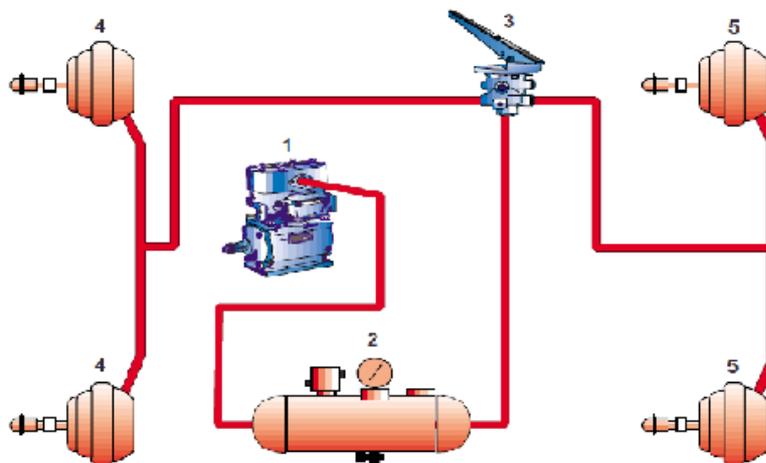


Figure 2.2 - Schéma de fonctionnement des freins pneumatiques à circuits simple.

_ Le compresseur d'air (1) pompe l'air et l'envoie dans le réservoir (2). L'air comprimé du réservoir parvient à la pédale de frein (3) par l'orifice situé au bas de la commande.

_ Dès que le conducteur enfonce la pédale de frein, l'air s'écoule vers les récepteurs de freinage avant et arrière du véhicule (4 - 5).

_ L'air sous pression qui arrive aux récepteurs de freinage entraîne le déplacement de la tige de poussée et du levier réglable. Le déplacement du levier entraîne la rotation des cames qui appuient les garnitures du segment de frein contre le tambour. Le frottement ainsi créé entraîne l'arrêt du véhicule.

_ Le conducteur relâche la pédale de frein et l'air qui se trouve dans les récepteurs de freinage est évacué par la pédale de frein, ce qui entraîne le desserrage des freins.

_ Peu importe que vous soyez en présence d'un système de freinage pneumatique d'avant 1976 ou non, le principe de fonctionnement est essentiellement le même. Ce qui diffère, c'est le montage des composantes, comme vous pourrez le constater au point suivant.

Système de freinage pneumatique (après 1976).

Depuis le 1er avril 1976, les constructeurs de camions doivent satisfaire aux normes européennes, c'est-à dire qu'ils doivent munir leurs véhicules routiers, tels les camions, camions-remorques, autobus et remorques, d'un système de freinage opérationnel en tout temps.

Afin de répondre à ces exigences, les constructeurs ont mis au point un système de freinage à double circuit, ce qui a pour effet de rendre le véhicule plus sécuritaire.

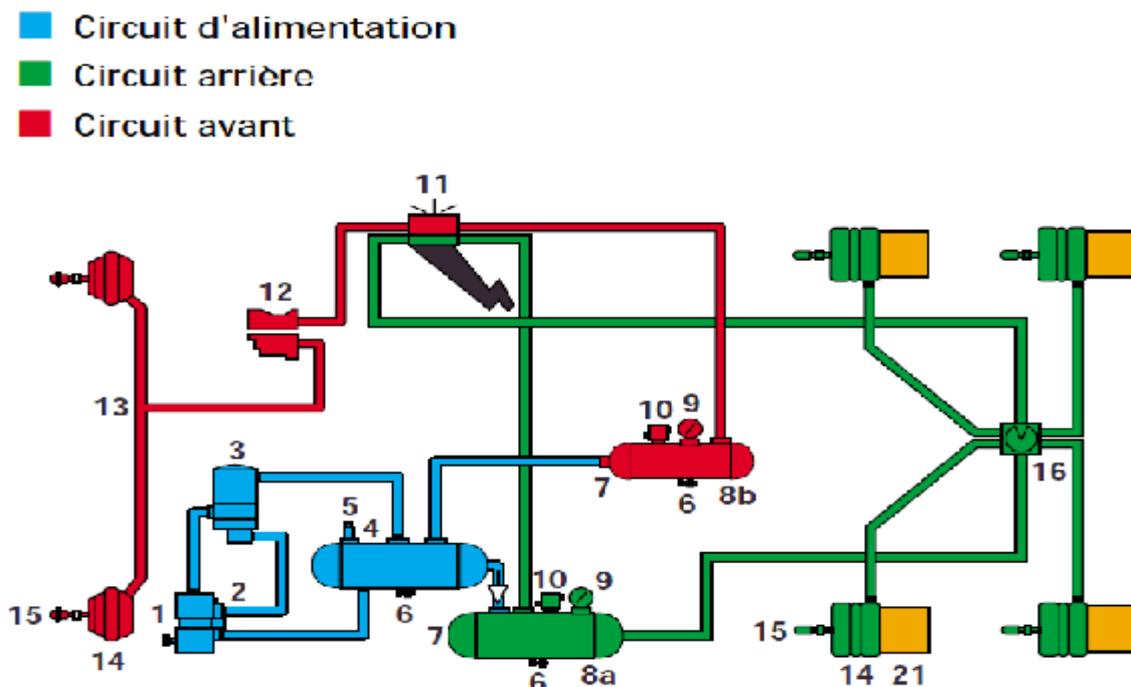


Figure 2.3 - Schéma de fonctionnement des freins pneumatiques à circuit double.

2.2. Composants du circuit pneumatique de freinage

Tous les systèmes de freinage pneumatique sont composés des 5 éléments suivants:

- un compresseur d'air, pour comprimer l'air;
- un réservoir, pour accumuler l'air comprimé;
- une pédale de frein qui permet l'arrivée d'air du réservoir lorsqu'elle est actionnée;
- des récepteurs de freinage; ce dispositif permet de communiquer la force produite par l'air à la timonerie mécanique;
- des segments de freins munis de garnitures appuyés sur des tambours qui produisent le frottement, lequel permet l'arrêt du véhicule.

Avant d'étudier le rôle de chaque élément du système de freinage, il est très important d'en comprendre le fonctionnement.

2.2.1. Compresseur d'air

2.2.1.1. Fonction

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.

- Le compresseur d'air est généralement entraîné par le moteur du véhicule par l'intermédiaire de courroies et de poulies ou d'arbres et pignons, selon le type de moteur. Généralement, le compresseur d'air est lubrifié par le circuit de lubrification du moteur.
- Lorsque la réserve d'air est suffisante, on doit interrompre le cycle de pompage du compresseur d'air. La pression normale d'un circuit de freinage pneumatique varie de 8 bar à 10 bar (116 lb/po² à 145 lb/po²)
- Lorsque la pression atteint le niveau pré ajusté de 10 bar (145 lb/po²), le compresseur d'air cesse de comprimer de l'air; il fonctionne donc à vide. Cette phase permet au compresseur d'air de se refroidir.
- Lorsque la pression tombe à moins de 5,5 bar (≈ 80 lb/po²), le compresseur d'air reprend son cycle de pompage.
- L'air aspiré par le compresseur d'air doit d'abord être débarrassé des particules de poussière en passant par un filtre.

2.2.1.2. Caractéristiques techniques

Cylindrée : 300 cm³

Vitesse de rotation max : 3000 t/mn

Pression max d'utilisation : 12 bar

Pression de service : 10 bar

Poids : 9 kg

Mode de graissage : par barbotage (ou sous pression)

Carter, piston et culasse sont en alliage léger

Cylindre en fonte Grise.

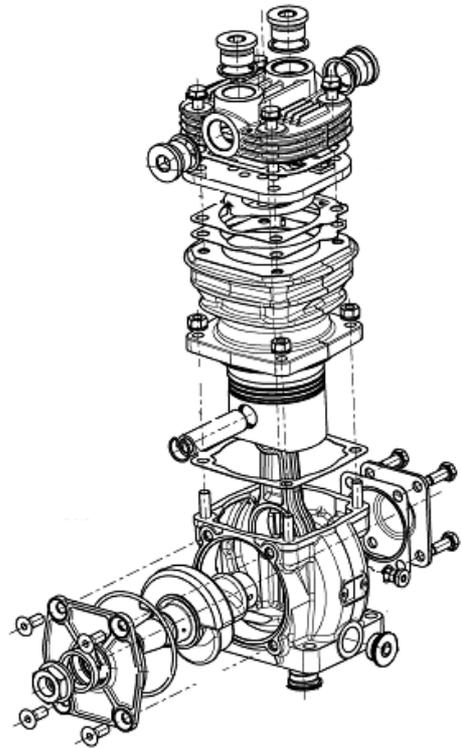
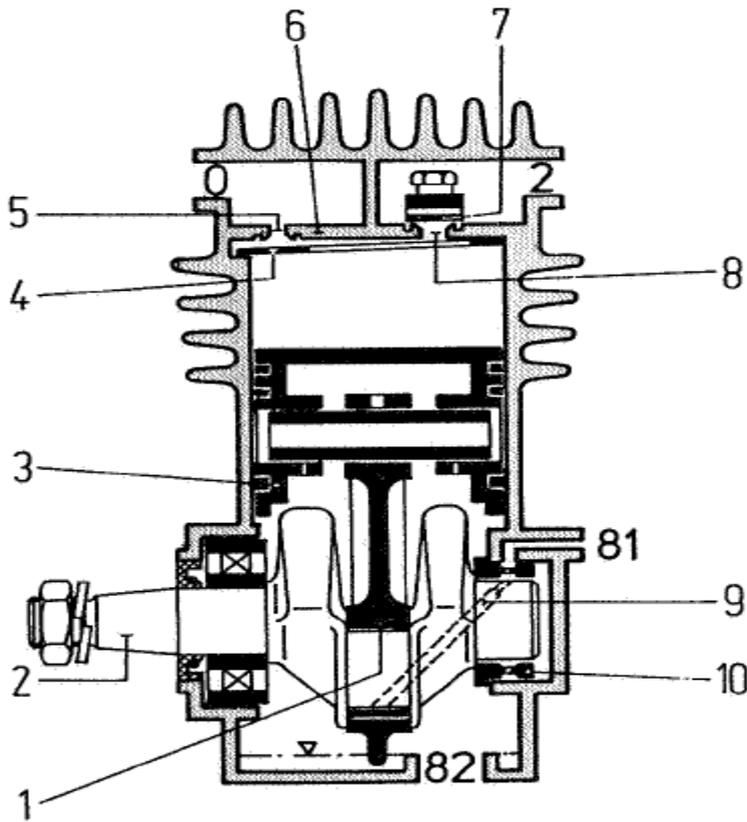


Figure 2.4 - Vue éclatée d'un compresseur. [8]

2.2.1.3. Fonctionnement

- Course d'admission : le piston qui descend dans le cylindre provoque la création d'une pression inférieure à la pression atmosphérique ambiante. Ceci entraîne l'admission de l'air dans le cylindre par le disque d'aspiration.
- Course de compression: le piston, en remontant dans le cylindre, comprime l'air qui y est enfermé. La pression dans le cylindre augmente puisque l'air ne peut pas s'échapper par le disque d'aspiration (fermée par l'air comprimé); lorsque le piston s'approche du point le plus élevé de sa course, l'air comprimé s'échappe par l'orifice d'échappement et s'écoule dans la canalisation reliée au réservoir.



- 1-Roulement de tête de bielle.
- 2-Arbre détraqué.
- 3-Piston.
- 4-Disque d'aspiration.
- 5-Admission.
- 6-Plaque de soupape.
- 7-Disque de distribution.
- 8-Echappement.
- 9-Conduit d'huile.
- 10-Roulement de frottement.

Figure 2.5 - Le compresseur et ses composants. [6]

2.2.2. Le régulateur

Pour faire tourner le compresseur à vide, le régulateur dirige la pression d'air dans le disque d'admission du compresseur et le maintient ouverte, ce qui permet à l'air de circuler dans les deux sens du cylindre, au lieu d'être comprimé. Lorsque la pression baisse, le régulateur laisse le disque d'admission se fermer, ce qui réactive le cycle de pompage du compresseur. Le régulateur doit activer le cycle de pompage du compresseur avant que la pression tombe à 9.5 bar. C'est pendant le cycle de décharge que le compresseur peut refroidir.

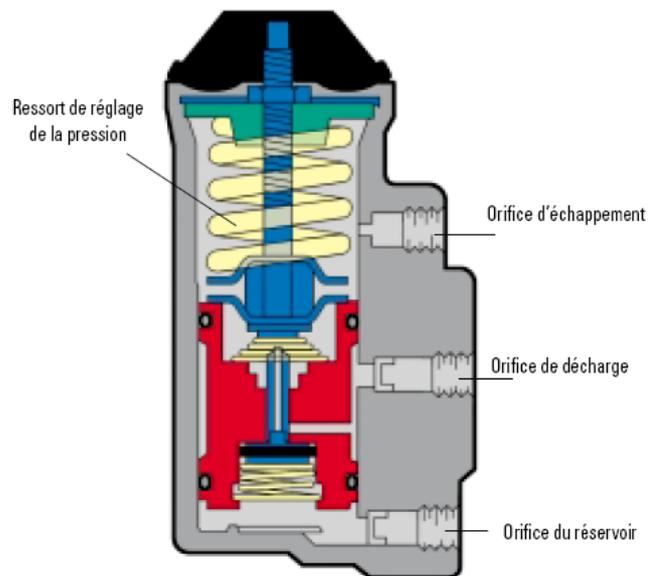


Figure 2.6 - Le régulateur de pression. [3]

2.2.3. Les réservoirs

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

Condensation:

Lorsque l'air est comprimé, il s'échauffe, pour ensuite se refroidir dans le réservoir, formant ainsi de la condensation. Par ailleurs, l'huile qui s'échappe par les segments de piston du compresseur se mélange avec l'humidité. La présence de ce mélange (eau et huile) risque de nuire au fonctionnement des valves et autres pièces mobiles. De plus, l'eau risque de geler en hiver et de nuire au bon fonctionnement des valves, des clapets ou des récepteurs de freinage.

Pour éviter l'accumulation d'eau, il faut vidanger les réservoirs une fois par jour en ouvrant les robinets de purge à fond. Le fait d'ouvrir partiellement le robinet pour évacuer une petite quantité d'air "ne permet pas" d'évacuer l'humidité.

