

**République algérienne démocratique et populaire**

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université KASDI MERBAH – Ouargla**

**Faculté des sciences Appliquées**

**Département Génie Mécanique**

**Mémoire**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Spécialité : Génie Mécanique**

**Option : Fabrication Mécanique et  
productique**

***Thème***

**Conception et simulation sous SolidWorks d'un système de freinage  
(frein-disque Type Abs)**

**Présenté et soutenu publiquement par :**

**SERRAOUI ABDERRAOUF**

**ABBASSI HATEM**

**Soutenu le : 28/05 /2025**

**Devant Le Jury :**

**MEBARKI ABDELYAMIN**

**UNIV OUREGLA**

**DIRECTEUR DU MEMOIRE**

**BOUKHATEM MOURAD**

**UNIV OUREGLA**

**PRESIDENT**

**BAATOCH MOUNA**

**UNIV OUREGLA**

**EXAMINATEUR**

**ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2024/2025**

# Remerciements

---

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant*

*Et miséricordieux, aide-nous et donne-nous la patience*

*Et du courage pendant tout ça*

*De longues années d'études et l'achèvement de cette thèse actuelle.*

*Nous tenons à remercier notre superviseur **M. Mubarak Abdul Yamin,***

*Pour son accord à diriger ce travail et pour sa grande importance*

*Des compétences à la fois pédagogiques et scientifiques, afin de*

*Des conseils et commentaires fructueux et nous le remercions  
chaleureusement.*

*Sa gentillesse et ses encouragements.*

*Nos remerciements vont également aux membres*

*Du jury pour approuver l'évaluation de ce travail.*

*Nous tenons à vous adresser à tous nos sincères remerciements.*

*Les professeurs et tous ceux qui nous ont aidés pendant notre période  
d'étude*

*L'enseignement universitaire en général et l'enseignement universitaire  
en particulier*

*Département de génie mécanique en particulier.*

*Nous adressons également à tous nos sincères remerciements.*

*Ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de  
ce travail.*

# Dédicaces

---

*Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu Tout-Puissant qui m'a accordé  
Il m'a ouvert les portes de la connaissance et m'a permis de faire ce travail. je*

*Je dédie cet humble ouvrage aux deux êtres qui me sont très chers en*

*Cette vie, c'est-à-dire mon père **Bourrahla**, et ma mère **Hafsa**, qui*

*Tu as été fait pour que j'arrive ici, merci du fond du cœur*

*De tout mon cœur pour toutes vos actions, votre amour et votre miséricorde.*

*Votre gentillesse, votre soutien, votre patience tout au long de mon séjour.*

*Etudes, sans votre soutien ce message n'aurait pas été possible*

*Sérieusement, merci d'être toujours là pour moi.*

*Avec toute ma loyauté et mon amour envers vous deux, mes parents,*

*Je ne pourrai jamais t'égaliser. Je dédie également ce travail à :*

*Aux membres de ma famille : **Mohammed Yassin, Mohssen ,Abderrahman  
,Monsef ,Abdelwahid.***

*À mes amis : **mohammed sedik , Hamza, mohammed***

*À toute ma famille et à mes proches*

*À mon cher partenaire **Hatem** et sa famille*

*À tous mes amis et collègues de deuxième année de Master*

*Spécialisation en génie mécanique Construction mécanique et technologies de  
production ;*

*À tous ceux qui occupent une place spéciale dans mon cœur.*

**Abderraouf**

# Dédicaces

---

*Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu Tout-Puissant qui m'a accordé  
Il m'a ouvert les portes de la connaissance et m'a permis de faire ce travail. je*

*Je dédie cet humble ouvrage aux deux êtres qui me sont très chers en  
Cette vie, c'est-à-dire mon père **Boubaker**, que Dieu lui fasse miséricorde, et ma  
mère **Nafisa**, qui*

*Tu as été fait pour que j'arrive ici, merci du fond du cœur  
De tout mon cœur pour toutes vos actions, votre amour et votre miséricorde.  
Votre gentillesse, votre soutien, votre patience tout au long de mon séjour.*

*Etudes, sans votre soutien ce message n'aurait pas été possible*

*Sérieusement, merci d'être toujours là pour moi.*

*Avec toute ma loyauté et mon amour envers vous deux, mes parents,  
Je ne pourrai jamais t'égaliser. Que Dieu te bénisse. Je dédie également ce travail à :*

*À mes chères sœurs **Hadjer** et **Abir**, qui sont toujours*

*Soutenu et encouragé*

*Aux membres de ma famille : **Mohammed Said**, **Fide AL Rahman***

*À mes amis : **Zino** , **Fouzi**, **Abdo**, **Mohamed**, **Aymen***

*À toute ma famille et à mes proches*

*À mon cher partenaire **ABDERRAOUF** et sa famille*

*À tous mes amis et collègues de deuxième année de Master*

*Spécialisation en génie mécanique Construction mécanique et technologies de  
production ;*

*À tous ceux qui occupent une place spéciale dans mon cœur.*

**Hatem**

## ملخص:

يقدم هذا العمل تصميم نظام الفرامل المانعة للانغلاق (ABS) في المركبات والمحاكاة بواسطة برنامج

## **ANSYS**

في الوقت الحاضر، أصبحت ميزات السلامة، بما في ذلك نظام منع انغلاق المكابح (ABS)، سمة أساسية للسيارات على الطرق الوعرة. تم تصميم أنظمة الفرامل هذه للحفاظ على انزلاق العجلات أثناء الكبح لضمان توجيه السيارة بسهولة. العوامل غير المؤكدة مثل سطح الطريق وضغط الإطارات وكتلة السيارة تسبب انزلاق العجلات المستمر. وبالتالي، لا تزال عملية التحكم في انزلاق العجلات تشكل مهمة صعبة. ويتطلب هذا الوضع تصميم وحدات تحكم قوية وفعالة، قادرة على التعامل مع هذه الشكوك.

وفي الجزء الثاني من هذا العمل ركزنا على الجانب العملي والتطبيقي حيث قمنا بعمل تصميم كامل للأجزاء الأساسية والمهمة في أي نظام ميكانيكي وهي القرص والصفائح. ولم يقتصر الأمر على التصميم النظري فحسب، بل امتد أيضًا إلى مرحلة المحاكاة المتقدمة. سمحت لنا هذه المحاكاة باختبار أداء التصميمين المقترحين في ظل ظروف تشغيل مختلفة وتحليل سلوكهما ومقاومتهما الحرارية وتدفق الحرارة المتوقع. وتهدف هذه الخطوة إلى التأكد من فعالية ومتانة هذه المكونات قبل الانتقال إلى مراحل التصنيع والتطبيق الفعلية.

## Résumé

Cette travail présent la conception d'une system de freinage antiblocage (ABS) des véhicule et simulation par ANSYS

À nos jours, les dispositifs de sécurité, y compris le système de freinage antiblocage (ABS), sont devenus une caractéristique principale des véhicules sur les routes accidentées. Ces systèmes de freinage ont été conçus dans le but de maintenir

le glissement des roues pendant le freinage pour assurer la direction du véhicule facilement. Des facteurs incertains, tels que la surface de la route, la pression des pneus et la masse du véhicule, sont à l'origine de glissement continu des roues. Ainsi, le contrôle de glissement des roues reste toujours une tâche difficile. Cette situation nécessite la conception de contrôleurs forts et efficaces, capables de faire face à ces doutes.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous nous sommes concentrés sur le côté pratique et appliqué, car nous avons réalisé une conception complète des pièces de base et importantes de tout système mécanique, qui sont le disque et les plaques. Elle ne se limitait pas à la conception théorique, mais s'étendait également à l'étape de simulation avancée. Cette simulation nous a permis de tester les performances des deux conceptions proposées dans différentes conditions de fonctionnement et d'analyser leur comportement, leur résistance thermique et le flux de chaleur attendu. Cette étape vise à garantir l'efficacité et la durabilité de ces composants avant de passer aux étapes de fabrication et d'application proprement dite.

### **Abstract:**

This work presents the design of a vehicle anti-lock braking system (ABS) and simulation by ANSYS

Nowadays, safety devices, including anti-lock braking systems (ABS), have become a key feature of vehicles on rough roads. These braking systems were designed to maintain wheel slippage during braking to ensure smooth steering. Uncertain factors, such as the road surface, tire pressure, and vehicle mass, are responsible for continuous wheel slippage. Thus, controlling wheel slip remains a challenging task. This situation requires the design of robust and efficient controllers capable of addressing these uncertainties.

In the second part of this work, we focused on the practical and applied aspects, as we carried out a comprehensive design of the basic and important parts of any mechanical system, namely the disc and plates. This was not limited to the theoretical design but also extended to the advanced simulation stage. This simulation allowed us to test the performance of the two proposed designs under different operating conditions and to analyse their behavior, thermal resistance, and expected heat flow. This step aims to ensure the effectiveness and durability of these components before moving on to the actual manufacturing and application stages.

# SOMMAIRE

Remerciements .....	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	IV
Sommaire.....	VII
Liste de figure.....	X
Introduction générale .....	XIV

## CHAPITRE I : LES DIFFÉRENT TYPES DE FREINS

Introduction .....	2
I-1 Définition de freinage .....	2
I-2 Fonction Global .....	3
I-3-Le principe de freinage .....	4
I-4 Historique .....	6
I-5 Les différents types de frein .....	7
I-6-1 Frein a tambour .....	7
I-6-1-1 Fonctionnement .....	8
I-6-2 frein à Disque .....	8
I-6-2-1 Fonctionnement.....	9
I-6-2-2 Les Composant d'un frein disque.....	10
I-6-3 frein a Lair (pneumatique) .....	10
I-6-3-1 Les composants d'un système de freinage pneumatique .....	10
I-6-3-2 Fonctionnement du système pneumatique .....	11
I-6-4 Frein hydraulique .....	12
I-6-4-1 Principe de fonctionnement .....	13
I-6-5 Freinage sur Jante .....	14
I-6-5-1 Différentes technologies .....	14
I-6-5-2 Le système de frein a jante .....	14
I-6-6 Les inconvénients du frein classique .....	15
I-6-7 le système de freinage ABS .....	15
I-6-7-1 Définition .....	15
I-6-7-2 Le principe de fonctionnement du frein ABS .....	16

<b>I-7-Le disque</b> .....	17
<b>I-7-1 Les différents Types de disque frein</b> .....	17
<b>A -Le disque plein. (Le plus courant)</b> .....	18
<b>B- Le disque percé, ventilé</b> .....	18
<b>C- Le disque en carbone</b> .....	19
<b>D- Les disques rainurés</b> .....	19
<b>E-Les disques percés</b> .....	20
<b>F-Le disque ventilé</b> .....	20
<b>I-8 Les plaquettes</b> .....	21
<b>I-9 Les Matériaux du disque frein</b> .....	24
<b>I-9-1 Fonte grise</b> .....	24
<b>I-9-2 Aciers inoxydables</b> .....	25
<b>I-9-3 disques céramique et carbone</b> .....	27
<b>I-10 Conclusion</b> .....	30