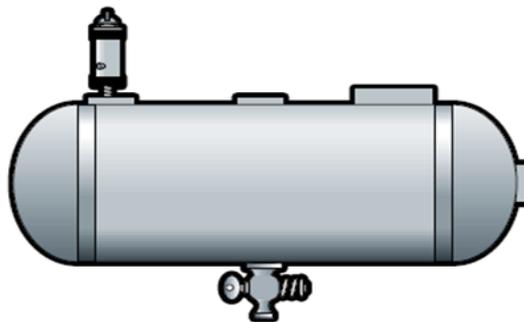


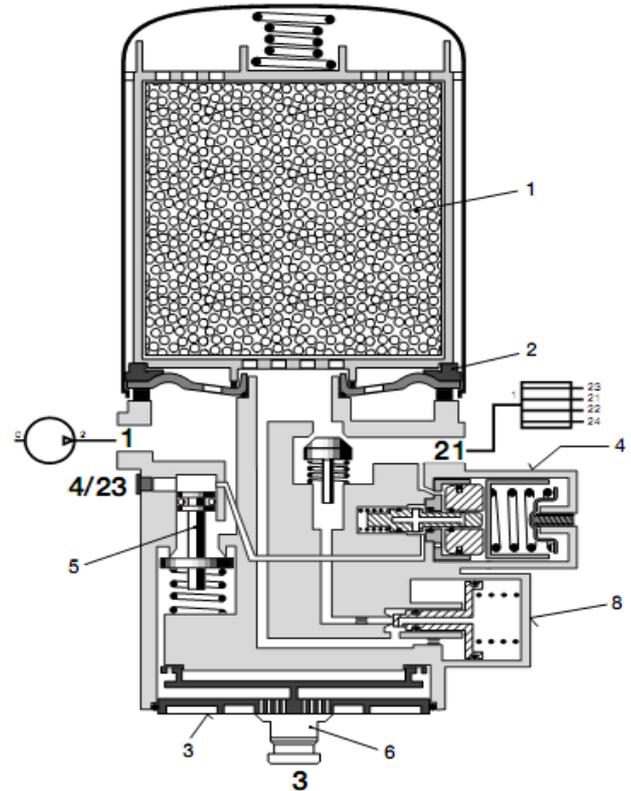
Figure 2.7 - Réservoir, soupape de sûreté et robinet de purge. [4]

2.2.4. Dessiccateur d'air

Un dispositif d'assèchement de l'air est installé entre le compresseur et le réservoir humide pour évacuer l'humidité de l'air comprimé. Certains sont remplis d'un déshydratant très efficace et munis d'un filtre à huile, alors que d'autres sont vides et dotés de déflecteurs conçus pour séparer l'humidité de l'air. Dans les deux cas, on utilise la pression de l'air pour purger ou évacuer les contaminants accumulés dans le déshydratant. Le robinet de purge est muni d'un élément chauffant qui empêche l'humidité de geler lorsqu'il fait froid. Le câblage de l'élément chauffant doit faire l'objet d'une inspection pour vérifier si certains fils sont lâchés ou mal raccordés. Les réservoirs sont également munis d'une soupape de sûreté

2.2.4.1. Légende

- 1-Dessicant
- 2-Filtre
- 3-silencieux
- 4-valve de décharge
- 5-valve de vidange
- 6-raccordement de tuyau
- 8-commutateur horaire



2.2.4.2. Caractéristiques techniques

- Tarage de la valve de sécurité [bar] 13,0
- Pression de déclenchement [bar] $8,5 \pm 0,2$
- Plage de régulation [bar] $0,6 + 0,4$
- Poids [Kg] 4,16

Silencieux intégré.

Figure 2.8 - Dessiccateur et ses composants. [4]

Cycle d'assèchement

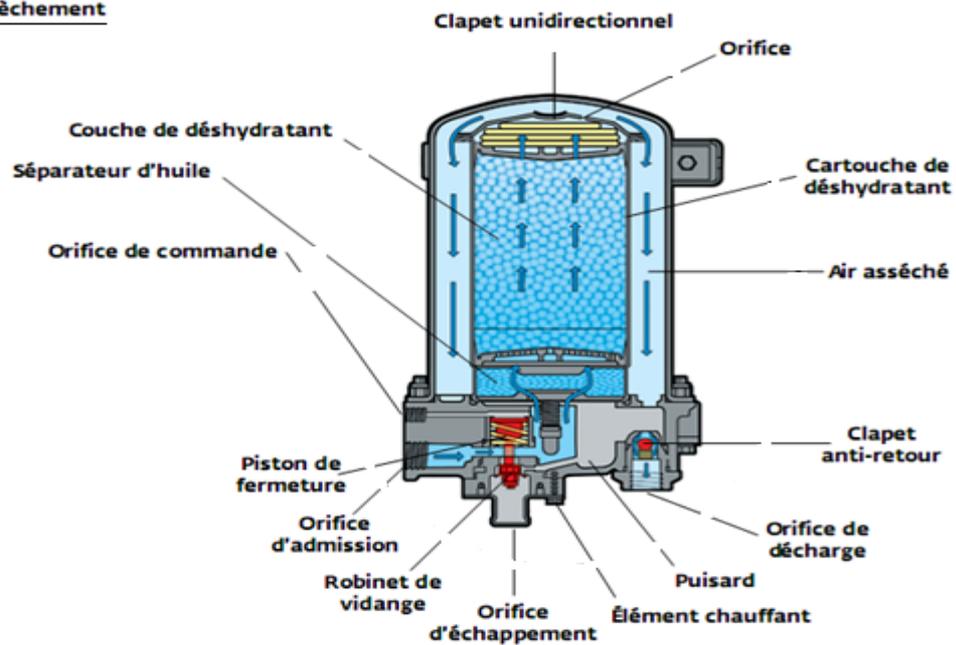


Figure 2.9 - Principe de fonctionnement du dessiccateur. [3]

2.2.5. Valve de protection à 4 circuits

Son but est de maintenir et garantir la pression dans les circuits d'une installation de freinage, même en cas de défaillance de l'un des circuits.

Les valves de protection utilisent deux principes

- Sans retour :

En cas de défaillance d'un circuit, la pression est maintenue intégralement dans les autres circuits.

- Retour limité :

En cas de défaillance du circuit 21 par exemple, la pression n'est maintenue que partiellement dans le circuit 22.

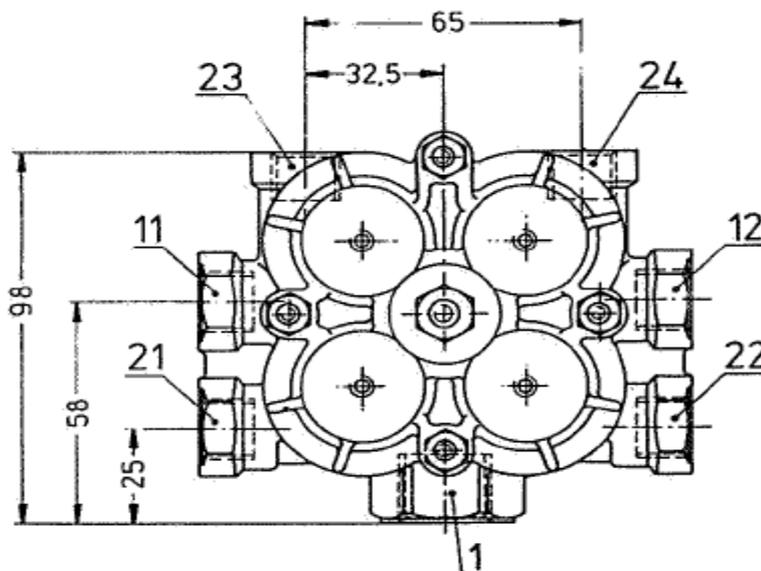


Figure 2.10 – Dimensions de la valve de protection à quatre circuits.[7]

2.2.5.1.Fonctionnement

La pression d'alimentation qui arrive en 1 passe directement dans les chambres a b c et d Les tarages des ressort de clapets étant identiques, ceux ci s'ouvrent et l'air alimente simultanément les orifices 21, 22, 23 et 24 (aux tolérances de fabrication prés).

a) Un seul réservoir rempli.

b) Tous les réservoirs remplis.

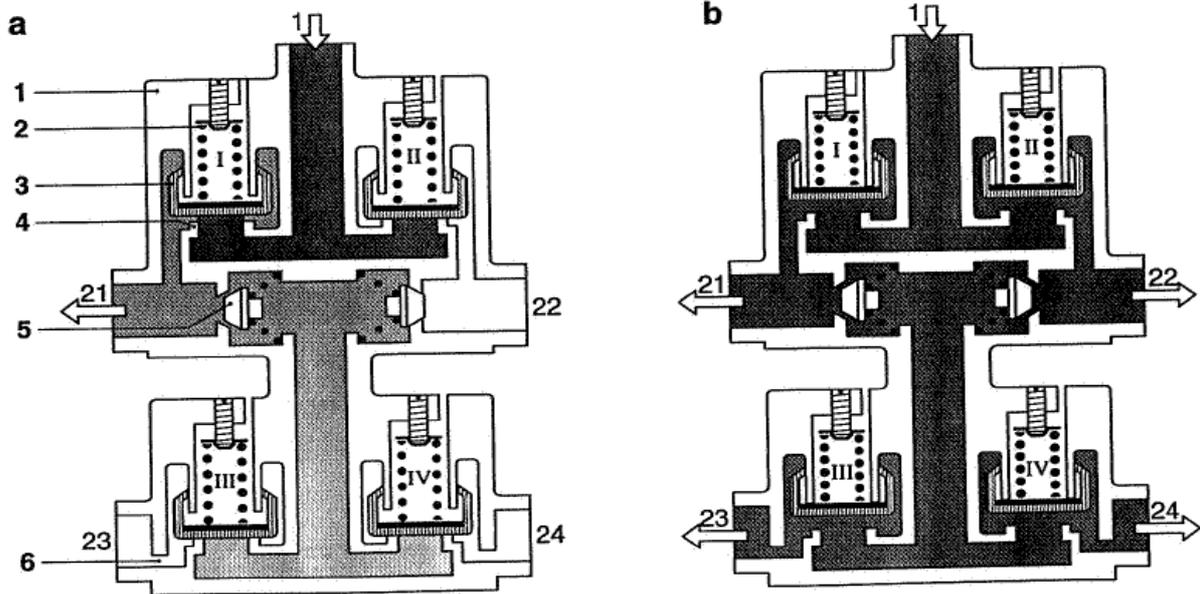


Figure 2.11 - Ordre de remplissage de la valve de protection à quatre circuits.[6]

1-Boitier .

2-Ressort .

3-Piston de membrane .

4-Siège de soupape .

5- Clapet anti-retour .

6- Commande de puissance fixe .

2.2.6. La soupape de sûreté

Si le régulateur était en panne et ne parvenait pas à « décharger » le compresseur, la soupape de sûreté protégerait les réservoirs de la surpression et de l'explosion. Cette soupape comprend une bille à ressort qui permet à l'air de décharger la pression du réservoir dans l'atmosphère.

C'est la force du ressort qui détermine le réglage de la pression de la soupape. En général, les soupapes de sûreté sont réglées à 13 bars. Lorsque la pression du système s'élève à environ 13 bars, cette soupape expulse la bille hors de son siège, ce qui permet à la pression de s'échapper par l'orifice d'échappement du boîtier du ressort. Lorsque la pression du réservoir a suffisamment diminué (approximativement 12 bar), le ressort ramène la bille sur

son siège, enfermant ainsi la pression du réservoir. Les soupapes de sureté ne sont pas toutes dotées de dispositifs de déverrouillage manuel.

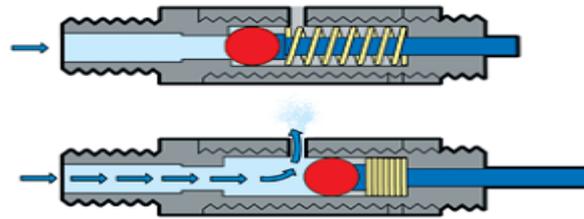


Figure 2.12 – Soupape de sureté. [6]

2.2.7. La commande au pied

2.2.7.1.Fonction

La commande au pied permet au conducteur d'actionner les freins. La quantité d'air comprimé que l'on envoie dans le circuit de freinage est fonction de la course imprimée à la pédale; cependant, la puissance maximale obtenue au freinage correspond à la pression d'air qui se trouve dans le réservoir. Pour desserrer les freins, il suffit de relâcher la pédale.

Lorsque le conducteur appuie sur les freins en enfonçant partiellement la pédale, la commande au pied maintient automatiquement le niveau de pression créé sans que le conducteur ne soit obligé d'ajuster la pression de son pied sur la pédale.

Le relâchement de la pédale permet à l'air du circuit de s'échapper dans l'atmosphère par les orifices d'échappement. Etant donné que dans les systèmes pneumatiques, les pédales sont à ressort, elles ne produisent pas le même effort au pied que celles des circuits hydrauliques.

2.2.7.2.Légende :

- 1- Pédale
- 2- Tige de poussé
- 3- Ressort caoutchouc
- 4- Piston de réaction
- 5- Orifice calibré
- 6 - Admission
- 7- Echappement
- 8- Piston double
- 9- Orifice calibré
- 10- Orifice calibré
- 11- Admission
- 12- Vis de réglage
- 13- Echappement
- 14- Ressort
- 15- Canal horizontal
- 16- Orifice d'équilibrage
- 17- Microcontact

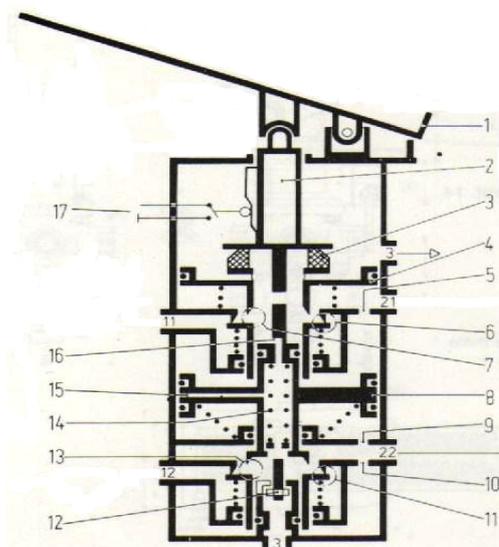


Figure 2.13- Commande au pied et ses composants [5]

2.2.8. Robinet de commande à main

2.2.8.1.Fonction

Assurer la commande modelable du frein de secours, ou de frein de remorque à partir du poste de conduite.

2.2.8.2.Caractéristiques

- Encombrement particulièrement réduit.
- Montage encastré dans le tableau de bord.
- Sensibilité au freinage et au défreinage.
- Alimentation à 8 ou 17 bar.
- Variante pour cylindre à ressort.

2.2.8.3.Fonctionnement

L'air sous pression pénètre dans la chambre O par l'orifice A, le clapet 1 est plaqué sur son siège. Les cylindres de frein raccordés en C sont à l'atmosphère par le canal C, la chambre P et l'orifice d'échappement E. L'ensemble est en position "défreinage" (figure 1).

En agissant sur la poignée 2 la came 3 fait avancer le piston 4 qui comprime le ressort de commande 5 le piston de réaction 6 se déplace, le canal C est alors fermé par le clapet 1, isolant ainsi les cylindres de l'atmosphère. Si l'on poursuit la rotation de la poignée, le piston 6 ouvre le clapet 1. L'alimentation des cylindres s'effectue par la chambre annulaire R et l'orifice C. l'ensemble est en position freinage (figure 2). Cette alimentation est progressive en fonction de l'angle de rotation de la poignée.

En effet, à toute position de celle-ci correspond une pression de freinage sous le piston 6 telle, qu'elle équilibre la tension du ressort 5. Cette position correspond à la fermeture du clapet 1 et du canal C.

En position repos le cran de verrouillage V interdit toute manœuvre intempestive de la poignée.