## **CHAPITRE II : SYSTÈME DE FREINAGE ABS (DISC – PLAQUETTE)**

<b>Introduction</b> .....	32
<b>II-1 Historique L'ABS</b> .....	32
<b>II-2 La nécessité du freinage ABS</b> .....	34
<b>II-3 Définition</b> .....	34
<b>II-4 Le principe du freinage</b> .....	36
<b>II-5 Objectifs de L'ABS</b> .....	37
<b>II-6 Les composants du système</b> .....	38
<b>a) Boîtier de commande électronique (ECU)</b> .....	38
<b>b) Ensemble modulateur</b> .....	39
<b>c) Capteurs de vitesse des roues</b> .....	41
<b>d) Témoin ABS</b> .....	43
<b>II-7 Structure de l'ABS</b> .....	44
<b>II-8 Description fonctionnelle des actionneurs d'ABS</b> .....	45
<b>II-8-1 Fonction d'actionneur HAB</b> .....	45
<b>II-8-2 Fonction d'actionneur EHB</b> .....	47
<b>II-9 Classification montage de système ABS</b> .....	48
<b>II-10 Modulateur antiblocage</b> .....	50

<b>II-11 Généralité sur les capteurs .....</b>	<b>51</b>
<b>II-11-1 Placement des capteurs de force dans une voiture .....</b>	<b>53</b>
<b>II-12 Conclusion .....</b>	<b>54</b>

## **CHAPITRE III : CONCEPTION SOUS SOLID WORKS - SIMULATION PAR ANSYS**

<b>III-1 Conception par Solid Works :.....</b>	<b>56</b>
<b>III-1-1 Introduction : .....</b>	<b>56</b>
<b>III-1-2 SOLID WORKS : .....</b>	<b>56</b>
<b>III-1-3 Historique : .....</b>	<b>56</b>
<b>III-1-4 Les principales étapes pour conception d'un disque de frein :.....</b>	<b>57</b>
<b>III-1-4-a Le disque percé, ventilé Assemble avec Ertier: .....</b>	<b>57</b>
<b>III-1-4-b Disc de MOTO : .....</b>	<b>63</b>
<b>III-1-4-c Disque percé : .....</b>	<b>66</b>
<b>III-1-4-d Etrier : .....</b>	<b>69</b>
<b>III-1-4-e disque plein : .....</b>	<b>71</b>
<b>III-1-4-f Le disque percé, ventilé : .....</b>	<b>72</b>
<b>III-2 Simulation par ANSYS : .....</b>	<b>75</b>
<b>III-2-1 Présentation du logiciel : .....</b>	<b>75</b>
<b>III-2-2 les principales étapes pour simulation numérique d'un disque de frein : .....</b>	<b>76</b>
<b>III-2-3 Analyse et résultat : .....</b>	<b>80</b>
<b>III-2-3-a Les résultat de simulation : .....</b>	<b>81</b>
<b>III-2-4 Plaquette : .....</b>	<b>83</b>
<b>III-2-5 CONCLUSION : .....</b>	<b>85</b>
<b>CONCLUSION GENERALE : .....</b>	<b>87</b>

## Liste de figure

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

**Figure I.2 :** Schéma du système de freinage

**Figure I.3 :** schéma de la fonction globale du système de freinage

**Figure I. 4.** Le mécanisme de système du freinage

**Figure I.5 –** Illustration d'un frein à disque

**Figure I.6 :** Illustration d'un frein à tambour

**Figure I.7 –** Fonctionnement d'un frein à tambour, au repos (a) et lors du freinage (b)

**Figure I.8.** Frein à disque

**Figure I.9 –** Fonctionnement d'un frein à disque, au repos (a) et lors du freinage (b)

**Figure I.10 :** le système de frein à disque

**Figure I.11** Les composants d'un système de freinage pneumatique

**Figure I.12.** Schéma d'implantation du système de freinage pneumatique

**Figure. 13 :** Fonctionnement du système de freinage hydraulique

**Figure I-14** les deux systèmes de freinage jante

**Figure I-15** composants d'un frein de vélo

**Figure. I.16** Le Système de freinage ABS

**Figure I.17 :** Le disque

**Figure I.18 :** Le disque plein

**Figure I.19 :** Le disque percé, ventilé

**Figure I.20 :** Le disque en carbone

**Figure I.21:** Disque rainuré

**Figure I.22 :** Disque percé

**Figure I.23 :** Disque ventilé

**Figure I.24** Différentes technologies de ventilation des disques schématisées sur une portion de disque de 30°

**Figure. I.25:** Plaquette de frein.

**Figure. I.26:** Plaquette de frein

**Figure. I.27:** Corrosion de Plaquette de frein.

**Figure II- 1 :** ABS esp Clio-Renault

**Figure II-2** Le Système de freinage ABS

**Figure II-3** Schéma da L'ABS

**Figure II-4:** Freinage sans et avec système ABS

**Figure II-5.** Boîtier de commande électronique.

**Figure II-6.** Modulateur

**Figure II-7.** Électrovanne en repos

**Figure II-8.** Pompe hydraulique

**Figure. II-9. a** Capteur des roues

**Figure II-9. b** Bague de serrage de capteur

**Figure II.9.c** Roue dentée

**Figure II.9.d** Câbles de capteur

**Figure II-10** Témoin ABS

**Figure II-12.** Les composants typiques de système ABS

**Figure II-13** Système de freinage hydraulique HAB

**Figure II. 15.** Système de freinage électromécanique EMB

**Figure II. 16.** La forme 4capteurs- 4 canaux

**Figure II.17** montre le dispositif 3 capteurs-3 canaux.

**Figure II. 18.** La forme 3capteurs- 2 canaux

**Figure II-19 :** Valve de modulation de pression.

**Figure II-20 :** Le système ABS WEBC

**Figure II-21 :** Schème de fonctionnement d'un capteur

**Figure II-22 :** Quelque modèle des capteurs de force

**Figure II-23** Placement des capteurs de forces dans la voiture

**Figure III-1 :** Conception de disque percé, ventilé Etrier

**Figure III-3:** Conception de Etrier

**Figure III-4 :** Conception de Disque percé

**Figure III-5 :** Conception de Disque plein

**Figure III-6 :** Conception de Disque percé, ventilé

**Figure III-7 :** méthode d'importation de la géométrie

**Figure III-8 :** méthode d'importation de la géométrie

**Figure III-9** : commencer le maillage

**Figure III-10** : lancer opération de maillage

**Figure III-11** : le maillage final

**Figure III-12** : Application du flux

**Figure III-13** : répartition de la température

**Figure III-14** : Distribution du flux thermique primaire

**Figure III-15** : Répartition du flux de chaleur après une période de temps

**Figure III-16** : répartition de la température (Plaquette)

**Figure III-17** : Répartition du flux de chaleur

## **Introduction général :**

Chaque année, les accidents de la route font plusieurs dizaines de millions de victimes. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), plus de 1,2 million de décès et pas moins de 50 millions de blessés sont recensés chaque année dans le monde. Ces chiffres augmenteront, probablement, au cours des prochaines années s'il n'y a pas des engagements sérieux en faveur de la prévention et la sécurité des personnes. Devant ce constat alarmant, la sécurité routière devient, alors, de plus en plus un enjeu social, économique, politique et technologique. L'importance de ces enjeux se traduit sous forme de plusieurs types de mesures qui se manifestent, dans chaque pays, à travers des lois, des normes, des réglementations, des actions de prévention et des actions de recherche. Différents acteurs sont impliqués dans cette démarche et ils ne cessent d'inscrire la sécurité des personnes une priorité de leurs actions.

Parmi ces acteurs, les constructeurs automobiles se considèrent comme un partenaire des pouvoirs publics partout dans le monde et se veulent être un partenaire actif pour améliorer la sécurité routière. Des millions d'euros sont ainsi investis chaque année dans la recherche et le développement afin que de nouveaux équipements issus des technologies les plus avancées viennent renforcer aussi bien la sécurité active que la sécurité passive.

Les systèmes embarqués tels que le système de freinage ABS (Système Antiblocage) et le système de correction de la trajectoire ESP (L'Electro-Stabilisateur Programmé) constituent une avancée majeure dans le domaine de la sécurité routière. Ces derniers sont des équipements de sécurité active d'antidérapage destinés à améliorer le contrôle de la trajectoire des véhicules automobiles en agissant sur le système de freinage ainsi que sur le couple moteur. Il existe une autre catégorie de systèmes, dont la vocation est d'assister le conducteur sur une ou plusieurs dimensions particulières de la conduite en intervenant directement dans l'activité du conducteur ou en renforçant son action. Il s'agit essentiellement des systèmes d'assistance à la conduite ou au contrôle longitudinal du véhicule tels que, les régulateurs des vitesses, régulateur des distances, système de gestion de l'approche d'un obstacle, etc.

Actuellement, plus de 30% de la valeur d'un véhicule est composée de systèmes intelligents et d'électroniques embarqués. Ces technologies occupent une place croissante dans l'automobile, notamment au sein des véhicules industriels. Ils deviennent, de plus en plus, une nécessité afin de

répondre à l'ensemble des exigences imposées par le marché mondial d'automobile et les normes de sécurité routière qui s'uniformisent de plus en plus avec la mondialisation et la libéralisation du marché. [1]

**Le premier chapitre :** Dans le premier chapitre, nous aborderons le système de freinage en général (La définition de système, historique, Sa structure, Principe de fonctionnement des freins, Les différents types de freins, l'inconvénient et conclusion)

**Le deuxième chapitre :** décrit le fonctionnement de l'ABS par la représentation de ces Différents composants.

**Le troisième chapitre :** conception et simulation par solide Works - ANSYS

# **CHAPITRE I**

**Les différents types des  
systèmes freinages**

## **Introduction :**

Depuis quelques années, il y a un effort continu de la part des industriels et des chercheurs sur le développement de nouvelles structures et de systèmes de sécurité active permettant d'améliorer les performances du véhicule en termes de stabilité et de tenue de route

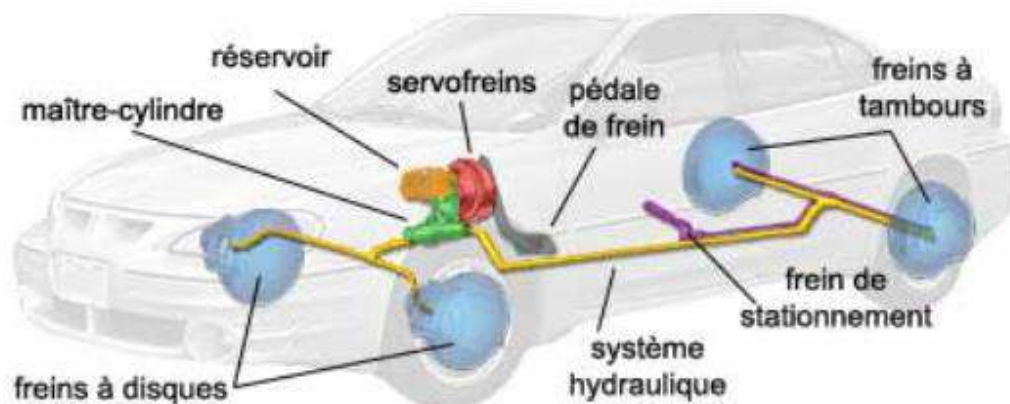
Certains systèmes sont déjà sur le marché et intégrés dans la plupart des véhicules de tourisme. Le but ultime reste toujours de fabriquer des véhicules faciles à conduire avec une sécurité "absolue".

Dans ce sens, certains travaux ont été développés dans la littérature La plupart des travaux utilisent les techniques de contrôle avancées pour élaborer de nouvelle génération de systèmes de sécurité active. Notre travail rentre dans ce cadre. .[2]

### **I-1 Définition de freinage :**

On entend par système de freinage, l'ensemble des éléments permettant de ralentir ou de stopper le véhicule suivant le besoin du conducteur.

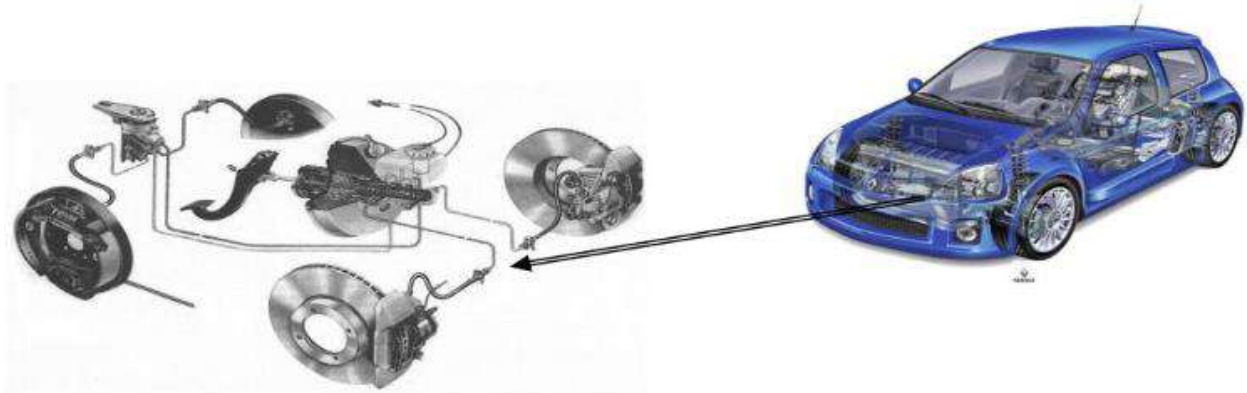
La structure ci-dessous (Figure. I.1) représente une structure de base que l'on retrouve dans tous les véhicules de tourisme dit bas de gamme. On pourra cependant trouver des variantes telles que la disposition de freins à disque sur l'essieu arrière, ou bien la mise en place de système tels que L'ABS ou bien ESP..[9]



**Figure I.1:** Schéma d'implantation du système de freinage.[9]

Repère	Désignation
1	Pédale de frein
2	Servofrein
3	Maître-cylindre
4 et 5	Freins à disque
6 et 7	Freins à tambour
8	Correcteur
9 et 10	Commande et Câbles frein de Stationnement

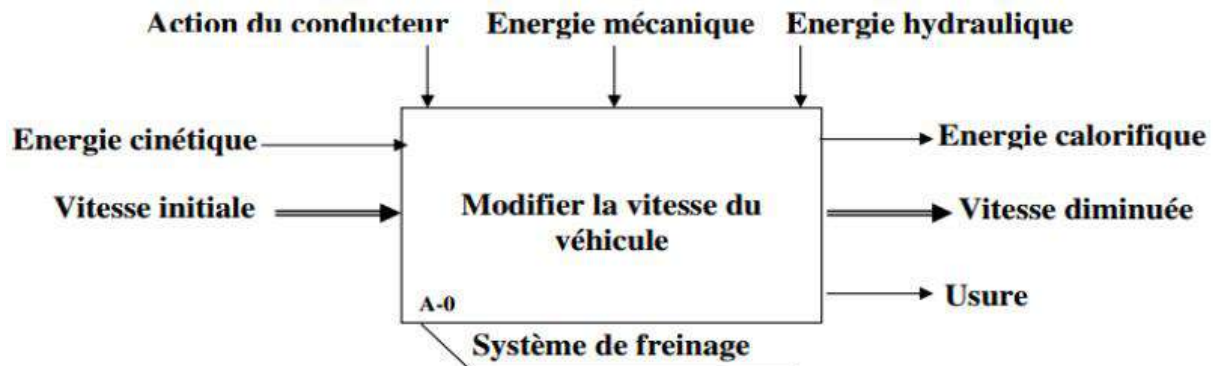
**Tableau 1** : les composantes de système de freinage.[7]



**Figure I.2** : Schéma du système de freinage.[9]

### **I-2 Fonction Global :**

Le freinage automobile a pour fonction principale de ralentir la vitesse ou d'arrêter le véhicule en fonction des conditions de trafic. Le principe de base qui repose sur ce phénomène est de convertir l'énergie cinétique du véhicule en une autre forme d'énergie. Le phénomène du crissement est directement lié à la dissipation d'une part de cette énergie cinétique sous forme d'énergie vibratoire. La majeure partie de cette énergie est transformée en chaleur à l'aide d'un système de friction. Ce système de friction, qui agit sur les éléments en rotation, est placé dans chaque roue du véhicule. On demande au matériau de friction d'avoir des propriétés constantes malgré l'augmentation de température qu'il peut y avoir au cours du freinage. [9].

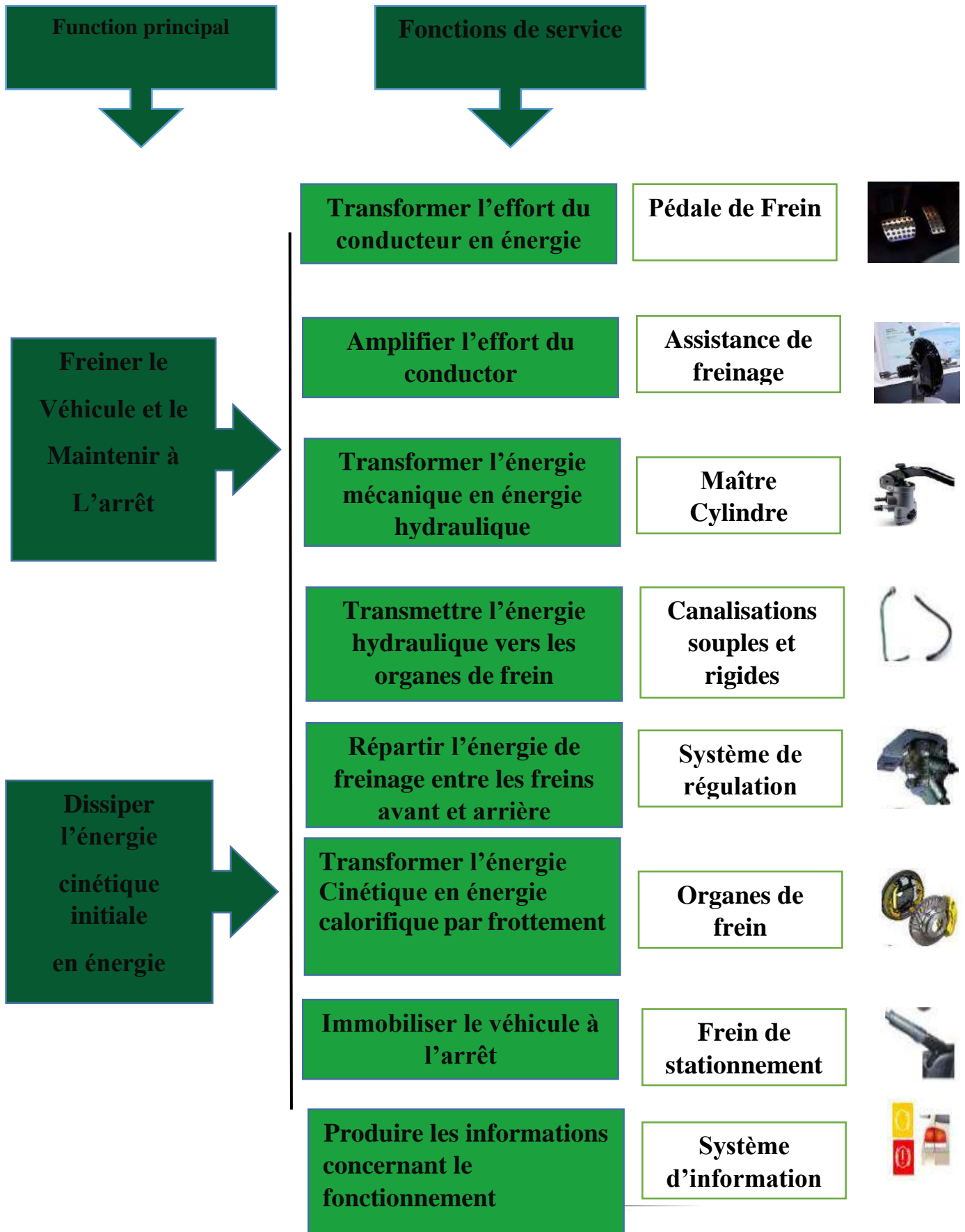


**Figure I.3** : schéma de la fonction globale du système de freinage.[9]

### **I-3-Le principe de freinage :**

Le mot freinage suppose l'existence, au préalable, d'un mouvement. Aussi la fonction principale d'un frein est de ralentir, voire d'immobiliser un système mécanique en mouvement. Il est le premier organe de sécurité sur les véhicules automobiles.

Le principe de freinage repose sur la transformation de l'énergie cinétique en énergie thermique par le biais d'actions qui peuvent être de nature magnétiques ou électromagnétiques, on parle alors de freinage à distance ou de nature mécanique où le contact entre les corps est souvent utilisé. Le freinage mécanique est le plus couramment utilisé sur les véhicules automobiles. Il est basé sur un phénomène physique encore peu appréhendé, qui est le frottement. L'étude de ce dernier fait appel à plusieurs domaines, notamment la tribologie et la mécanique du contact qui sont des domaines de la physique les plus complexes. L'efficacité d'un système de freinage mécanique est liée à la capacité de ses constituants d'assurer un frottement suffisamment important et de pouvoir dissiper rapidement la chaleur afin d'éviter la surchauffe de l'ensemble du mécanisme. La Figure (I.4) représente le mécanisme de système de freinage. [2]



**Figure I. 4.** Le mécanisme de système du freinage**I-4 Historique :**

Le frein à disque est environ aussi ancien que les véhicules à roues motorisés. Il est d'ailleurs Particulièrement proche du frein à patin des vélos. Seul le manque de fiabilité dû aux fortes Contraintes imposées aux matériaux du dispositif a freiné son utilisation massive. Sur les Motocyclettes, son utilisation a été rare jusqu'à la Honda CB 750 Four de 1969, qui a imposé le disque à commande hydraulique. Ce même type de freinage a rapidement été repris sur les machines de compétition. Il s'est peaufiné en se perforant et en devenant double (à l'avant).