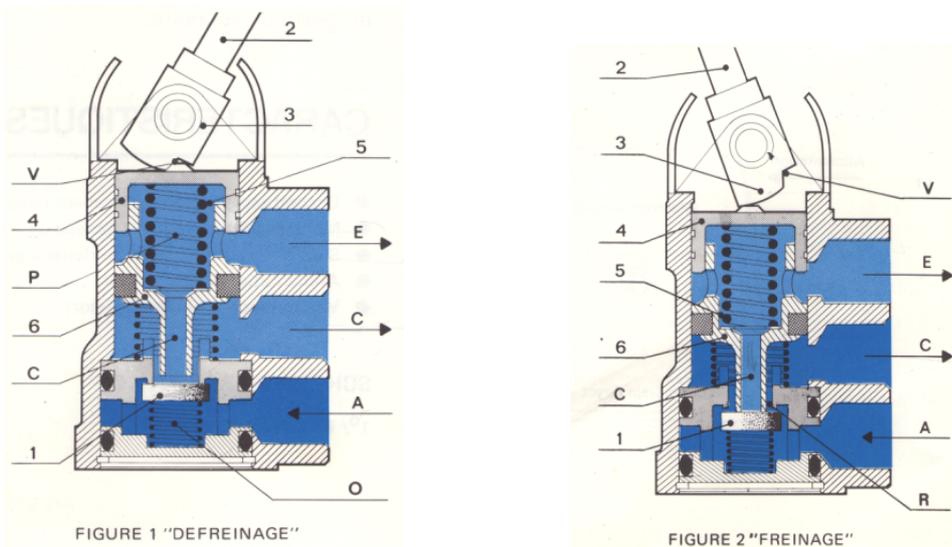


Figure 2.14 – Robinet de commande à main.[5]

2.2.9. Les récepteurs de freinage

2.2.9.1. Cylindre de frein

Le cylindre de frein est un logement circulaire partagé au milieu par une membrane souple. La pression de l'air contre la membrane l'éloigne de la pression, ce qui entraîne la bielle vers l'extérieur et contre le régléur de jeu. La force exercée par ce mouvement dépend de la pression de l'air et de la taille de la membrane. Toute fuite dans la membrane laisse l'air s'échapper, ce qui rend le cylindre de frein moins efficace. Si la membrane est complètement déchirée, les freins ne fonctionnent plus. [3]

Les cylindres de frein avant sont généralement plus petits que les cylindres de frein arrière parce que les essieux avant supportent des poids moins importants que les essieux arrière. Le cylindre de frein est d'habitude logé sur l'essieu, à proximité de la roue à freiner. L'air comprimé qui arrive par l'orifice d'admission exerce une pression contre la membrane et la bielle. Celle-ci est fixée à un levier en bras de manivelle, appelé régléur de jeu, au moyen d'une chape et d'un axe. Le déplacement longitudinal de la bielle sous l'effet de la pression exercée dans le cylindre de frein est transformé en mouvement rotatif de l'arbre à cames qui commande les mâchoires et les cames en S. La membrane et la bielle reprennent la position de repos sous l'effet du ressort de rappel logé dans le cylindre de frein lorsque l'air comprimé est évacué.

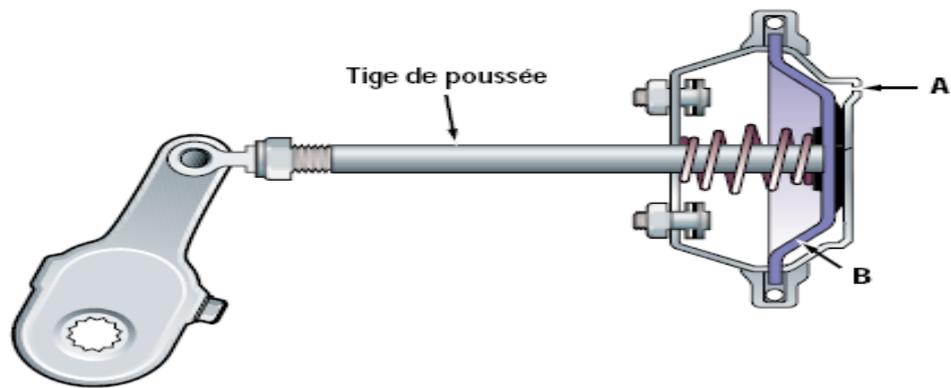


Figure 2.15 - Récepteur de freinage pour essieux avant.

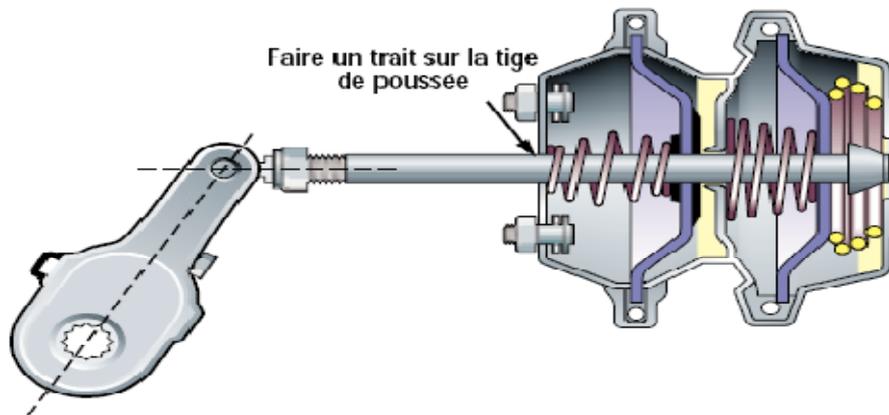


Figure 2.16 - Récepteur de freinage pour pont arrière.

2.2.9.2. Le réglageur de jeu

Comme son nom l'indique, le réglageur de jeu permet aussi de réduire le débattement qui se crée dans la timonerie, entre la biellette et les mâchoires de frein. Cette défaillance est provoquée par l'usure des garnitures de frein. Si les réglageurs ne sont pas convenablement ajustés dans les limites établies, il y a risque de détérioration du rendement des freins et d'augmentation du temps de réaction.

Ainsi, si le jeu devient excessif, la membrane risque de toucher le fond du cylindre, ce qui peut se traduire par une perte complète du freinage sur la roue en question.[7]

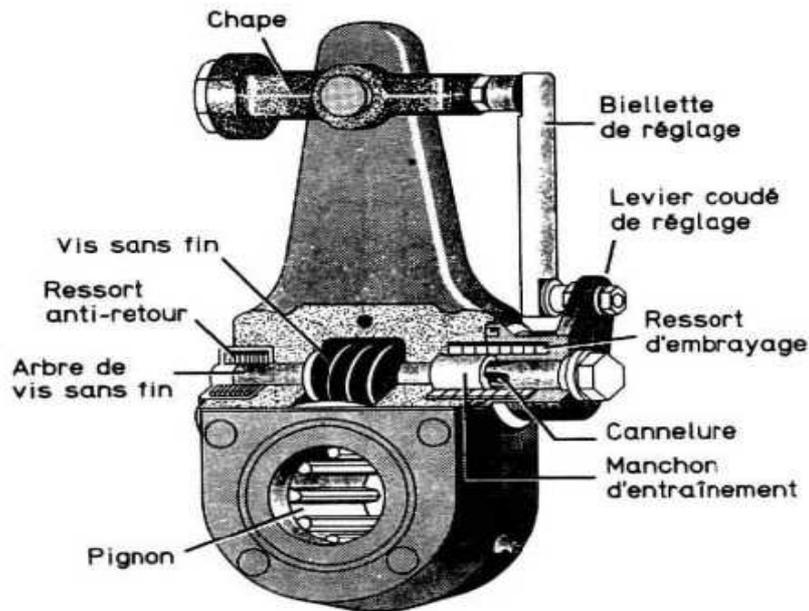


Figure 2.17 - Le régleur de jeux [5]

2.2.9.3. Les freins

2.2.9.3.1. Les freins à disque

Les freins à disque pneumatiques utilisés sur les gros camions fonctionnent selon le même principe que les freins à disque de voiture. L'air comprimé exerce une pression sur le cylindre de frein et le régleur de jeu, ce qui actionne les freins. Au lieu du système à came ou à commande conique des freins à tambour classiques des gros camions, c'est une « vis de commande » qui est utilisée et qui agit comme une vis de serrage, de façon à ce que les garnitures répartissent également la force des deux cotés du disque ou du rotor. Certains modèles de freins à disque possèdent un régleur automatique incorporé. Pour ceux qui nécessitent un réglage manuel, les normes de réglage sont différentes de celles des systèmes de freinage classiques à came en S. Il faut toujours vérifier les spécifications du fabricant avant de procéder au réglage. Certains freins à disque sont munis d'un système de freinage de stationnement à ressort monté sur le cylindre du frein de service.[3]

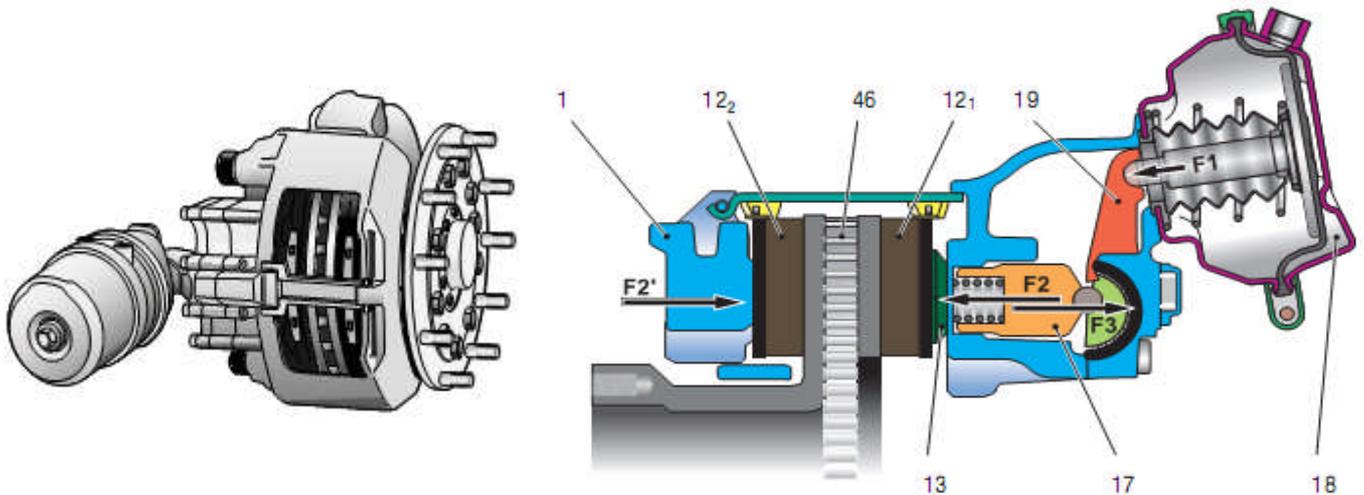


Figure 2.18 – Principe de fonctionnement d'un frein à disque

Fonctionnement

En pressurant le déclencheur de frein (18) la tige de piston enclenche le levier (19) qui pivotent dans des deux roulements à rouleaux.

La force d'entrée (F_1) est transmise par le pont (17) et les tubes filetés intégré (16) et, par l'intermédiaire de leurs éléments de poussée, sur la garniture de frein intérieure (12_1) où elle agit en tant que force de rendement (F_2) poussant la garniture de frein (12_1) sur le disque de frein (46).

La force de réaction (F_3) qui agit maintenant sur le calibre est transmise à la garniture de frein externe (12_2) tels que ce dernier est également pressé contre le disque de frein (46) avec la même force (F_2').

La force de frein produite dépend non seulement de la pression alimentée au déclencheur de frein (18), mais également sur sa taille et le rapport de transmission du levier (19).

Si le frein à disque est également employé pour produire la force de frein pour le frein à main, un déclencheur de frein de ressort est utilisé au lieu d'une chambre de frein.

2.2.9.3.2. Les freins à tambour

Lorsque l'arbre à cames de frein pivote, la came en S agit sur les mâchoires et les garnitures de frein et les applique contre le tambour. Le frottement des garnitures contre le tambour se traduit par un dégagement de chaleur. La quantité de chaleur qu'un tambour peut

absorber et dégager dans l'atmosphère est fonction de son épaisseur. Les tambours dont l'épaisseur a été réduite sous l'effet de l'usure risquent de s'échauffer trop rapidement.

Par ailleurs, les freins peuvent perdre leur efficacité et leur fiabilité et rendre le véhicule dangereux si le tambour est déformé, si le ressort de rappel est affaibli, si les garnitures sont de mauvaise qualité, s'il y a un mauvais réglage, ou encore de la graisse ou des impuretés sur les garnitures. Il ne faut pas usiner ou user les tambours au-delà des limites prescrites par les fabricants.

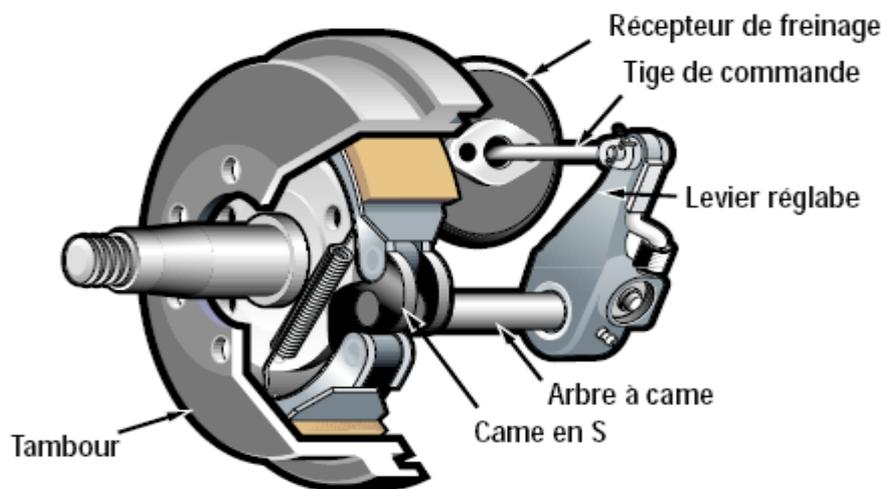


Figure 2.19 – Frein à tambour et ses composants.[4]

2.2.10. Soupape de desserrage rapide

Le principe de freinage a été décrit précédemment. Dans un système simple, l'air sous pression dans les cylindres de frein, quand le conducteur relâche la commande au pied, doit retourner à la commande pour permettre le desserrage des freins. Ce desserrage se fait plus lentement sur les véhicules à empattement long parce que les conduites sont plus longues entre la commande au pied et les cylindres de frein arrière.

Pour que les freins puissent se desserrer rapidement et complètement, on installe une soupape de desserrage rapide qui permet de décharger l'air employé pour le freinage près des cylindres de frein.

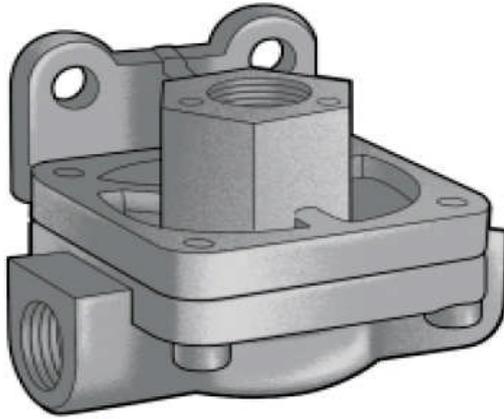


Figure 2.20 – Soupape de desserrage rapide.

2.2.11. Manomètres à air comprimé

Tous les véhicules à freinage pneumatique sont munis d'un manomètre qui permet de mesurer la pression d'air qui prévaut dans le réservoir primaire et le réservoir secondaire (réservoir secondaire). Le réservoir d'alimentation (réservoir humide) n'est généralement pas muni d'un manomètre. Le manomètre se trouve habituellement dans la cabine, monté sur le tableau de bord. Selon le système utilisé, les pressions de fonctionnement standard varient de 9.5 à 12 bars. Le conducteur, en surveillant ce manomètre, peut facilement détecter les changements de pression anormaux.



Figure 2.21 – Manomètre d'air comprimé.

2.2.12. Manomètres de pression de freinage

Il est possible d'équiper le véhicule d'un manomètre supplémentaire qui indique la pression de freinage quand le conducteur appuie sur la pédale. Ce manomètre peut être branché de façon à mesurer la pression développée dans le circuit lorsque le conducteur appuie sur la commande au pied ou actionne la commande manuelle. (La commande manuelle sera expliquée ultérieurement.)



Figure 2.22 - Manomètre de pression de freinage.