Dans le domaine automobile, les freins à disques ont commencé à se généraliser dans les années 60 sur les véhicules haut de gamme, avant de s'étendre à l'ensemble des véhicules sur le train avant. En 2005, seules les petites automobiles utilisent toujours les freins à tambours sur l'essieu arrière. La première voiture à adopter les freins à disques à l'avant de série fut la Citroën DS en 1955. En aviation, ce type de frein, plus léger, plus facile d'entretien que les autres dispositifs, dans un domaine où les coûts sont accessoires, est utilisé depuis plus longtemps. En 2003, Mercedes Benz innove en proposant des disques de freins en céramique.

En comparaison aux freins à tambours, les freins à disque freinent plus efficacement, refroidissent plus vite et présentent des propriétés autonettoyantes, du fait des forces centrifuges mises en jeu. Ces nombreux avantages leur ont permis de s'imposer comme la référence des systèmes de freinage équipant l'essieu avant des automobiles. Une illustration de ce type est présentée à la figure [9].

**Figure I.5** – Illustration d'un frein à disque [9].

### **I-5 Les différents types de frein :**

IL existe de nombreux types de freins chacun ayant ses avantages et inconvénients voici les types les plus courants :

- Frein a tambour.
- Frein a disque.
- Frein a l'air.
- Frein hydraulique
- Freinage sur Jante
- Frein ABS.

### **I-6-1 Frein a tambour:**

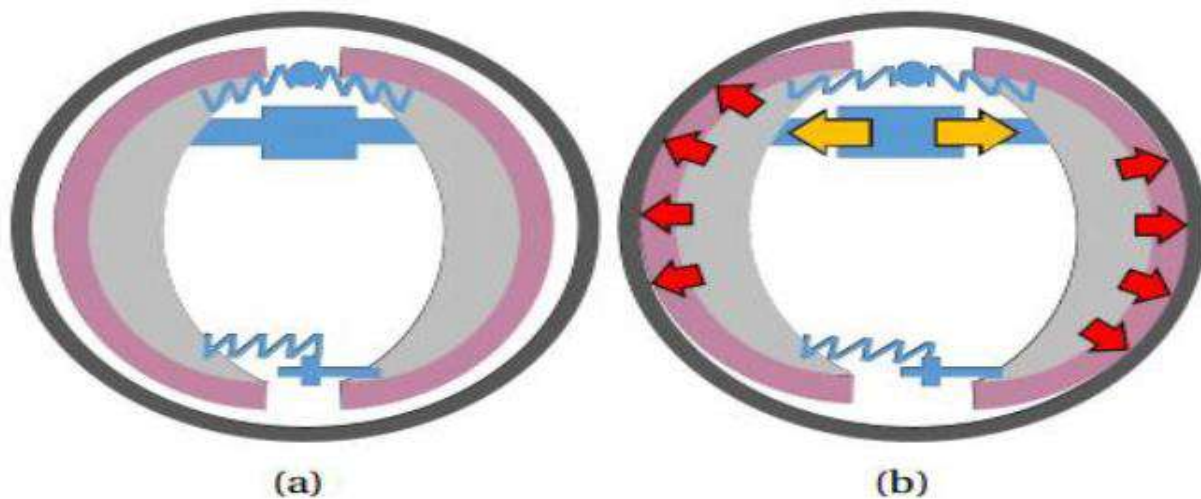
Le frein à tambour est constitué d'un cylindre au sein duquel des mâchoires munies de garnitures s'écartent pour réaliser le freinage, et d'un système de compensation d'usure. L'écartement est réalisé grâce à une came. Les mâchoires reviennent en position grâce à un ressort. [4]



**Figure I.6 :** Illustration d'un frein à tambour [4]

### **I-6-1-1 Fonctionnement :**

Le tambour est entraîné par la rotation de la roue. Les mâchoires, situées à l'intérieur de ce tambour, sont liées par un ressort de rappel qui les empêche, quand le conducteur n'appuie pas sur la commande de freinage, d'entrer en contact avec le tambour (figure I.7(a)). Ces mâchoires sont recouvertes d'une garniture composée d'un matériau de friction. Une fois que le frein est actionné, le piston vient pousser les mâchoires qui pivotent et entrent ainsi en contact avec le tambour en rotation, ce qui a pour action de ralentir le véhicule (figure I.7(b)). C'est le ressort de rappel qui, enfin de freinage, permet d'éviter le blocage des roues en décollant les mâchoires du tambour. [9]



**Figure I.7** – Fonctionnement d'un frein à tambour, au repos (a) et lors du freinage (b) [9]

### **I-6-2 frein à Disque :**

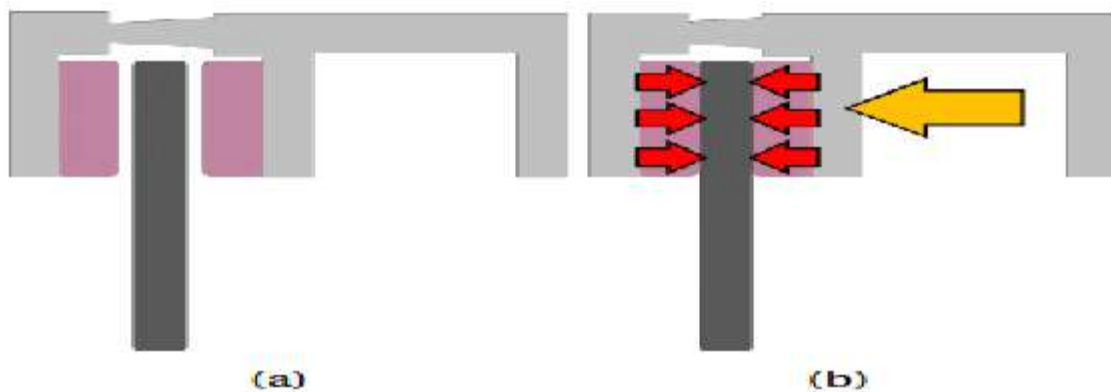
Le frein à disque est un système de freinage performant pour les véhicules munis de roues en contact avec le sol : automobile, avion, train, vélo tout terrain, etc. et pour diverses machines réclamant des freins performants et endurants. Ce système transforme l'énergie cinétique du véhicule en chaleur [2].



**Figure I.8.** Frein à disque [6] .

### **I-6-2-1 Fonctionnement**

Le système se compose d'un disque solidaire de la roue qui est donc mis en rotation quand le Véhicule se déplace. Un jeu de plaquettes est placé de part et d'autre de ce disque. On nomme Plaquette intérieure celle qui est placée côté véhicule et plaquette extérieure celle du côté roue (Figure I.9(a)). Ces plaquettes. Sont maintenues dans l'étrier et peuvent translater de manière Normale à la surface du disque sous l'action d'un ou plusieurs pistons. Elles viennent alors, au cours D'une opération de freinage, pincer le disque et ralentir sa rotation jusqu'à stopper le véhicule (Figure I.9(b)). [9]



**Figure I.9** – Fonctionnement d'un frein à disque, au repos (a) et lors du freinage (b) [9]

### **I-6-2-2 Les Composant d'un frein disque :**

Le disque de frein est un organe de friction fortement sollicité, il doit résister à des températures de 600° C à 800° C dont les éléments sont illustrés sur la figure I.10 [9]

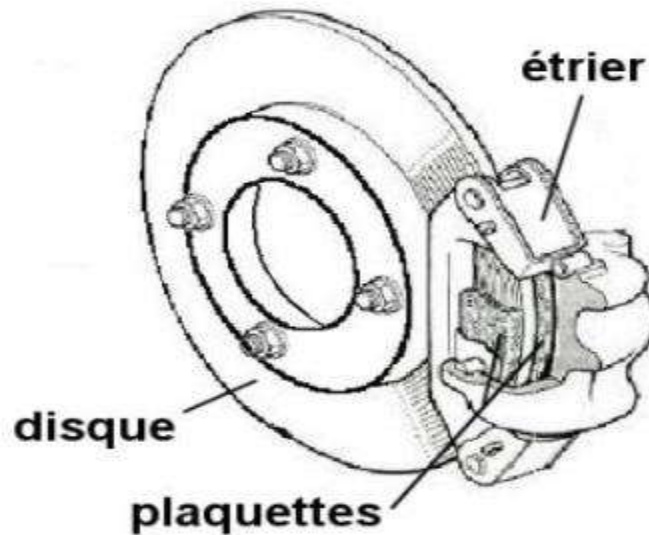


Figure I.10 : le système de frein à disque [9]

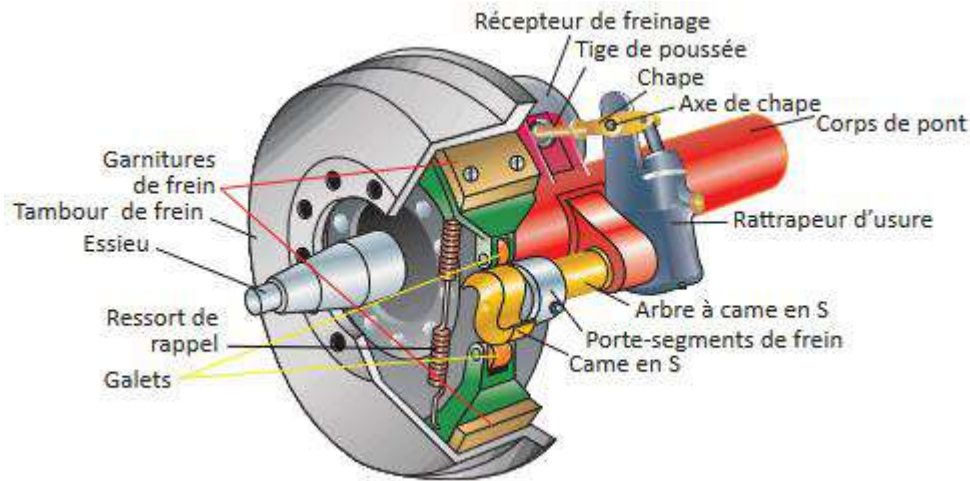
### **I-6-3 frein a Lair (pneumatique) :**

#### **I-6-3-1 Les composants d'un système de freinage pneumatique :**

Un système de freinage pneumatique de base capable d'arrêter un véhicule comprend cinq principaux composants :

- Un compresseur pour pomper l'air équipé d'un régulateur pour contrôler la pression.
- Un réservoir pour stocker l'air comprimé.
- Un robinet de freinage à pied pour réguler le débit d'air comprimé sortant du réservoir afin d'actionner les freins.
- Des récepteurs de freinage et des rattrapeurs d'usure pour transférer la force exercée par l'air comprimé à une timonerie mécanique.