2.2.13. Contacteur de feu d'arrêt

Le conducteur doit pouvoir avertir le conducteur qui le suit qu'il ralentit ou qu'il arrête son véhicule. Le contacteur de feu d'arrêt est un contacteur électrique actionné pneumatiquement qui provoque l'allumage des feux de freinage à l'arrière du véhicule quand le conducteur freine.

2.3.Principe de fonctionnement du système de freinage

2.3.1. Système à circuit double

Le compresseur pompe l'air et l'envoie dans un serpentin vers la soupape de protection à quatre circuits. L'air sous pression est distribué via des clapets unidirectionnels aux quatre réservoirs : primaire, secondaire, secours et servitudes. C'est à cet endroit que commence le circuit double. L'air provenant du réservoir primaire est envoyé à la commande au pied. Celle-ci reçoit également l'air envoyé par le réservoir secondaire. La commande au pied est partagée en deux sections (deux commandes en une). L'une des sections de cette commande

au pied double commande le circuit primaire et l'autre le circuit secondaire. Lorsque le conducteur freine, l'air comprimé est enlevé du réservoir primaire et envoyé aux cylindres de frein arrière. En même temps, dans le réservoir secondaire, il y a également prélèvement d'air comprimé, qui ensuite passe par la commande au pied et parvient aux cylindres de frein avant. Le déplacement des biellettes entraîne celui des régleurs de jeu, ce qui provoque la rotation des cames en S qui appuient les mâchoires contre le tambour. Le frottement ainsi créé entraîne l'arrêt du véhicule. Lorsque le conducteur relâche la pédale de la commande au pied, l'air qui se trouve dans le cylindre de frein est évacué par cette commande, ce qui provoque le desserrage des freins.

En cas de perte d'air comprimé dans l'un des circuits, l'autre continue à fonctionner indépendamment. Ainsi, à moins qu'il y ait des pertes dans les deux circuits, le véhicule dispose toujours de sa puissance de freinage. Les circuits primaire et secondaire sont équipés d'indicateurs de baisse de pression actionnés par un contacteur et des manomètres montés sur le tableau de bord.

Remarque : Un dispositif d'assèchement de l'air a été installé pour réduire l'humidité présente dans les circuits.

2.3.2. Freinage de stationnement

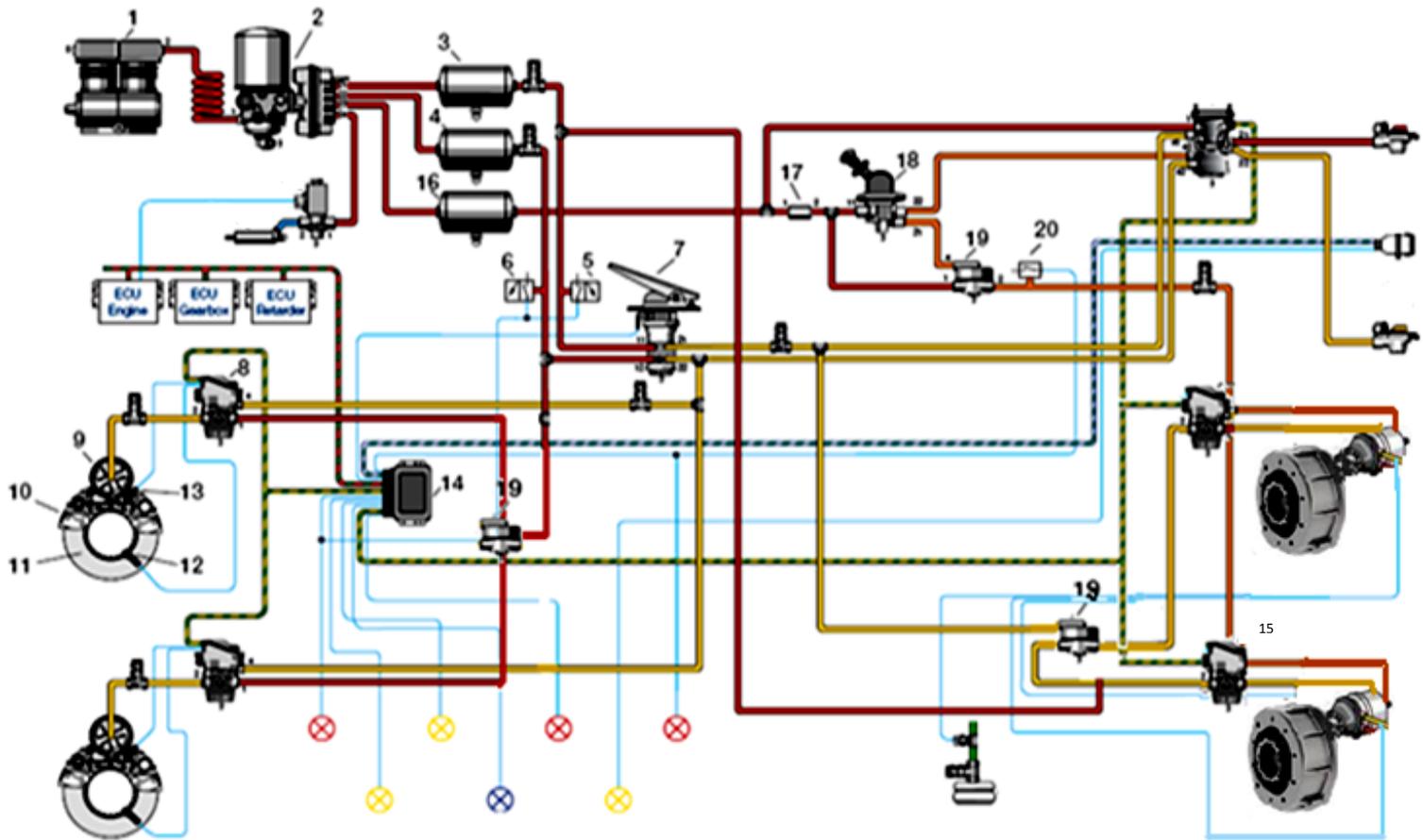
Le mode d'installation des freins de stationnement à ressort et le type de circuit pneumatique adopté dépendent du type de véhicule. [6]

On peut installer, sur les véhicules équipés d'un système de freinage pneumatique des freins de stationnement à ressort assurant la sécurité du stationnement. Dans les systèmes de freinage de service standard, les freins sont actionnés par l'air comprimé et desserrés par des ressorts. Par contre, dans les systèmes de freins de stationnement à ressort, les freins sont actionnés par des ressorts et desserrés par l'air comprimé. Les cylindres des freins de stationnement sont fixés aux cylindres des freins de service et utilisent la même timonerie pour faire fonctionner les freins. Par conséquent, l'efficacité des freins de stationnement à ressort dépend du réglage du frein de service.

Une commande située dans la cabine (activée par un bouton) permet au conducteur de chasser l'air du circuit des freins de stationnement à ressort pour les serrer ou de remettre le circuit sous pression pour les desserrer. Ces freins peuvent également servir de freins de

secours; certains modèles, selon le type de circuit pneumatique dont ils sont équipés, provoquent le serrage automatique des freins quand la pression baisse. [7]

On distingue divers types de commandes selon les fabricants et le montage choisi. Pour actionner une commande à ressort, le conducteur doit pousser le bouton de façon à desserrer les freins de stationnement à ressort. Il n'est pas possible de garder la commande en position de frein desserré lorsque la pression dans le circuit est inférieure à environ 4 bars. Lorsque la pression du réservoir principal baisse à environ 4 bars, la commande évacue automatiquement la pression d'air, ce qui entraîne le serrage des freins de stationnement à ressort. Certains modèles de véhicules plus anciens peuvent être munis d'un dispositif simple de commande à poussoir qui n'est pas doté d'un mécanisme de déclenchement automatique. Pour provoquer le serrage des freins de stationnement à ressort, il faut actionner la commande à main, même si la pression dans le réservoir principal est épuisée. Quand le véhicule roule normalement, la pression maintient le ressort comprimé prêt pour le stationnement ou le freinage de secours.



- | | |
|--|------------------------------------|
| 1- Compresseur d'air. | 16- Réservoir de frein de secours. |
| 2- Dessiccateur. | 17- Valve de chek. |
| 3- Réservoir circuit avant. | 18- Robinet de frein à main. |
| 4- Réservoir circuit arrière. | 19- Valve relais. |
| 5- Indicateur de pression circuit arrière. | 20- Interrupteur de pression. |
| 6- Indicateur de pression circuit avant. | |
| 7- Commande au pied. | |
| 8- Electrovalve. | |
| 9- Cylindre de frein. | |
| 10- Garniture des freins. | |
| 11- Disque de frein. | |
| 12- Capteur de vitesse et roue dentée. | |
| 13- Capteur d'état. | |
| 14- Calculateur (ECU). | |
| 15- Valve Relais. | |

Figure 2.23 - Circuit de freinage avec système ABS. [6]

CHAPITRE 3

CIRCUIT DE COMMANDE ABS

3.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous allons baser sur la mise en place du système ABS, les composants qui le constituent et leurs principes de fonctionnements, de plus nous allons élaborer les modifications apportées au véhicule lors de l'installation du système ABS, ainsi que toutes les pièces ajoutées. Donc, commençons tout d'abord par identifier et localiser ses différents composants.

3.2.Régulation de l'ABS

3.2.1. Rôle

La fonction première du système de freins antiblocage est de prévenir le blocage des roues lors d'un freinage.

Les principaux avantages d'un système de freins antiblocage sont une meilleure stabilité et un meilleur contrôle du véhicule lors d'un freinage. Le système de freins antiblocage permet, dans plusieurs situations de freinage, de réduire les mises en portefeuille (jack knife) et les dérapages qui surviennent lors d'un changement de voie ou lors d'une manœuvre évasive. Dans la presque totalité des conditions, la distance de freinage diminue, garantissant en toute occasion un parfait contrôle du véhicule. [7]

3.2.2. Principe de fonctionnement

Le système de freins antiblocage fonctionne à l'aide de capteurs de rotation sur les roues. Ces capteurs transmettent, de façon continue, un signal à un ordinateur qui analyse le mouvement relatif de chacune des roues et active les valves de freins pressurant ainsi les chambres de freins. Lorsque le blocage d'une roue est détecté par l'ordinateur, celui-ci est analysé et la pression est immédiatement relâchée dans la chambre de freins, de manière à éviter le blocage de la roue. Ce cycle s'effectue plusieurs fois par seconde.

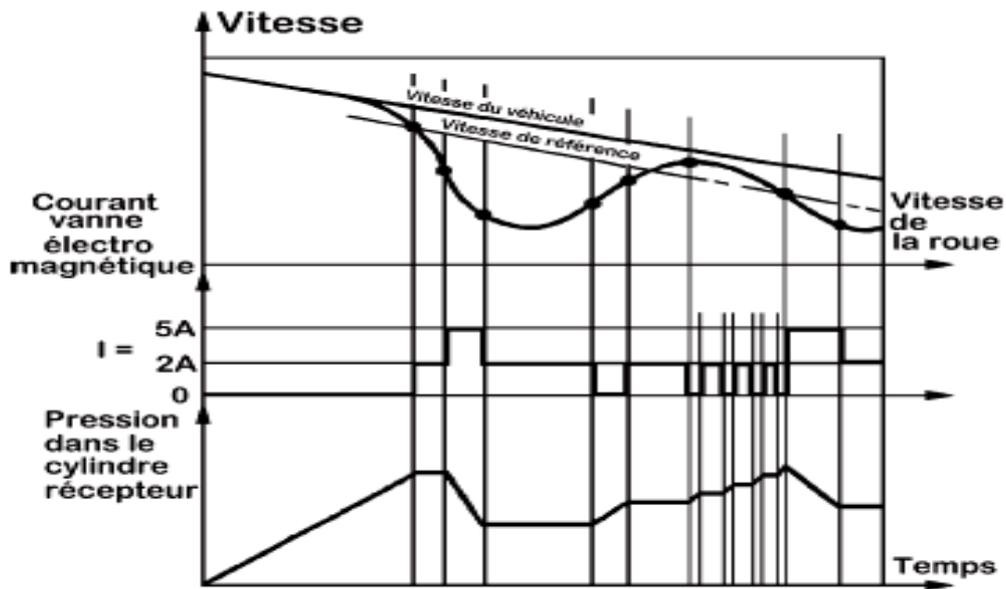
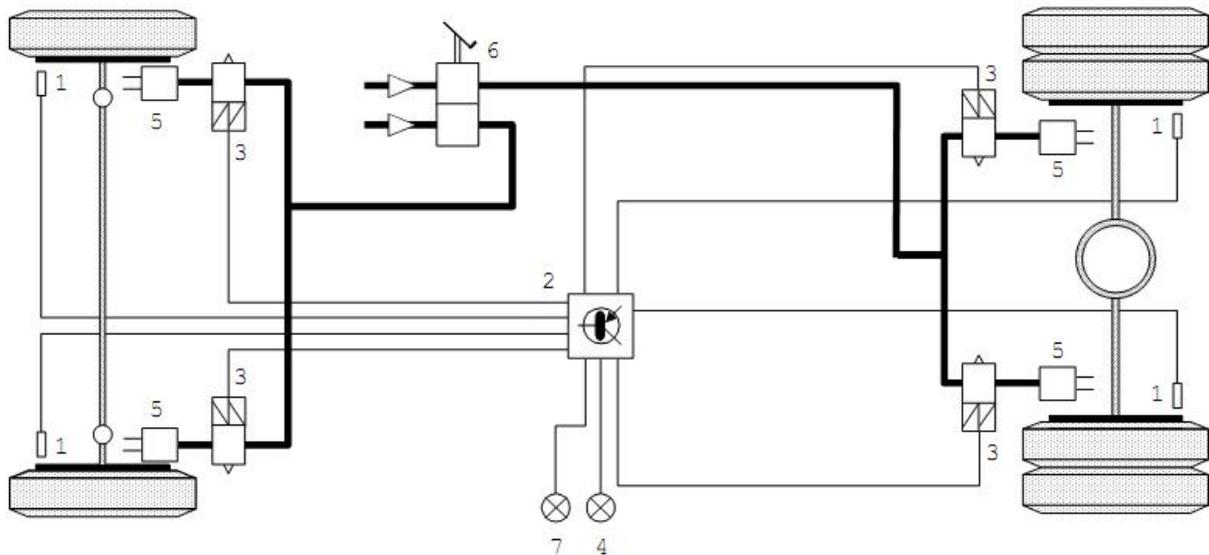


Figure 3.17 - Schéma du principe de régulation [5]

3.2.3. Schéma d'installation du système ABS sur véhicule

Le schéma suivant illustre un exemple d'une configuration de l'installation de l'ABS sur un véhicule à 2 axes. Quatre capteurs de vitesse de roue et quatre valves de modulation de pression sont utilisés dans cette configuration. Les parties principales du système d'ABS sont les capteurs qui enregistrent la vitesse des roues, les valves de modulation de pression qui ajustent la pression dans les cylindres de freins des roues de la manière prescrite pendant la commande d'ABS, et le boîtier de commande électronique (ECU) qui enclenche les valves de modulation de pression en traitant les signaux des capteurs de vitesses des roues.



- 1- Capteur de vitesse.
- 2- Le calculateur.
- 3- Electrovalve.
- 4- Lampe témoin.
- 5- Cylindre de frein.
- 6- Pédale de frein.
- 7- Lampe d'alerte.

Figure 3.18 - Schéma d'installation du système ABS. [5]

3.3.Composants du circuit de commande

3.3.1. Unité de contrôle électronique : (Le calculateur)

Le calculateur reçoit des informations des capteurs de vitesse de roues et du contacteur stop (pédale : pour faire la différence entre un glissement au freinage et un glissement au démarrage). Il reçoit également une alimentation électrique et une mise à la masse.

L'ECU est composé de trois microprocesseurs qui ont pour fonction de :

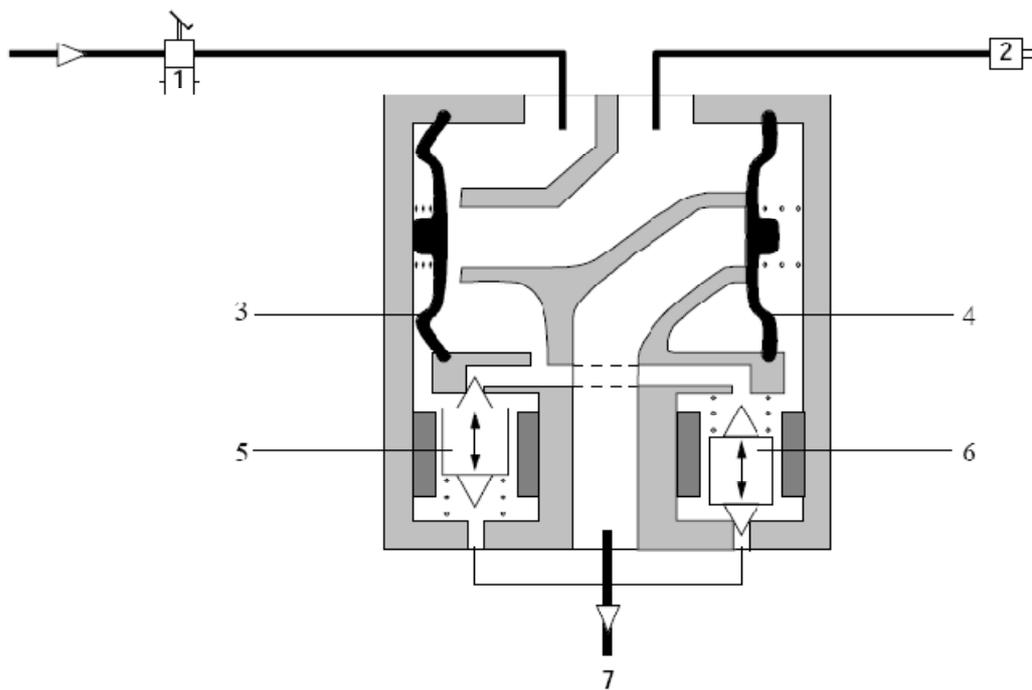
- Traiter toutes les informations que les capteurs de roues leur acheminent. Deux de ces microprocesseurs assurent la sécurité du système. Les deux autres vérifient de façon continue la vitesse de rotation des roues.
- Calculer la vitesse de chacune des roues et plus particulièrement leur décélération. Si une roue est sur le point de bloquer, l'ordinateur relâche et applique les freins par l'entremise d'un modulateur antiblocage, plusieurs fois à la seconde pour empêcher cette dernière de bloquer.
- Commander et régler la pression d'air dans les récepteurs de freinage afin de contrôler le freinage et d'empêcher les roues de bloquer.
- S'auto diagnostiquer. Si une anomalie est détectée, le système est désactivé et le système de freins fonctionne alors de façon conventionnelle.
- Désactiver le système de freins ABS lorsque le véhicule atteint la vitesse de 5 km/h et moins pour permettre à ce dernier de s'immobiliser.
- Lorsque l'ABS est en service, l'ordinateur contrôle le modulateur d'antiblocage.

Cette composante contrôle et module la pression d'air de chacune des chambres de freins des roues affectées pour empêcher de bloquer la roue. Lors d'un freinage normal, l'air traverse le modulateur antiblocage et se rend aux récepteurs de freinage sans moduler la pression.

3.3.2. Electrovalve

3.3.2.1.Fonction

L'électrovalve est utilisée pour contrôler le débit d'air comprimé attribué à une roue lors d'une phase de freinage, elle est située près de la chambre de pression et contrôlée par le calculateur .L'électrovalve est constituée de deux membranes qui sont pilotées par deux solénoïdes. Elle est généralement fixée au longeron ou à une traverse de châssis.



1-port d'entrée

5-solénoïde de la valve d'entrée

2-port de sortie

6-solénoïde de la valve de sortie

3-valve d'entrée

7-port d'échappement

4-valve de sortie

Figure 3.1 - L'électrovalve et ses composants.[6]

3.3.2.2. Caractéristiques techniques

Pression de service : 10 bars

Plage de température de service : -40°C à +45°C

Voltage: 24V \pm 10%

Puissance absorbée : 10W

Moyen: Air comprimé

Poids approximatif : 0,5 kg

Diamètre de passage : 1,9 m

3.3.3. Capteur de vitesse

Le capteur de vitesse informe en permanence le calculateur sur la vitesse de rotation des roues. Chaque capteur est constitué d'un noyau magnétique et d'une bobine. Il est placé à proximité des dents d'une couronne (ex:100 dents) selon un entrefer à respecter (réglable ou non réglable). La variation de flux magnétique créée par la rotation de la couronne induit une tension alternative (signal sinusoïdal) dont la fréquence et la tension sont proportionnels à la vitesse

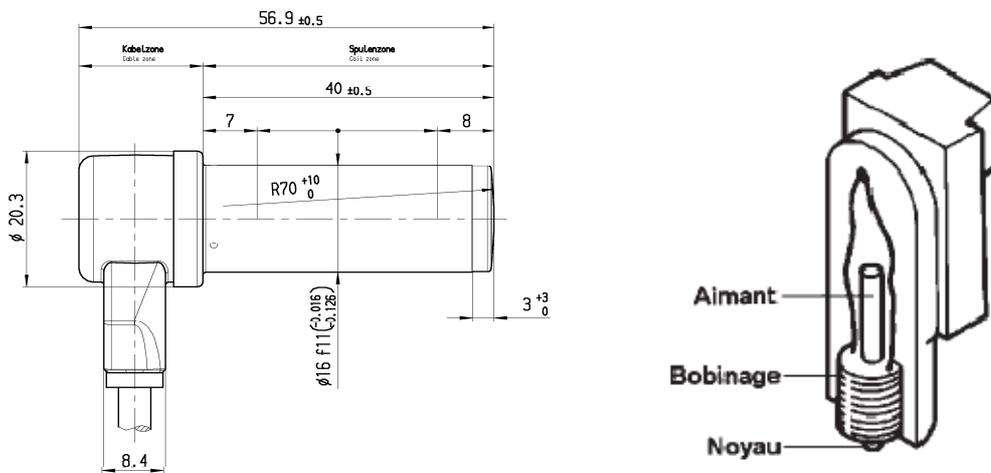


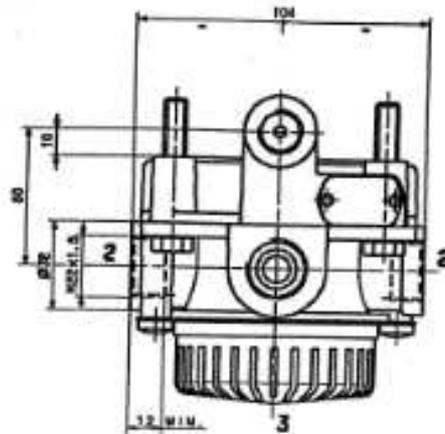
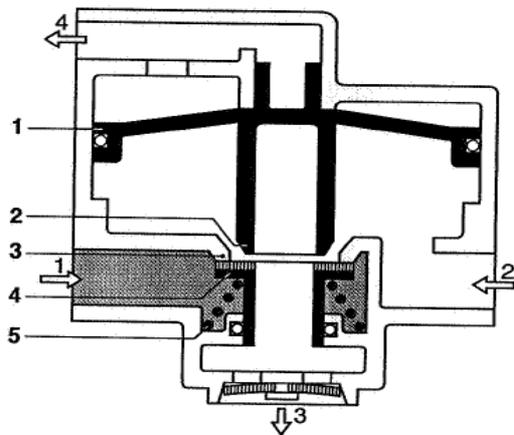
Figure 3.2 - Le capteur de vitesse. [3]

3.3.4. Valve Relais

La valve relais compense l'éloignement de la pédale de frein. Plus elle sera éloignée des récepteurs de freinage arrière, plus l'application des freins arrière prendra du temps. En outre, lorsque l'essieu arrière est double, il faut encore plus d'air pour actionner les récepteurs de freinage.

La valve relais reçoit l'air directement du réservoir de l'essieu arrière. La conduite d'air reliant la pédale de frein et la valve relais devient par conséquent une conduite de "commande" ou de "signalisation".

Lorsque le conducteur applique les freins, "une plus petite quantité d'air est acheminée plus rapidement vers la valve relais" et lui commande de laisser passer l'air directement du réservoir aux récepteurs de freinage.



- 1- Plongeur contrôleur.
- 2- Siège du plongeur contrôleur.
- 3- Siège du boîtier.
- 4- Plaque de soupape.
- 5- Ressort.

Figure 3.3 - La valve relais.

3.4. Modifications apportées au véhicule :

3.4.1. Modification sur le circuit pneumatique :

Sur l'ancien système, et au niveau de la distribution d'air entre les roues de gauche et celles de droite, on utilisait des soupapes de desserrage rapide. Et sur le nouveau système, et afin de compenser le retard de freinage entre l'avant et l'arrière, on placera une valve relais.

Donc et pour se faire, on doit ajouter une quatrième canalisation venant de la pédale de frein dite : Tuyau d'excitation.

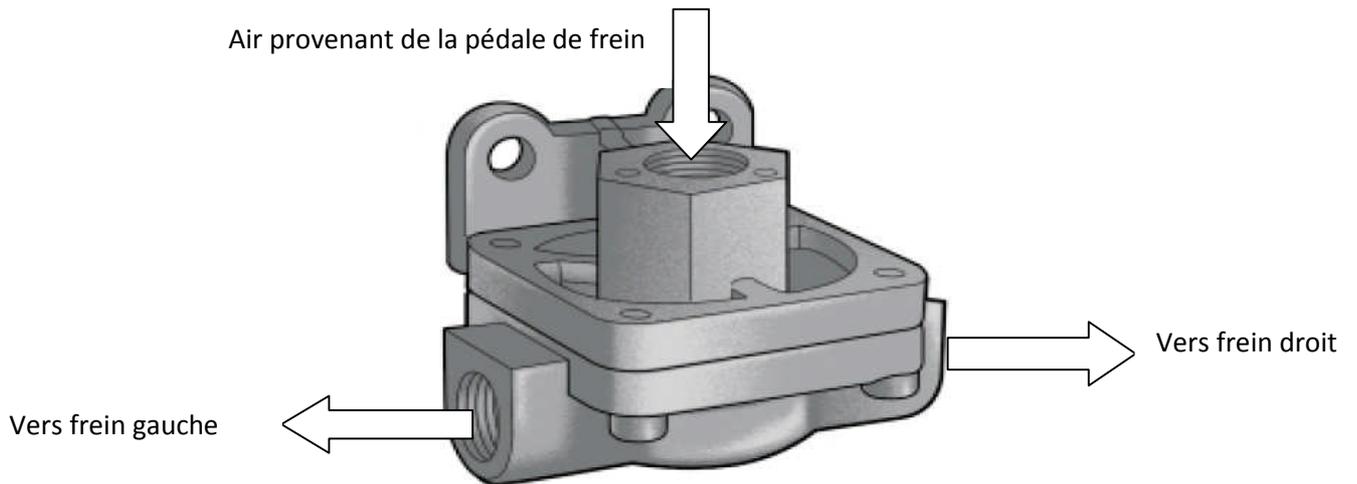


Figure 3.4 - Circuit avec soupape de desserrage rapide

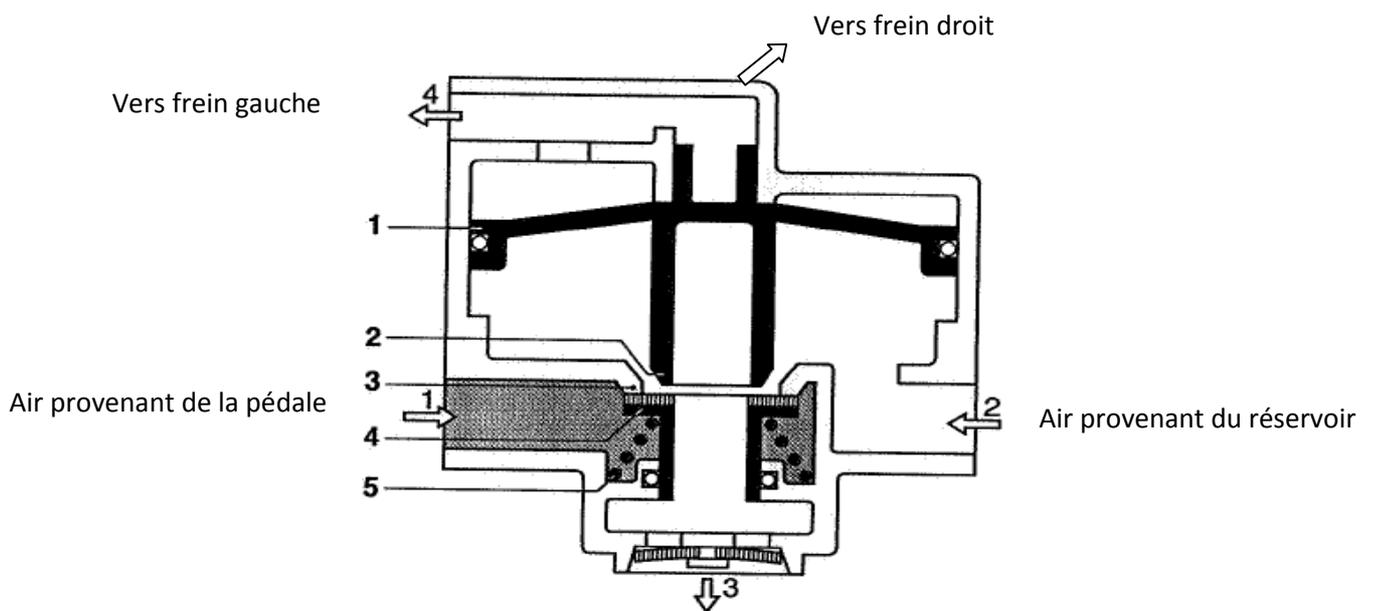


Figure 3.5 - Circuit avec valve relais

3.4.2. Modification sur l'essieu avant :

Afin d'avoir la vitesse de chaque roue en permanence, on installera des capteurs de vitesse sur chacune d'entre elles.

Donc, il faut faire quelques modifications et ajouter de nouvelles pièces pour loger ces capteurs.

3.4.2.1. Logement du support capteur

Ce logement est obtenu en prenant le support frein puis en réalisant un trou un lamage et un chanfrein tout en respectant la symétrie.