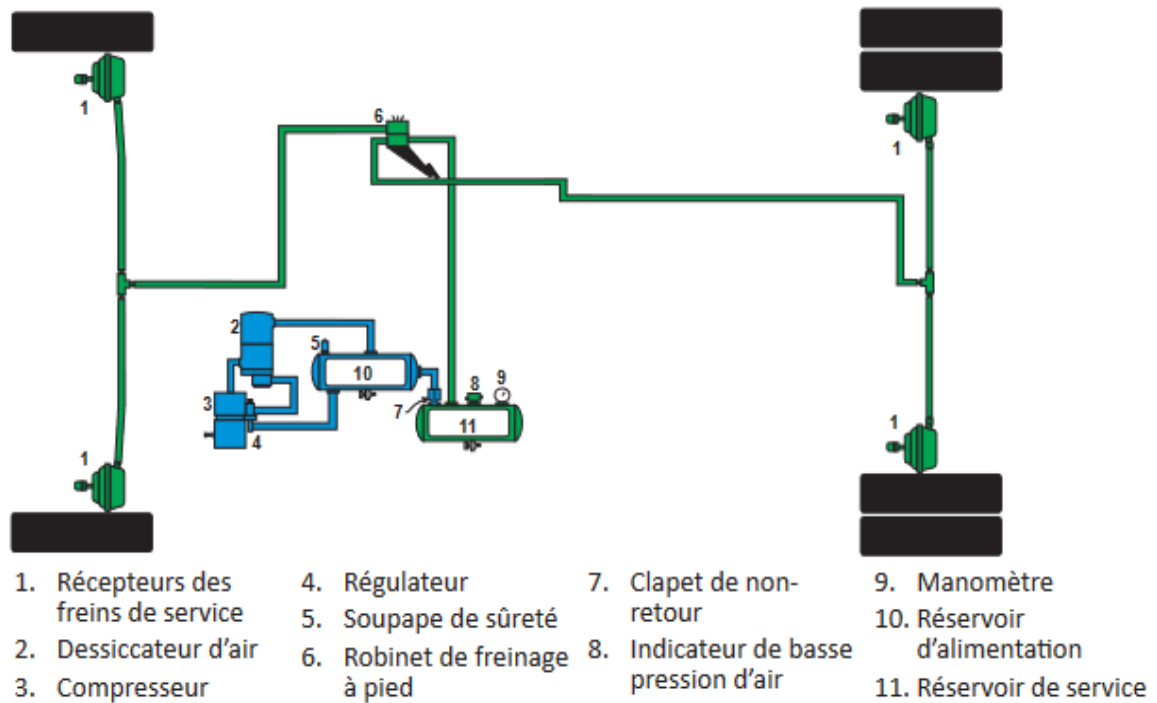
- Des garnitures et des tambours ou rotors de frein pour générer le frottement nécessaire pour arrêter les roues. [12]



**Figure I.11** Les composants d'un système de freinage pneumatique [12]

### **I-6-3-2 Fonctionnement du système pneumatique :**

Le compresseur pompe l'air dans le réservoir d'alimentation, qui est protégé contre les surpressions par une soupape de sûreté. Dans le réservoir, le régulateur contrôle la pression de l'air acheminé au bas du robinet de freinage à pied. Le conducteur enfonce la pédale du robinet de freinage, et l'air comprimé est dirigé vers les récepteurs de freinage avant et arrière. Les tiges de poussée des récepteurs de freinage déplacent les rattrapeurs d'usure. Les rattrapeurs d'usure font tourner les cames en S, poussant les segments de frein contre les tambours. Le contact génère du frottement, qui immobilise les roues. Le conducteur relâche la pédale du robinet de freinage, qui évacue l'air dans les récepteurs de freinage, et les freins se desserrent. [12]



**Figure I.12.** Schéma d'implantation du système de freinage pneumatique [12]

#### **I-6-4 Frein hydraulique :**

Les freins à actionnement hydraulique sont principalement utilisés là où de grandes forces de freinage couplée ensemble à un contrôle sensible doivent être exercées dans un espace restreint. Dans les applications avec des exigences de sécurité particulièrement élevées – par exemple dans les véhicules et téléphériques- les systèmes de freinage sont sécurisés avec des dispositifs de sécurité complémentaires tels que valves redondantes ou une surveillance de la position de commutation.

Dans les générateurs éoliens, les systèmes de freinage à actionnement hydraulique sont utilisés pour l'orientation et fixation de l'azimut. Précisément lors de hautes vitesses du vent système doit pouvoir sortir du flux du vent de façon contrôlée et être arrêté pour éviter des dommages à la boîte d'entraînement et au générateur. [1].

Les domaines d'application typiques des systèmes de freinage hydraulique sont entre autres :

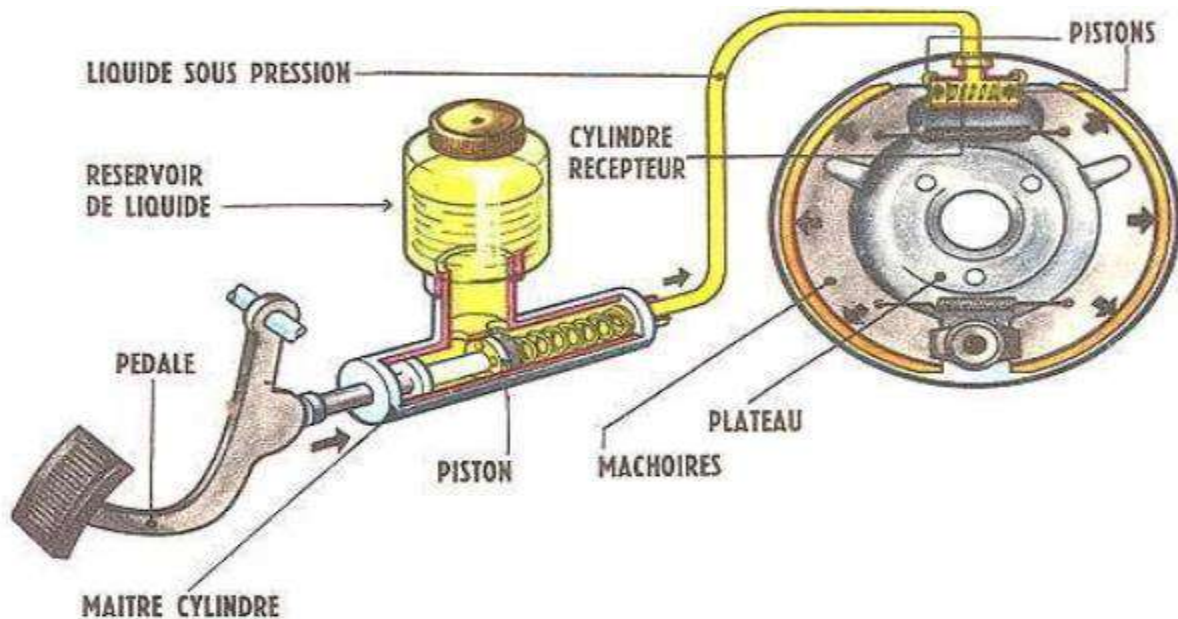
- Véhicules ferroviaires
- Machines de travail mobiles

- Treuils
- Générateurs éoliens
- Elévateurs de marchandises
- Machines textiles
- Téléphériques
- Grues

### **I-6-4-1 Principe de fonctionnement :**

La figure.13 montre le schéma de fonctionnement des freins hydrauliques à tambour universellement utilisés aujourd'hui. 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 le liquide sous pression vers le cylindre récepteur fixé sur le plateau [1].

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



**Figure. 13 :** Fonctionnement du système de freinage hydraulique [1].

### **I-6-5 Freinage sur Jante :**

#### **I-6-5-1 Différentes technologies :**

Le freinage sur un vélo peut se faire de 3 manières différentes :

- à l'aide d'un tambour au niveau du moyeu de la roue. On retrouve ce système sur les vélos enfants et certains vélos de ville,
- à l'aide de plaquette venant pincer un disque. D'abord destiné aux vélos haut de gamme, on retrouve maintenant ce système sur de plus en plus de vélos.
- enfin, à l'aide de patin venant pincer la jante. C'est le système qui a équipé presque tous les types de vélos pendant des décennies qui se trouve aujourd'hui progressivement remplacé par des systèmes à disque. [11].

#### **I-6-5-2 Le système de frein a jante :**

Historiquement il existe 2 systèmes de Freinage différents, le frein à tirage central (photo de gauche) et le frein à tirage latéral (photo de droite). Difficile à régler et généralement peu efficace, il ne se retrouve aujourd'hui que sur des vélos vintages.



**Figure I-14** les deux systèmes de freinage jante [11].

● **Vocabulaire**



**Figure I-15** composants d'un frein de vélo [11].

**I-6-6 Les inconvénients du frein classique :**

Problèmes surgissant lors d'un freinage de secours dans le système de freinage classique  
 Quand le conducteur actionne trop fortement la pédale de frein de son véhicule à la suite d'un danger, les roues se bloquent. Cela provoque :

- La perte de la stabilité directionnelle et le dérapage du véhicule.
- La perte de la dirigeabilité du véhicule
- L'augmentation de la distance de freinage
- L'usure des pneumatiques [2].

**I-6-7 le système de freinage ABS :**

**I-6-7-1 Définition :**

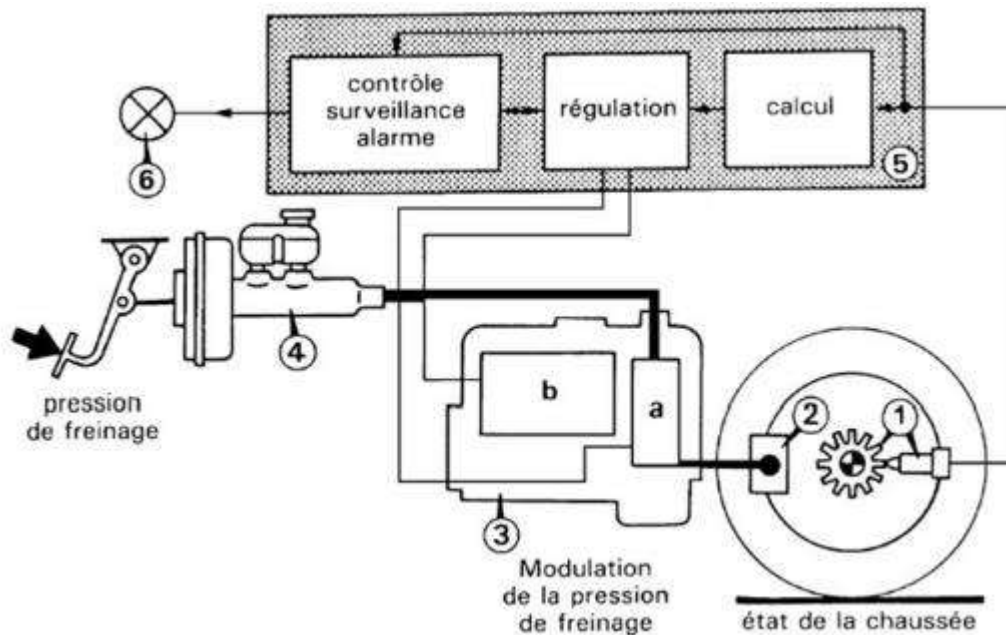
L'Anti Blocage System (abrégé en ABS), l'antiblocage de sécurité (terme recommandé en France), le système de freinage Anti- blocage ou les freins Anti -blocage, est un système d'assistance

au freinage utilisé sur les véhicules roulants, empêchant les roues de se bloquer pendant les périodes de freinage [4].