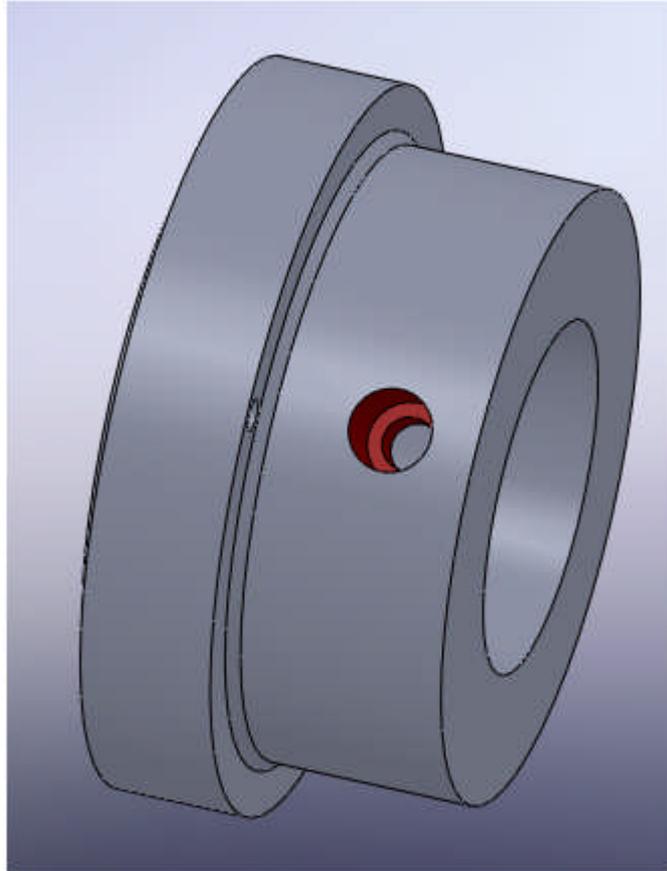


Figure 3.6 - Support frein.

- **Montage du capteur**

- Montage de la douille sur le support capteur.
- Application de la pate (I900693 KNORR) sur la surface du capteur.
- Montage du capteur sur la douille.
- Le capteur doit être monté jusqu'à ce qu'il soit en contact de la roue dentée, de façon à avoir une fois en marche, un jeu de 0,6mm entre les deux.

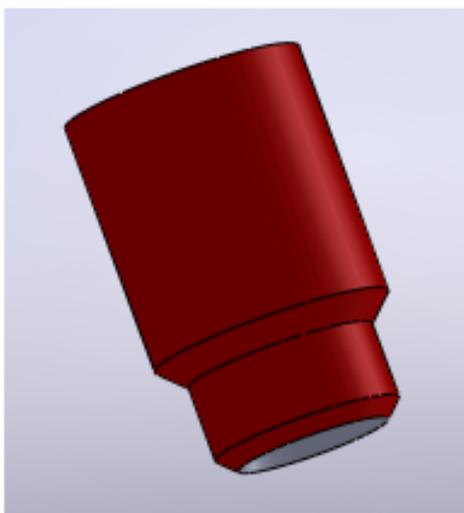


Figure 3.7 - Support capteur.

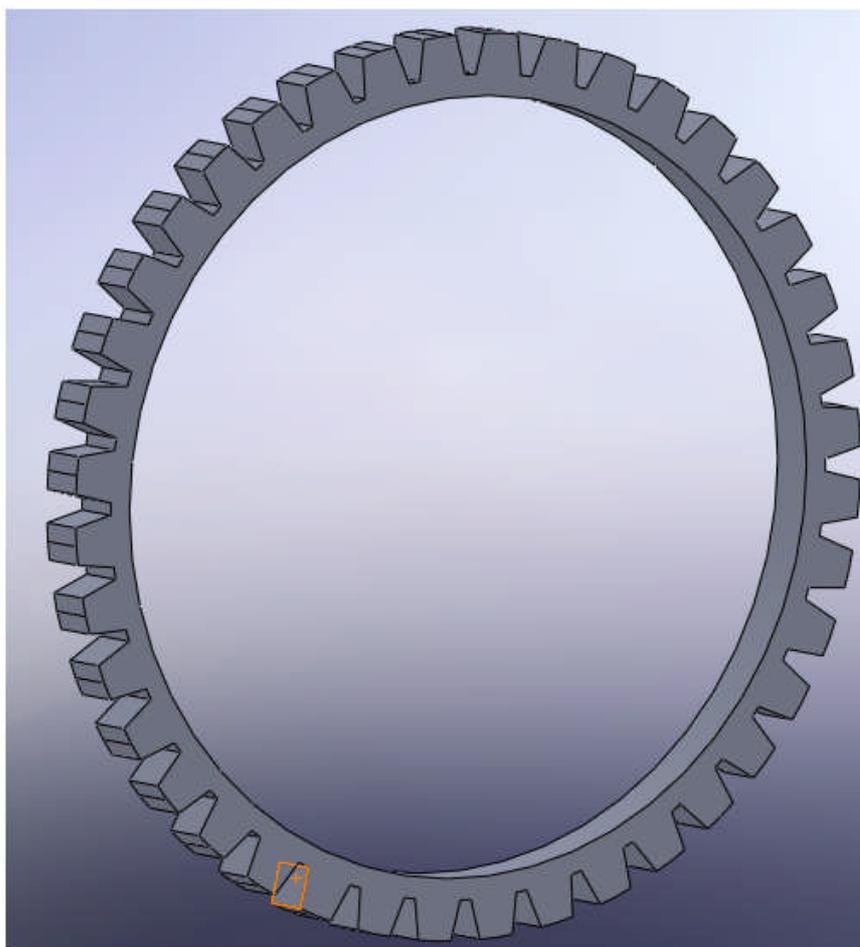


Figure 3.8 - Roue dentée.

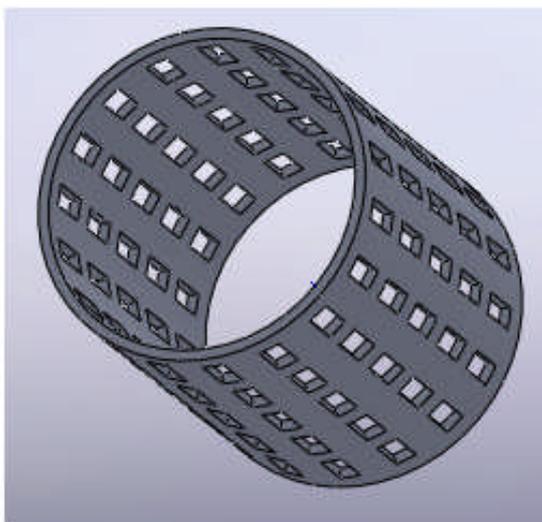


Figure 3.9 - Douille

3.4.3. Modifications sur le pont arrière

Afin de monter le capteur sur le pont arrière, on réalisera un support capteur qui est différent de celui de l'essieu avant. De plus nous allons enlever de la matière au niveau du moyeu afin de pouvoir placer le support couronne, ainsi que la couronne.

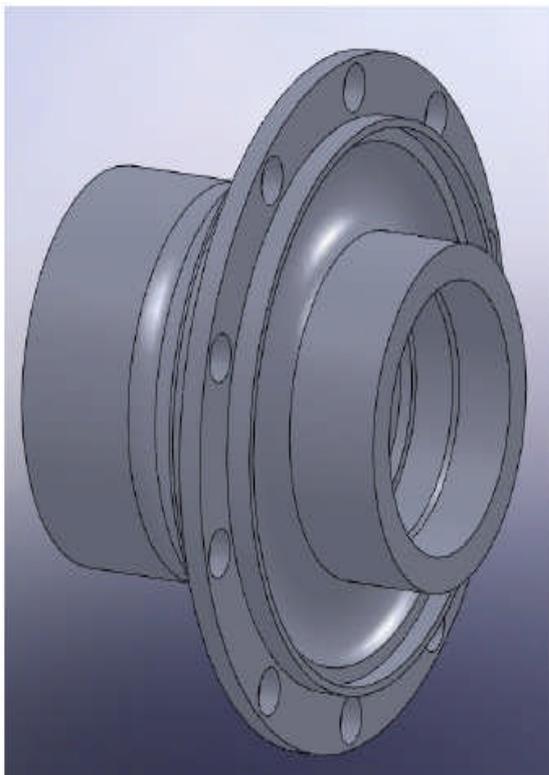


Figure 3.10 - Moyeu avant usinage.

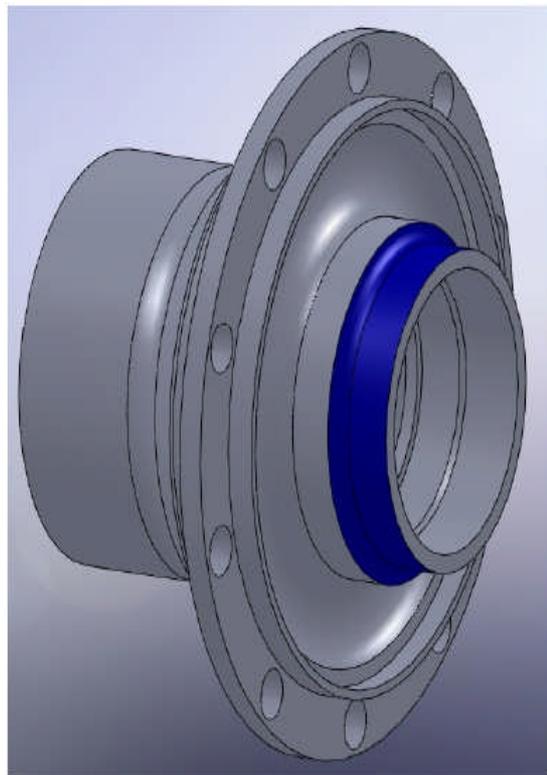


Figure 3.11 - Moyeu après usinage.

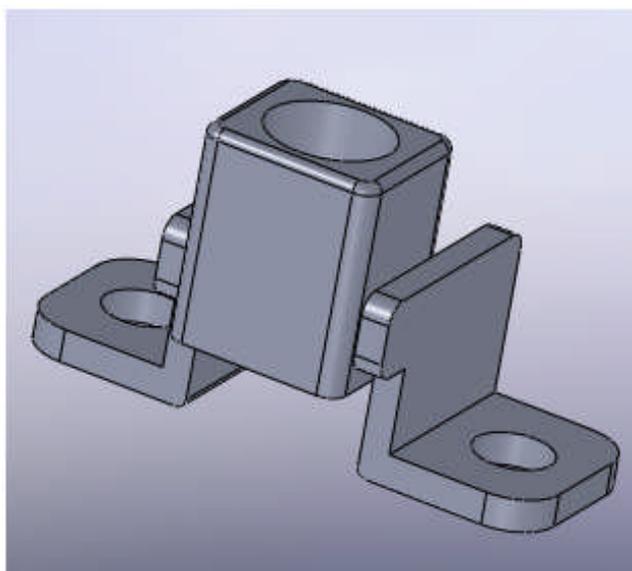


Figure 3.12 - Support capteur (pont arrière).

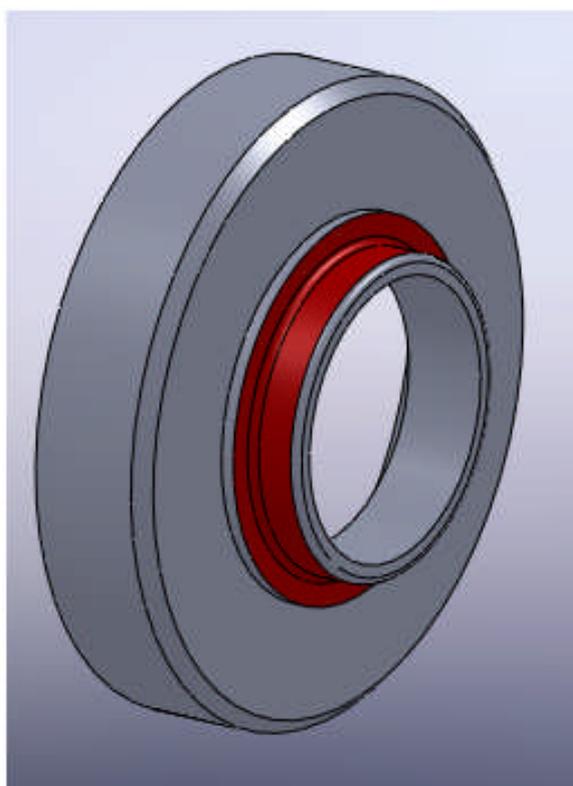


Figure 3.13 - Support couronne.



Figure 3.14 - Couronne.

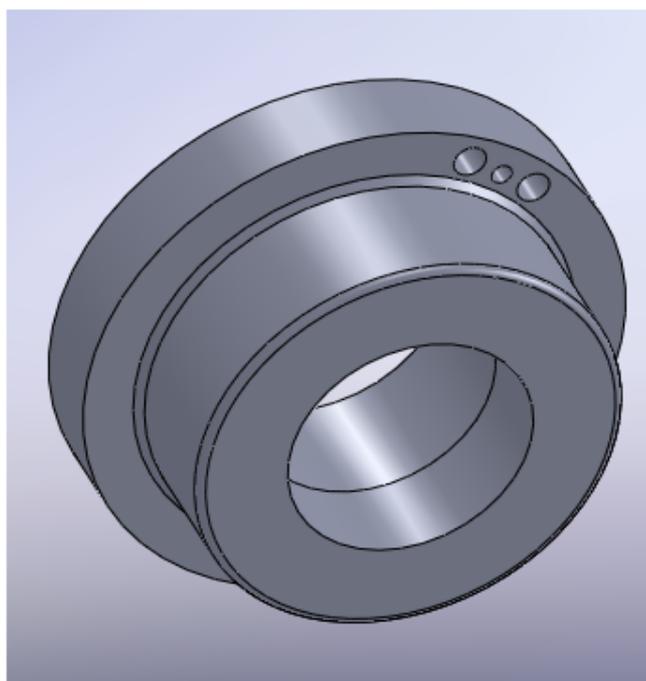


Figure 3.15 - Support frein (pont arrière).

Remarque :

Le montage du support couronne sur le moyeu ainsi que de la couronne sur son support doit être fait avec serrage.

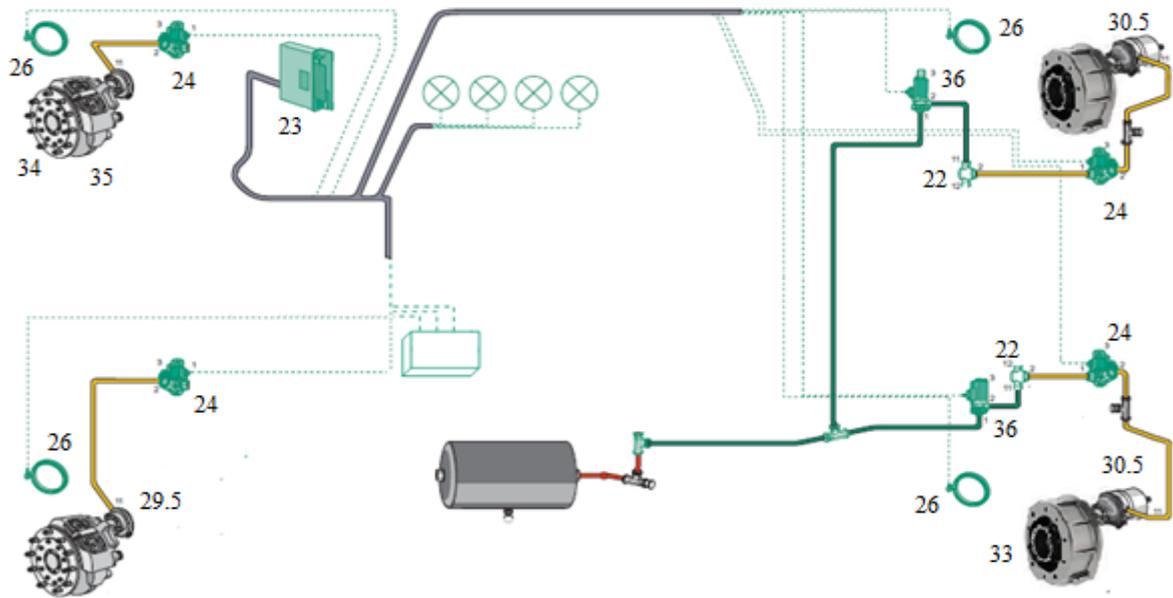


Figure 3.16 - Schéma du système électronique ABS.