### **I-6-7-2 Le principe de fonctionnement du frein ABS :**

Le principe de fonctionnement est simple : un calculateur électronique gère un bloc d'électrovannes sur le circuit de freinage et surveille individuellement la rotation de chacune des roues à l'aide d'un capteur implanté sur chacune d'elles. Si le calculateur détecte le blocage (ralentissement significatif par rapport aux autres roues) d'une roue, le frein de celle-ci est relâché immédiatement (sans que le conducteur n'ait à modifier son action sur la pédale de frein). Le calculateur va permettre la pression de freinage la plus forte possible tout en évitant un blocage des roues.

Le but principal de l'ABS est de permettre de garder le véhicule manœuvrable lors d'un freinage d'urgence et de réduire la distance de freinage [4].



**Figure. I.16** Le Système de freinage ABS [4].

### **I-7-Le disque :**

Le disque est constitué d'un anneau plein avec deux pistes de frottement (Fig. I.17), d'un bol qui est fixé sur le moyeu et sur lequel est fixée la jante et d'un raccordement entre les pistes et le bol. Ce raccordement est nécessaire car l'anneau et la partie du bol qui est fixée au moyeu ne sont pas sur un même plan pour des questions d'encombrement et de logement des plaquettes et de l'étrier. L'union entre le bol et les pistes est souvent usinée en forme de gorge pour limiter le flux de chaleur issu des pistes vers le bol afin d'éviter un échauffement excessif de la jante et du pneumatique. Les pistes de frottement sont dites extérieures quand elles se situent du côté de la jante et intérieures quand elles se situent du côté de l'essieu [9].

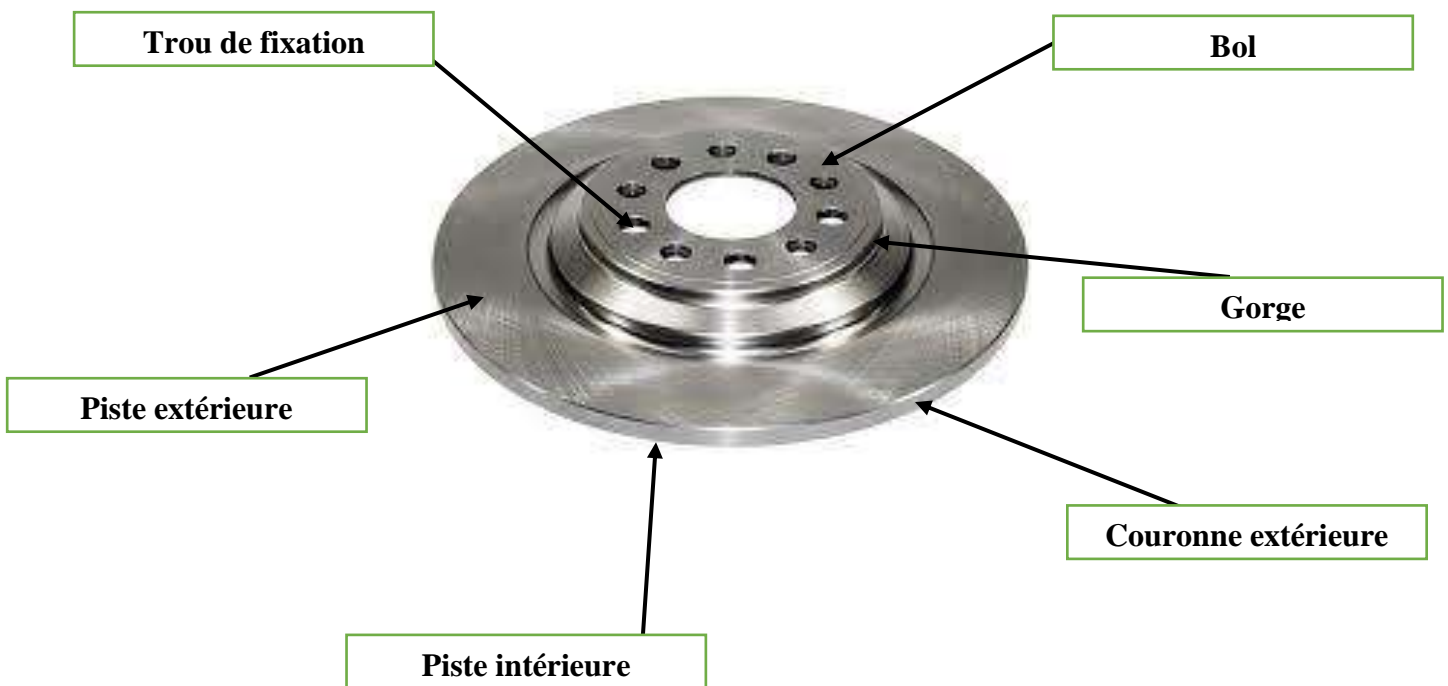


Figure I.17 : Le disque [9].

#### **I-7-1 Les différents Types de disque frein :**

Le disque, solidaire de l'axe de roue, tourne à la même vitesse que celle-ci. Plus la quantité d'énergie cinétique convertie en chaleur sera élevée, plus le freinage sera efficace. Cependant, il ne faut pas que l'échauffement des pièces du système dû à cette dissipation d'énergie ne vienne influencer

sur les performances du freinage. On trouve donc dans la conception des disques de nombreuses solutions pour dissiper cette chaleur. L'introduction d'une cloche de montage permet d'augmenter la surface globale du disque ce qui facilite le refroidissement [9].

### A -Le disque plein. (Le plus courant)

Les disques pleins font chauffer très vite. [14].



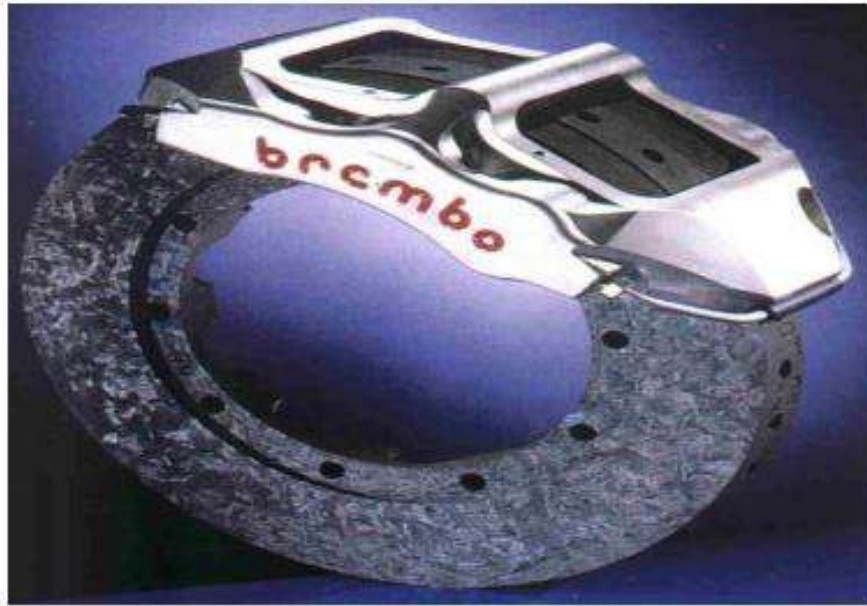
**Figure I.18 :** Le disque plein [14].

### B- Le disque percé, ventilé (il est utilisé sur des véhicules de sport et en compétition)



**Figure I.19 :** Le disque percé, ventilé [9].

**C- Le disque en carbone :** (il est utilisé en Formule 1 et pour des véhicules de prestige)



**Figure I.20 :** Le disque en carbone [9].

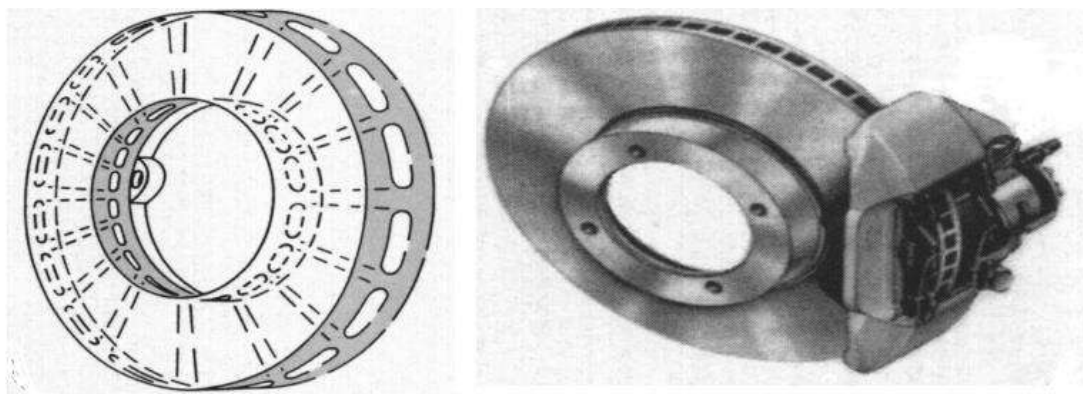
**D- Les disques rainurés :**

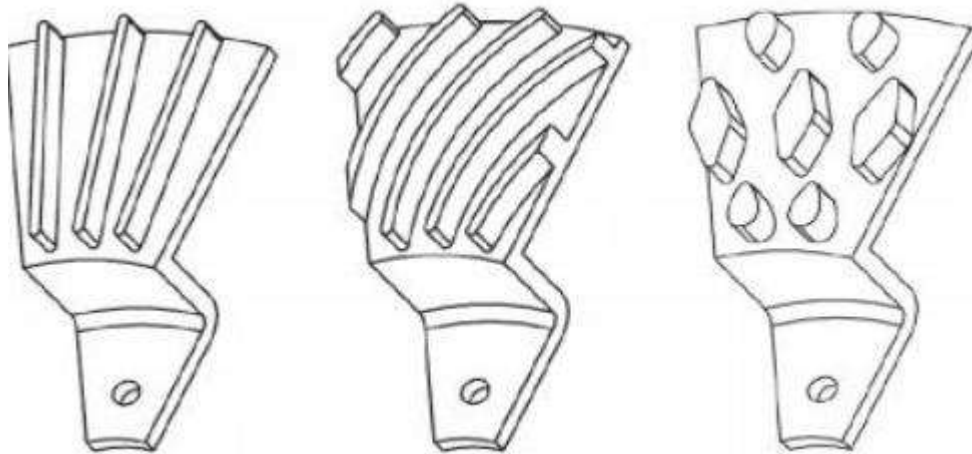


**Figure I.21:** Disque rainuré [9].

**E-Les disques percés :****Figure I.22 :** Disque percé [9].**F-Le disque ventilé :**

(Il permet de mieux dissiper la chaleur) De plus, il existe désormais des disques appelés ventilés dont différentes configurations sont présentées à la figure I.23. La piste de frottement n'est plus une pièce volumique pleine, elle est creusée de nombreux canaux qui, avec la rotation, facilitent l'écoulement d'air permettant le refroidissement du disque. Les disques sont majoritairement faits en fonte grise, ce qui leur confère une très bonne tenue à l'usure. On trouve certaines applications spécifiques de disque en carbone, notamment pour la compétition automobile. Cependant, leur performance n'est observée que pour de très hautes températures, causées par d'importantes puissances de freinage. Cela ne représente donc pas les cas d'application les plus communs dans l'industrie automobile [9].