3.5.Régulation de l'ASR

3.5.1. Rôle

La traction intégrale du véhicule a pour fonction première d'éviter le patinage des roues lors de la perte de traction. Ce système, jumelé au système ABS, améliore les performances du véhicule dans des conditions de routes enneigées ou glissantes.

Il convient de souligner l'importance de contrôler la traction lors de l'accélération afin d'éviter le patinage des roues, ce qui a un effet direct sur la surchauffe des différentiels ou le bris d'une composante comme : l'arbre de transmission, les essieux, les roulements de roues, etc.

3.5.2. Fonctionnement

La traction intégrale fonctionne en lien direct avec l'ordinateur du système ABS et le module électronique du moteur. Voilà pourquoi, lorsque le véhicule est muni d'un interrupteur de traction, ce dernier doit toujours être dans la position marche (on) afin de

permettre à l'ordinateur de se configurer en fonction du programme de l'ABS et du contrôle de la traction du véhicule. Si l'interrupteur est à la position arrêt (off), l'ordinateur se configure uniquement pour l'ABS.

Il y a deux façons de recueillir les données sur la révolution des roues pour contrôler le patinage, soit : par le capteur de roues déjà utilisé pour l'ABS ou par un capteur installé directement sur le différentiel. Les capteurs de roues qui servent actuellement à détecter la décélération de la roue pour l'ABS sont aussi utilisés pour détecter l'accélération de celle-ci. Dès que le pneu perd de l'adhérence sur la chaussée, c'est-à-dire qu'il se met à glisser, la roue se met à tourner plus rapidement que les autres. Avec le contrôle de traction, la vitesse de la roue qui patine est rapidement comparée avec la vitesse de rotation des autres roues du tandem.

Lorsque l'ordinateur détecte une révolution anormale d'une roue par comparaison avec les autres, le témoin lumineux de traction situé dans le tableau de bord clignote pour informer le conducteur de cette situation.

Si le chauffeur ne ralentit pas sa vitesse pour permettre à la roue qui patine de retrouver sa traction, l'ordinateur prendra alors le contrôle en transmettant un signal au module électronique du moteur afin de réduire la vitesse. L'ordinateur utilise alors le modulateur antiblocage pour envoyer une pression d'air dans le récepteur de freinage, ce qui permet de ralentir la vitesse de rotation de la roue qui patine.[5]

CHAPITRE 4
COMPARATIF ENTRE L'NCIEN ET LE
NOUVEAU SYSTEME

4.2.Comparaison des deux types de freins

4.2.1. Frein à tambour

Avantages :

- Efficace à basse vitesse.
- Bonne évacuation de la chaleur (bonne tenue en usage intensif).
- Commande de frein à main plus simple.

Inconvénients :

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

4.2.2. Frein à disque

Avantages :

- Efficace à grande vitesse.
- Bonne tenue à l'humidité.
- Meilleur refroidissement.
- La dilatation n'affecte pas la qualité de freinage.
- Jeu de fonctionnement faible, action rapide.
- Bonne progressivité.
- Répartition uniforme de la pression.

- Absence de déformation.
- Puissance de freinage identique en marche avant et en marche arrière.
- Pas de réglage (rattrapage de jeu automatique).
- Remplacement des garnitures plus rapide.

Inconvénients :

- Problème de refroidissement en usage intensif.
- Bruit.
- Prix.

4.3.Surveillance du système ABS

4.3.1. Essai du système statique

Un essai de système statique est effectué immédiatement quand l'ECU est mis sous tension, par lequel chaque micro-ordinateur exécute un autotest. Cet autotest comporte des essais de RAM et de ROM, aussi bien que des essais du rupteur d'allumage et d'un grand nombre de fonctions arithmétiques et logiques. L'essai de système statique inclut également des essais d'autres composants tels que des étapes de relais et le rendement des soupapes. Un essai électrique des vannes électromagnétiques et des détecteurs de vitesse de roue est également inclus dans cet essai de système statique.

4.3.2. Instructions de sûreté du conducteur

L'ABS augmente la sûreté de véhicule en optimisant la traction entre les pneus et la route, mais il ne peut pas surmonter les lois physiques. L'ABS ne peut pas compenser le manque de vigilance du conducteur, le non respect des distances de sécurité ou l'entraînement dans une courbe avec la vitesse excessive.

Lorsque le véhicule est en route, un système électrique est employé pour surveiller le fonctionnement de tous les composants d'ABS les plus importants. La lampe d'avertissement s'allume quand la clé de contact est tournée. Si celle-ci ne s'éteint pas quand le véhicule est

en marche, c'est un signe que l'ABS est désactivé ou qu'il est partiellement handicapé d'un défaut.

Si l'ABS est hors usage, le conducteur a toujours la pleine utilisation du circuit de freinage conventionnel à sa disposition. Quand la lampe d'avertissement s'allume ceci indique qu'il y a danger de blocage d'une roue. Le conducteur devrait exercer l'attention en freinant pour éviter la perte de contrôle due à la roue dérapent.[5]

Quand un défaut se produit, il est essentiel que l'ABS soit vérifié immédiatement dans un atelier autorisé afin de réparer le défaut et ramener le système en fonctionnement normal.

En outre, on recommande à ce que l'ABS soit soumis à une vérification régulière dans le cadre des vérifications courantes effectuées sur le véhicule.

-Tout le travail effectué sur l'ABS doit être effectué seulement par le personnel autorisé.

-Le conducteur est responsable de noter la lampe d'avertissement. Détection

4.3.3. Surveillance du capteur de vitesse de roue

- **Surveillance de matériel [5]**

Échec	Temps de détection	Détection	Résistance
Câble déchiré	< 800 Ms	> 84 kΩ	> 84 kΩ
court-circuit bas	< 400 ms	< 13.6 kΩ	< 13.6 kΩ
court-circuit haut	< 350 ms	< 246 kΩ	< 120 kΩ

- **Perte de signal de sonde**

Si une perte soudaine d'un signal de sonde apparaît l'ECU détectera un échec.

Temps d'identification du défaut : < 100 ms

4.3.4. Surveillance de valve de modulateur de pression

Afin de détecter des défauts, les valves et la mise à la terre sont cycliquement allumés par une impulsion d'essai. Chaque impulsion d'essai a une période d'approximativement 0.1 Ms.

4.3.5. Lampe d'avertissement

La fonction primaire de la lampe d'avertissement est d'informer le conducteur au sujet de la condition du système. La lampe d'avertissement est également utilisée pour transmettre des codes de clignotement au système d'information. [5]

La lampe d'avertissement est branchée après "power on ". Si un défaut de capteur de vitesse était stocké avant le dernier "power off ", la lampe d'avertissement reste allumée jusqu'à ce que l'essai statique et l'essai dynamique soient accomplis avec succès.

4.4. Qualités d'un freinage avec ABS

- L'ABS permet au conducteur de continuer à diriger le véhicule tout en pressant fortement sur les freins car les roues ne bloquent pas. [8]
- La distance d'arrêt est plus courte pour une voiture ayant l'ABS car l'efficacité est maximale jusqu'à l'arrêt. [7]
- L'ABS permet de garder un meilleur contrôle du véhicule en cas de freinage brusque.
- Avec l'ABS il vaut mieux monter des pneus neige en hiver parce que l'accumulation de neige devant la roue bloquant crée un sabot freinant.

4.5. Approche économique

La sécurité devenant un maître mot dans le domaine du transport en générale, routier en particulier, la SNVI se devait donc de s'aligner avec les grands constructeurs en matière de sécurité à bord des véhicules qu'elle propose au marché.

Pour se faire, la SNVI à du opérer des modifications notamment au niveau des dispositifs de freinage sur les véhicules qu'elle produit, et pour être compétitive sur le plan de sécurité et de qualité de freinage . la SNVI a fait appelle au leader dans le domaine du freinage ABS, et dont la réputation n'est plus à faire, la société KNORR BREMSE.

Seulement la qualité a un cout, un cout qui n'a malheureusement pas fait l'objet d'une étude poussé de la part de la SNVI.

Le cout de modification du système de freinage ainsi que ceux de montage, ces derniers qui comprennent également la modification des essieux afin d'assurer la compatibilité avec le

nouveau dispositif de freinage. A cet effet la SNVI a fait appel a AXLE-TECH pour l'approvisionnement en essieux dotés de disques (au lieu de tambour pour l'ancienne version de véhicules 100V8).

La SNVI a donc tenté de répercuter les couts d'achat de kits ABS ainsi que ceux de montage sur les véhicules concernés (le 100L6 qui a fait l'objet de notre étude) directement sur le prix de vente du véhicule en réduisant sa marge le plus possible afin de garder un profil compétitif.

CONCLUSION GENERALE

Nous avons vu, tout au long de ce mémoire, les différentes étapes de fonctionnement d'un système de freinage pneumatique équipé d'ABS, ainsi que tous ses composants mécaniques et électriques.

L'ABS est un équipement d'une valeur inestimable lors d'un freinage dans des conditions difficiles ou d'urgence. Il permet au conducteur de continuer à diriger le véhicule tout en pressant fortement sur les freins (car les roues ne bloquent pas). Lors de son apparition le nombre d'accidents a été énormément réduit, voir la moitié en moins d'un an. Malgré cela, il est de la responsabilité du conducteur de s'adapter en tout temps aux conditions de la chaussée ainsi qu'au trafic.

L'adaptation de l'ABS sur notre véhicule n'était pas une tâche difficile, par contre, les gains apportés étaient remarquables. Le véhicule a gagné en équilibre et sa conduite est devenue plus sûre.

Enfin, le système ABS apporte d'énormes gains sur le plan sécuritaire, et les véhicules circulant sur nos routes doivent tous en disposer. Mais ce système a des capacités limites et ne peut pas créer de miracles, et c'est au conducteur à rester vigilant tout en respectant le code de la route.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Jean-Jacques CARRÉ** 'Technologie du freinage', Techniques ingénieurs B5574, 1990.
- [2] **Jean-Jacques CARRÉ** 'Théorie du freinage', Techniques ingénieurs B5570.1992.
- [3] **Société de l'assurance automobile du Québec**, 'Manuel des freins à air comprimé', 1990
- [4] **Peter Roy** 'Manuel des freins pneumatiques', Nouveau-Brunswick, 1^{er} trimestre 1990.
- [5] **T/ESS1.1-Smd** 'Customer Specification for Electronic Control Unit' 'ABS 6 Standard + Premium, 1995
- [6] **KNORR-BREMSE** 'Information for Commercial Vehicle Products', Product catalogue, 2005
- [7] **KNORR-BREMSE** 'Air brake systems for Commercial Vehicles', 71/320/EEC, 1998.

ANNEXE :

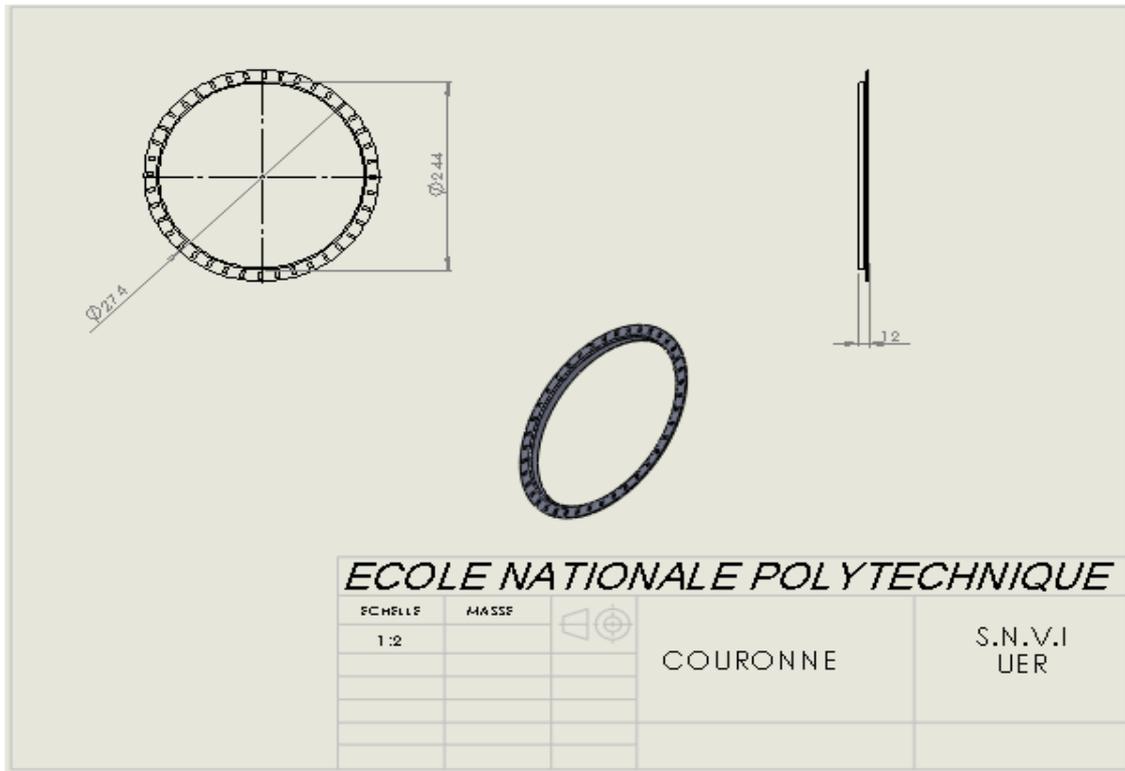


Schéma de la couronne

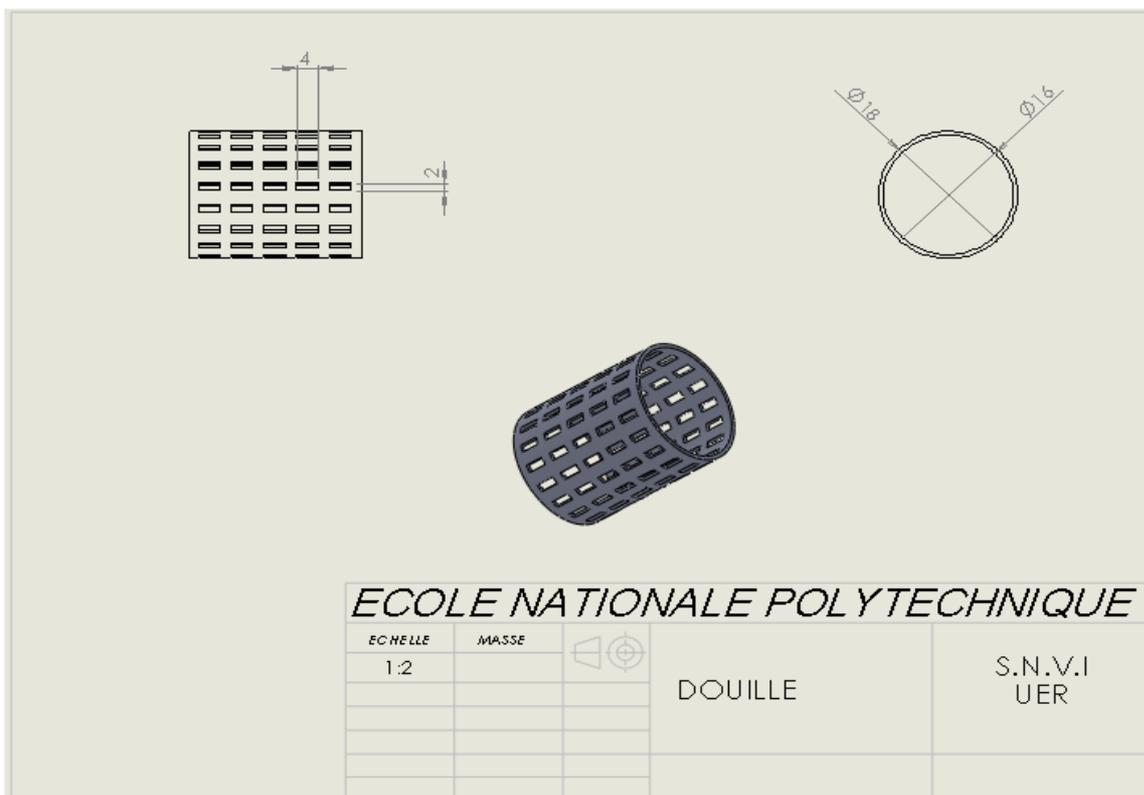


Schéma de la douille

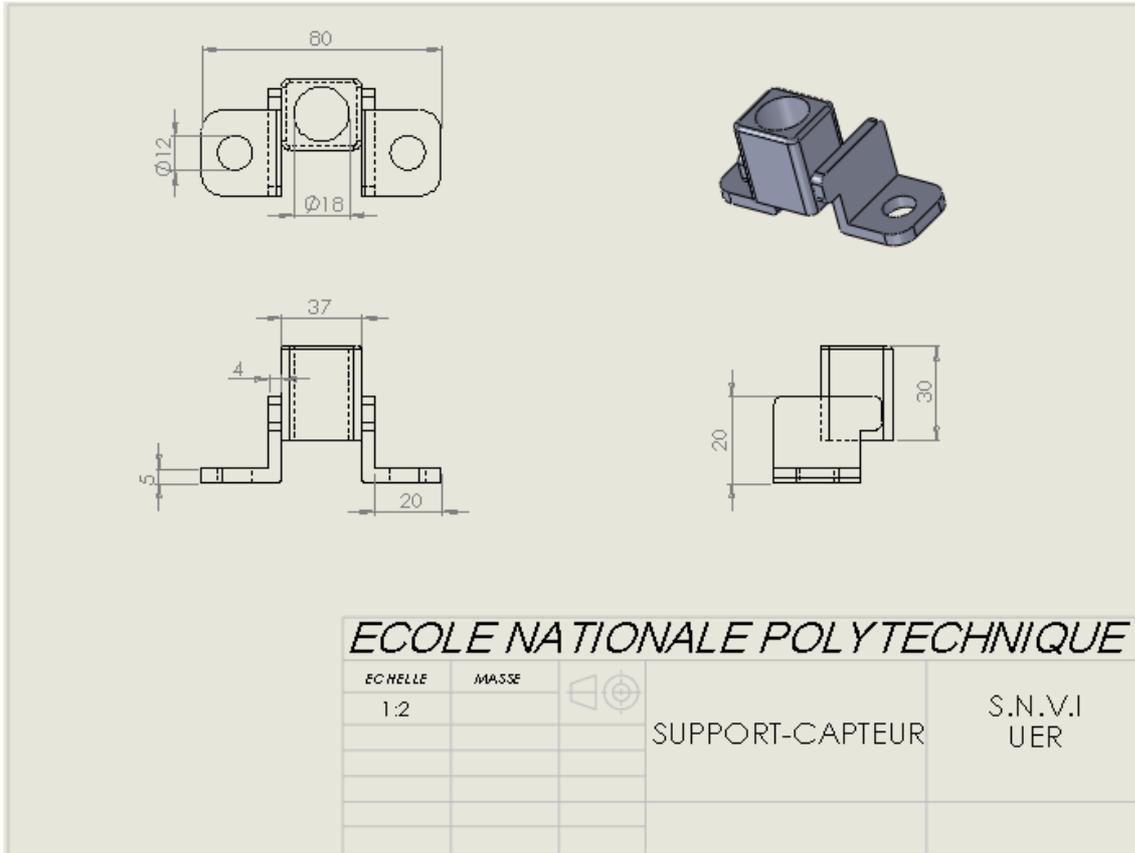


Schéma du support capteur

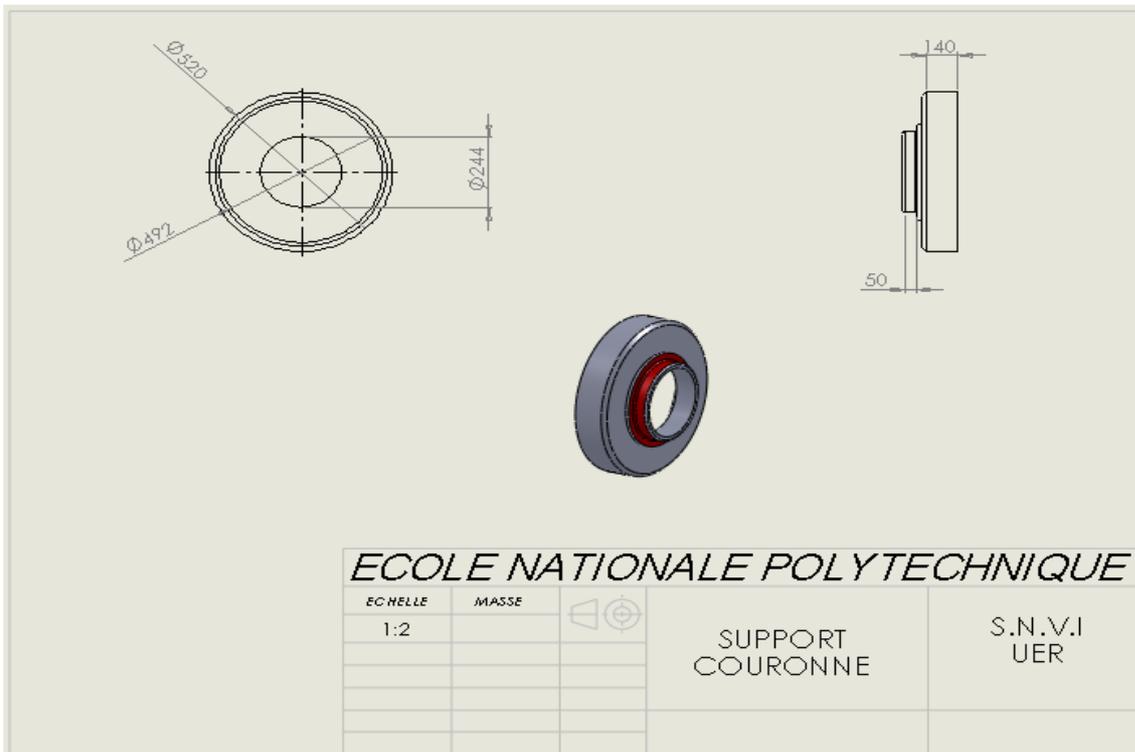


Schéma du support couronne

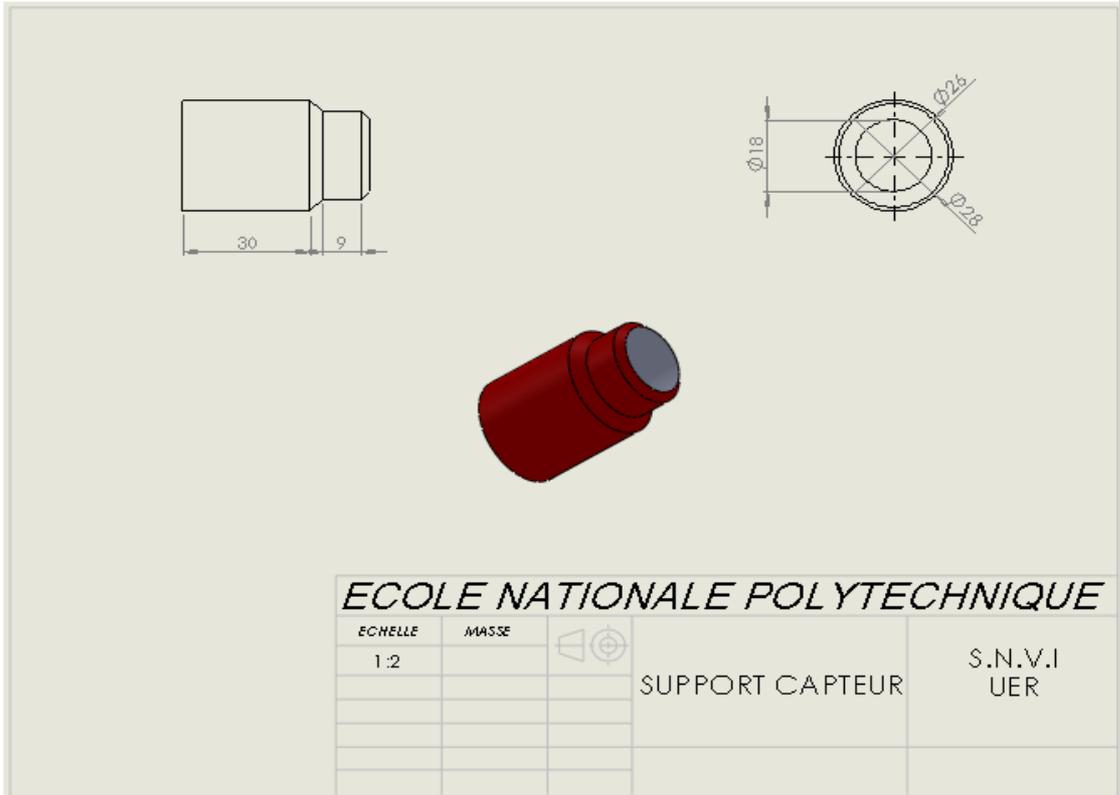


Schéma du support capteur

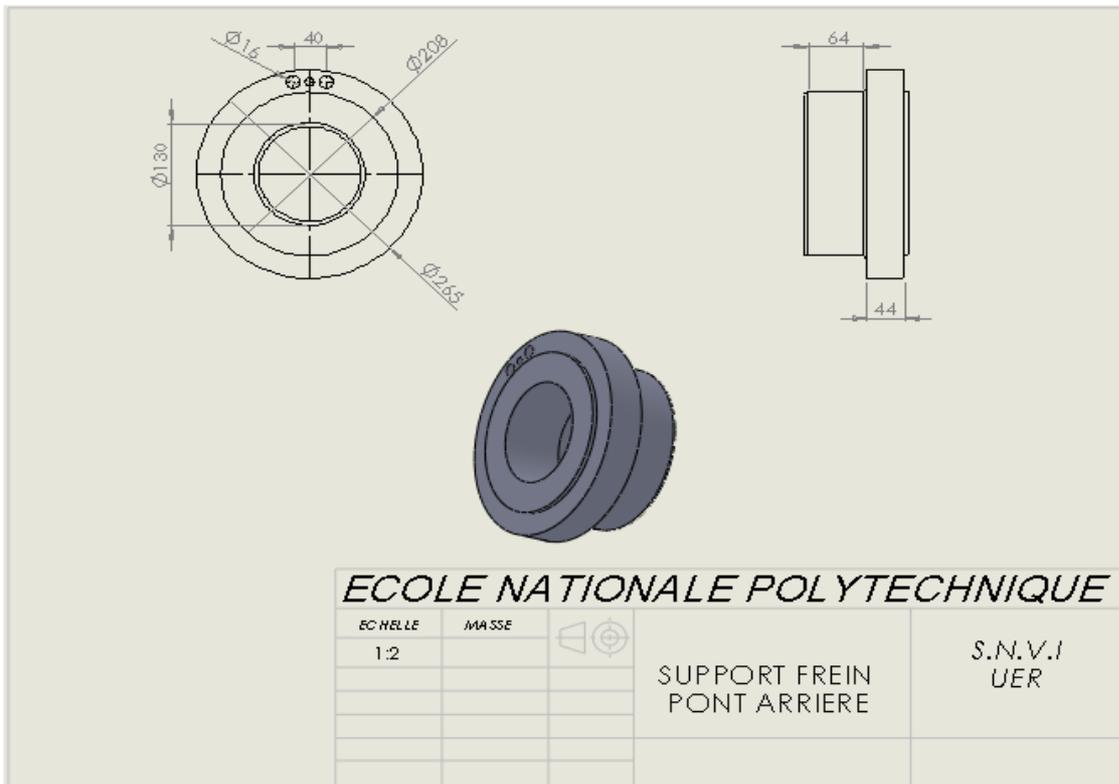


Schéma du support frein (pont arrière)

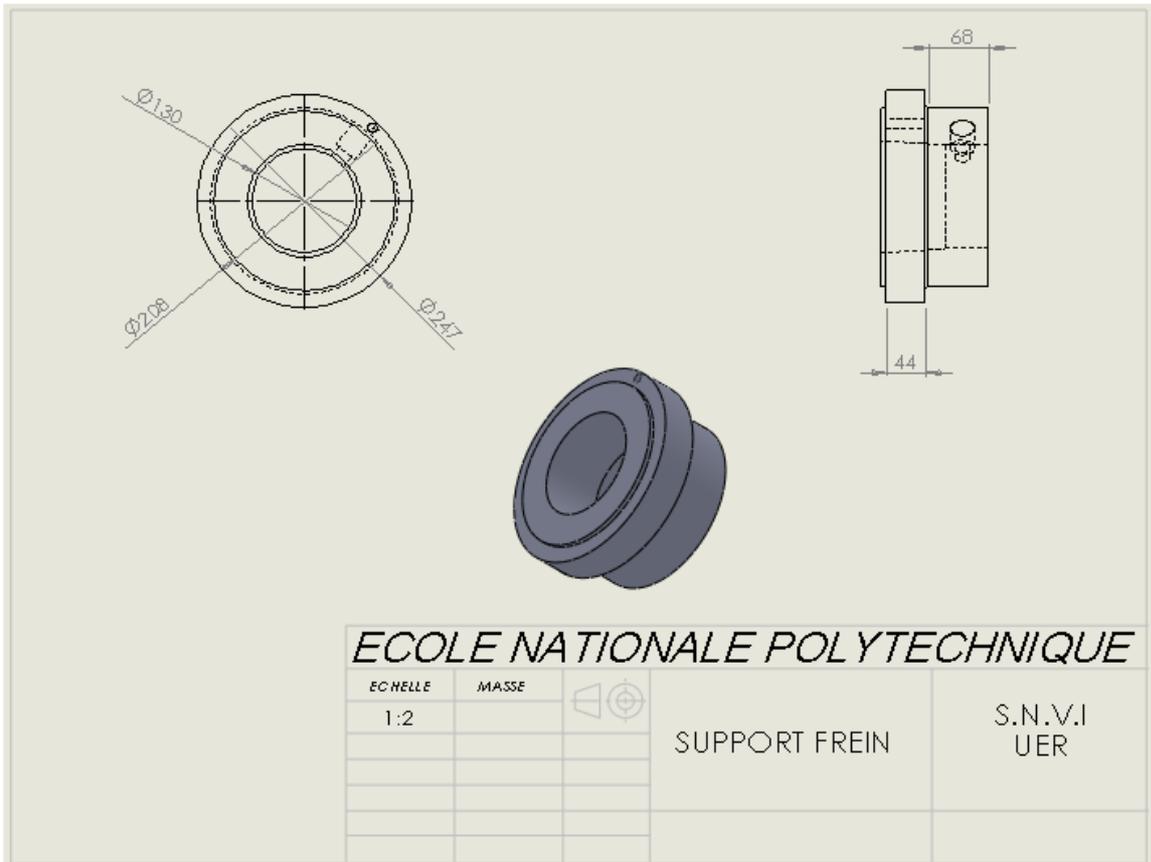


Schéma du support frein (essieu avant)