**Figure I.23 :** Disque ventilé [9].



**Figure I.24** Différentes technologies de ventilation des disques schématisées sur une portion de disque de 30°[9].

### **I-8 Les plaquettes :**

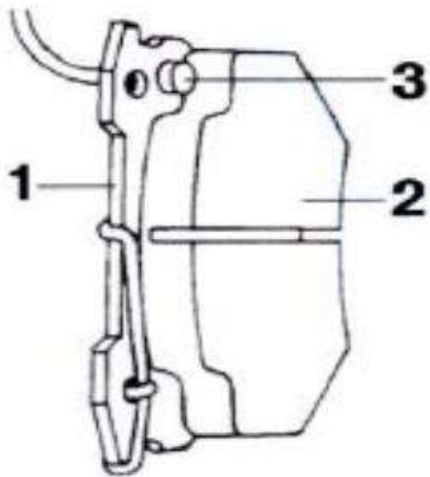
Le processus de production des plaquettes de frein est basé sur certaines phases de base: mélange, moulage et durcissement. La manière et la technologie par lesquelles ces phases sont exécutées conduisent à des produits avec des niveaux de qualité et des taux de production différents. Les plaquettes de frein sont un mélange complexe de liant organique, de poudres inorganiques, de fibres synthétiques et de particules métalliques, dont chacun joue un rôle certain dans le produit fini. Les matières premières sont mélangées, pressées en formes et cuites à 150 ° C pour fabriquer les plaquettes de disque de frein.

Les fibres d'aramide (Kevlar <sup>TM</sup> DUPONT Suisse) ont été adoptées pour remplacer l'amiante pour des raisons environnementales et sanitaires. Cependant, ces fibres sont coûteuses et leur décomposition et dissipation dans l'environnement lors de leur utilisation est encore à l'étude. La préservation de l'environnement étant à l'ordre du jour des organisations internationales et des nations, le remplacement naturel et biodégradable est devenue l'ordre du jour. Les fibres naturelles sont un remplacement potentiel des fibres synthétiques dans les plaquettes de frein. Cependant, on s'attend à ce que les fibres naturelles aient des performances, sinon également du moins proches de celles des fibres synthétiques. Ils doivent faciliter un mélange homogène des ingrédients et aider à produire un composite qui doit posséder une résistance mécanique, une résistance à l'usure et des

caractéristiques thermiques suffisantes pour supporter des températures et des conditions de fonctionnement sévères pendant le freinage [14]

Les plaquettes de frein automobile comportent des rainures (Figure I.25) Outre leurs caractères d'évacuation des poussières et de l'eau, ces rainures influent elles sur le comportement Thermique de la plaquette. Cette dernière doit présenter :

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



<b>1</b>	<b>Support métallique</b>
<b>2</b>	<b>Garniture</b>
<b>3</b>	<b>Plot du témoin d'usure</b>



**Figure. I.25:** Plaquette de frein. [7].

Les freins de votre voiture sont un élément essentiel pour assurer votre sécurité sur la route, et les plaquettes de frein sont des pièces qui s'usent avec le temps et doivent être remplacées périodiquement. Voici quelques signes indiquant que vos plaquettes de frein doivent être remplacées :

#### 1. Distance parcourue :

\* En règle générale, les plaquettes de frein doivent être vérifiées tous les 15 000 à 30 000 kilomètres.

\* Les plaquettes de frein avant peuvent devoir être changées plus rapidement que celles arrière, car elles supportent l'essentiel de la force de freinage.

\* Plaquettes de frein avant : Elles sont généralement remplacées tous les 30 000 km.

\* Plaquettes de frein arrière : Elles sont généralement remplacées tous les 60 000 km.

#### 2. Indicateurs de corrosion :

\* Bruit de grincement ou de grincement : si vous entendez un bruit étrange lorsque vous appliquez les freins, cela peut être le signe de plaquettes de frein usées.

\* Vibration ou tremblement : Si vous ressentez des vibrations dans le volant ou la pédale de frein lorsque vous appuyez dessus, cela peut être dû à des plaquettes de frein usées ou à des disques de frein endommagés.

\* Niveau de liquide de frein faible : un niveau de liquide de frein faible peut indiquer des plaquettes de frein usées.

\* Témoin de frein : Dans certaines voitures, un témoin spécial s'allume sur le tableau de bord lorsque les plaquettes de frein sont usées.

\* Inspection visuelle : Vous pouvez vérifier visuellement l'épaisseur des plaquettes de frein. Si l'épaisseur est inférieure à 2 mm, Il faut la remplacer.

#### 3. Autres facteurs :

\* Style de conduite : Une conduite agressive et des freinages fréquents augmentent l'usure des plaquettes de frein.

\* Conditions de conduite : Conduire dans des zones montagneuses ou encombrées augmente la contrainte sur les freins. [10].

\* Type de plaquette de frein : La durée de vie des plaquettes de frein varie en fonction de leur type et de leur qualité



**Figure. I.26:** Plaquette de frein



**Figure. I.27:** Corrosion de Plaquette de frein.

## **I-9 Les Matériaux du disque frein :**

### **I-9-1 Fonte grise :**

Le système de freinage de la plupart des voitures modernes est basé sur des disques de frein, qui utilisent des disques de frein en fonte grise comme surfaces de freinage. Les propriétés Métallurgiques de la fonte grise déterminent la résistance, le bruit, l'usure et les caractéristiques de Freinage des disques de frein. Si un disque de frein est trop mou, il s'usera rapidement. Au contraire, si un disque de frein est trop dur, il est plus susceptible de se fissurer [13].

- Voitures grand public (citadines, compactes, berlines)

- **Exemples :** Renault Clio, Peugeot 208, Volkswagen Golf, Toyota Corolla.
- **Pourquoi :** Ces voitures ont besoin d'un système de freinage fiable, performant et peu coûteux. La fonte grise est idéale pour cela.

**Tableau :** Composition chimique (% en poids) de certaines fontes grises utilisées par GM Brésil (GME-05002, 1999).

Element	Alliage métallique			
	A	B	C	D
%C	3,20	3,20	3,60	3,70
	3,60	3,60	3,80	3,90
%Si	1,90	1,90	1,80	1,75
	2,40	2,40	2,20	1,95
%Mn	0,60	0,60	0,60	0,50
	0,90	0,90	0,80	0,80
%P	Max 0,20	Max0,10	Max 0,10	Max0,10
%S	Max 0,12	Max0,10	Max 0,12	Max 0,13
%Cr	–	0,25 0,40	0,10 0,25	Max0,20
%Mo	–	0,40 0,50	0,30 0,60	Max0,10
%Cu	–	–	0,30 0,45	Max0,40

### **I-9-2 Aciers inoxydables :**

L'acier inoxydable, bien qu'un peu plus cher, a beaucoup plus de points positifs. Il ne rouille pas, ou du moins pas dans une large mesure. Il est très robuste, il est tolérant à presque toutes les plaquettes de frein et en particulier aux plaquettes de frein frittées. Il est très résistant à l'usure, il ne se brise pas et il résiste très bien à la chaleur. Lors de sa première utilisation, les coefficients de frottement n'étaient pas aussi bons que la fonte et cela convainc certains que la fonte est toujours le bon matériau. Mais j'ai interrogé un cadre de Brembo à ce sujet il y a quelques années et il a dit que c'était vrai il y a 30 ans, mais les coefficients de frottement des disques en acier inoxydable et des patins frittés ont dépassé la fonte il y a environ 20 ans ! [13].

L'acier inoxydable est moins courant que la fonte pour les disques de frein traditionnels, mais il est tout de même utilisé dans certains contextes très spécifiques. Voici les types d'entreprises qui utilisent l'acier inoxydable pour fabriquer ou équiper des disques de frein :



**Figure I-28 :** Aciers inoxydables Entreprises (Brembo).

Entreprises de fabrication de motos

Exemples : Brembo (pour motos), Galfer, EBC Brakes, Nissan.

Pourquoi : L'acier inoxydable est couramment utilisé pour les disques de frein de moto car il résiste bien à la corrosion et offre une bonne tenue à chaud dans des formats plus petits.

Fabricants de vélos haut de gamme (vélo de route ou VTT à disques)

**Exemples:** Shimano, SRAM, Hope Tech.

Pourquoi : Les vélos à frein à disque utilisent de petits disques, souvent en acier inoxydable pour leur légèreté, leur durabilité, et leur résistance à l'eau et à la boue.

Entreprises spécialisées en sport automobile ou custom

**Exemples:** AP Racing, Wil wood, Stop Tech.

Pourquoi : Certaines applications spécifiques (prototypes, racing, ou kits personnalisés) utilisent des alliages inox pour leurs propriétés thermiques et leur résistance à l'usure.

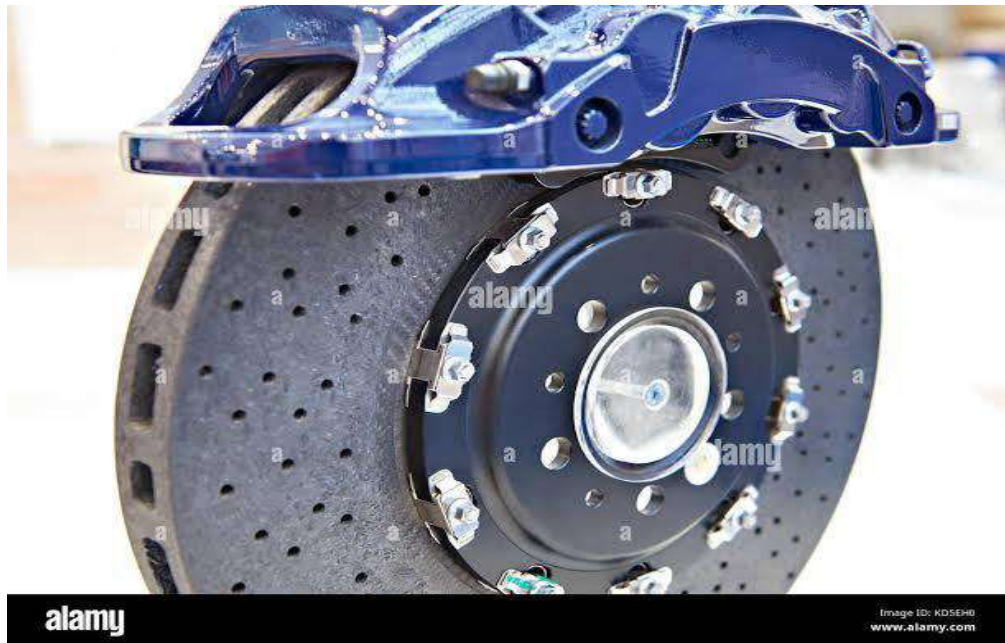
Fabricants de véhicules spéciaux (militaires, tout-terrain, marins)

Pourquoi : Dans les environnements très corrosifs (boue, sel, humidité), l'acier inoxydable est préféré pour des raisons de longévité.

### **I-9-3 disques céramique et carbone :**

Rares sont les disques composés de ces matériaux, un jeu de disques pouvant coûter de 5000 à 10 000 euros on aura vite compris pourquoi ... L'avantage de ces deux procédés est encore une fois lié à la chaleur. Ces deux technologies permettent de garder un freinage mordant même quand les disques sont chauds. La tolérance est donc bien plus élevée, ce qui fait que lorsque les disques en fonte seront brûlants et inutilisables (pause obligatoire pour laisser refroidir) les freins en carbone et céramique continueront de faire joujou sur le circuit. De plus, les versions en fonte pourront rapidement se voiler en cas de coup de chaleur, le métal devenant malléable. [13].

Les disques de frein en **carbone-céramique** sont des pièces **haut de gamme**, ultra-performantes, utilisées surtout dans les véhicules qui ont besoin d'un freinage très puissant, stable à très haute température, et très léger. Voici les **types de voitures** qui utilisent ce type de disques :



**Figure I-29:** disque céramique et carbone

### Voitures de sport et supercars

- **Exemples :**
  - Ferrari 488 / SF90
  - Lamborghini Huracán / Aventador
  - McLaren 720S / Artura
  - Porsche 911 Turbo S / GT3 / GT2 RS (avec option PCCB : Porsche Ceramic Composite Brakes)
- **Pourquoi :** Ces voitures atteignent des vitesses très élevées et nécessitent un freinage puissant sans perte de performance, même en conditions extrêmes (piste, montagne, conduite agressive).

### Voitures de luxe haut de gamme (optionnelles ou de série selon le modèle)

- **Exemples :**

- Audi RS6 / RS7 / R8 (option)
- Mercedes-AMG GT / S63 / E63 S (option ou série)
- BMW M5 CS / M8 (option ou série sur certaines versions)
- **Pourquoi** : Elles offrent ces freins en **option premium**, notamment pour les clients qui vont sur circuit ou veulent le look et la performance.

### Voitures électriques hautes performances

- **Exemples** :
  - Tesla Model S Plaid (option freins carbone-céramique avec le “Track Package”)
  - Rimac Nevera
  - Lotus Evija
- **Pourquoi** : Ces voitures sont très puissantes et lourdes à cause des batteries, donc le carbone-céramique permet de **garder de l’endurance au freinage** malgré le poids.

### Voitures de course (certains types)

- **Exemples** :
  - Formule 1 (carbone pur, parfois céramique)
  - Voitures d’endurance type LMP1/LMDh
  - GT3 (certaines catégories selon règlement)
- **Pourquoi** : Performance absolue, poids minimal, résistance à des températures extrêmes (>1000 °C).

**I-10 Conclusion :**

Ce chapitre a permis de montrer les principales technologies de frein couramment utilisées sur les Véhicules de tourisme. Les freins à disque sont désormais la référence en matière de sécurité et d'efficacité. La maîtrise de cette technologie est cependant dépendante des nuisances vibratoires ou sonores intrinsèques à ces systèmes complexes.

# **CHAPITRE II**

## **SYSTEME DE FRIENAGE ABS (DISK – PLAQUETTE)**

## **Introduction :**

Le système de freinage antiblocage (ABS) est un système de sécurité automobile qui permet aux roues d'un véhicule automobile de maintenir un contact de traction avec la surface de la route en fonction du freinage, empêchant ainsi le blocage des roues (arrêt de la rotation) C'est un système automatisé qui utilise les principes du freinage à seuil et du freinage par cadence, qui étaient pratiqués par des conducteurs compétents avec des systèmes de freinage de la génération précédente. Il le fait à un rythme beaucoup plus rapide et avec un meilleur contrôle qu'un conducteur pourrait gérer [2].

Dans ce chapitre nous exposons une brève historique du système ABS, ensuite principe de fonctionnement du système freinage classique (sans ABS), ainsi le système ABS et les différents composants du système, et principe de fonctionnement de système ABS, description fonctionnelle de différents actionneurs d'ABS, par la fine classification des systèmes ABS et les différents montages de système de freinage (ABS).

### **II-1 Historique L'ABS**

Dans les années 1920, Rémy DOHER, pionnier de l'automobile et de l'aviation, met au point un système de freinage antiblocage fonctionnant à l'hydraulique. Ce système innovant permettait aux avions d'atterrir en toute sécurité, sans risque de dérapage sur leurs pistes, contrairement aux systèmes de freinage mécaniques utilisés auparavant.

En 1928, l'ingénieur allemand Karl Wessel obtient une licence pour concevoir un dispositif de freinage d'urgence pour automobiles, bien que ses recherches n'aient pas abouti à une réalisation concrète. Ce n'est qu'en 1936 que l'idée du système de freinage antiblocage (ABS) voit le jour, grâce à une collaboration avec Bosch, qui dépose alors un brevet pour ce dispositif révolutionnaire.

Dans les années 1960, les travaux de recherche et développement sur l'application de l'ABS aux automobiles reprennent à Heidelberg, au sein de la société Tel dix, résultat d'une collaboration entre les entreprises Telefunken et Ben dix. En 1966, la première voiture équipée d'un système ABS mécanique est la Jensen FF, dotée d'un dispositif ABS de type Dunlop-Maxare.

En 1969, la première génération d'un système antiblocage électronique est dévoilée au Salon de l'automobile de Francfort (Internationale Automobil-Ausstellung ou IAA) par la société américaine

ITT Auto motives, suite à l'acquisition de la société Alfred Teves GmbH. Dans cette version du système, la vitesse de pression sur la pédale de frein est mesurée, ce qui permet de détecter un freinage d'urgence probable.

L'histoire se répéta en 1996, lorsque Bosch racheta l'activité de freinage de Ben dix, devenue entre-temps Allie Signal. Cette acquisition incluait le système ABS d'Allie Signal. Bien que Bosch possédait une grande usine en Europe, la société choisit de maintenir la production d'ABS à Moulins en raison des performances exceptionnelles de cette installation. En septembre 1997, Bosch 4 lança la production de l'ABS 5.3 pour les constructeurs français et italiens. Grâce à ce site, la production d'ABS se poursuit aujourd'hui encore sur le sol français.

En 2003, Daimler-Benz a perfectionné le système en l'équipant d'un radar de régulation de distance, sous le nom de BAS Plus. L'objectif était de prévenir les collisions par l'arrière ou, du moins, de réduire la vitesse de l'impact. Si le véhicule suiveur est également doté de ce système, la distance et la vitesse de rapprochement des deux véhicules sont constamment surveillées. En cas de vitesse relative trop élevée, une alarme visuelle se déclenche, et toute pression sur les freins active automatiquement le freinage d'urgence assisté. [1]

À mesure que des statistiques d'accidents plus complètes sont devenues disponibles au fil Des ans, la contribution de l'ABS à la sécurité routière est désormais incontestable et a déjà Sauvé des milliers de vies au fil des ans. Dans l'Union européenne, toutes les voitures particulières nécessitent l'ABS comme équipement standard depuis 2007, ainsi que d'autres Dispositifs de sécurité. Cette mesure sera étendue aux motos en 2016



**Figure II- 1 : ABS esp Clio-Renault [1]**

## **II-2 La nécessité du freinage ABS**

Pour remédier aux inconvénients du frein classique il est inventé (1977 en Allemagne par Bosch) Le frein ABS [04].

Le frein ABS répond aux questions précédentes par :

- La régulation de freinage doit prendre en compte extrêmement rapidement les Variations d'adhérence de la chaussée. Par exemple, sur une route sèche avec des plaques de verglas par endroits, la durée d'un blocage éventuel des roues doit être suffisamment courte pour que la stabilité et la maniabilité ne s'en trouvent pas affectées.
- En phase de freinage ABS, la stabilité du véhicule et la dirigeabilité doivent être assurées, aussi bien lors d'une montée lente de la pression de freinage jusqu'au blocage, que lors d'une montée de pression brutale pour un freinage d'urgence.
- La régulation de freinage doit fonctionner sur toute la plage de vitesse du véhicule.
- Les couples de lacet (rotation autour de l'axe vertical du véhicule), inévitables en phase de freinage sur une chaussée présentant des coefficients d'adhérence gauche droit différents, doivent apparaître suffisamment lentement pour que le conducteur puisse les compenser avec la direction.
- La diminution du risque d'accident.
- Lors d'un freinage en virage avec une vitesse du véhicule ne dépassant pas la vitesse limite en virage, la stabilité et la maniabilité doivent être conservées, la distance de freinage réduite au minimum ce qui peut éviter les collisions. [04].

## **II-3 Définition :**

Le système de freinage ABS (Anti block Braking System) équipe désormais tous les véhicules récents. Ce système est conçu pour prévenir l'instabilité lors d'un freinage brutal et intense en présence d'un obstacle. Il empêche le blocage d'une ou plusieurs roues durant un freinage excessif. Cependant, le conducteur doit être conscient des conséquences dangereuses d'une conduite sans ABS ou avec un système ABS défectueux, notamment s'il rencontre des difficultés à contrôler l'intensité de son freinage

Pour garantir une conduite en toute sécurité, le système ABS repose sur un ensemble de composants qui travaillent en parfaite harmonie pour assurer la fonction souhaitée. Les capteurs de vitesse de chaque roue détectent si une roue est sur le point de se bloquer. Ensuite, un système de soupapes hydrauliques ajuste ou réduit la force de freinage sur cette roue. Cela permet au conducteur

de maintenir le contrôle du véhicule et d'éviter qu'il ne perde son adhérence. La figure ci-dessous illustre le schéma de fonctionnement du système ABS [04].

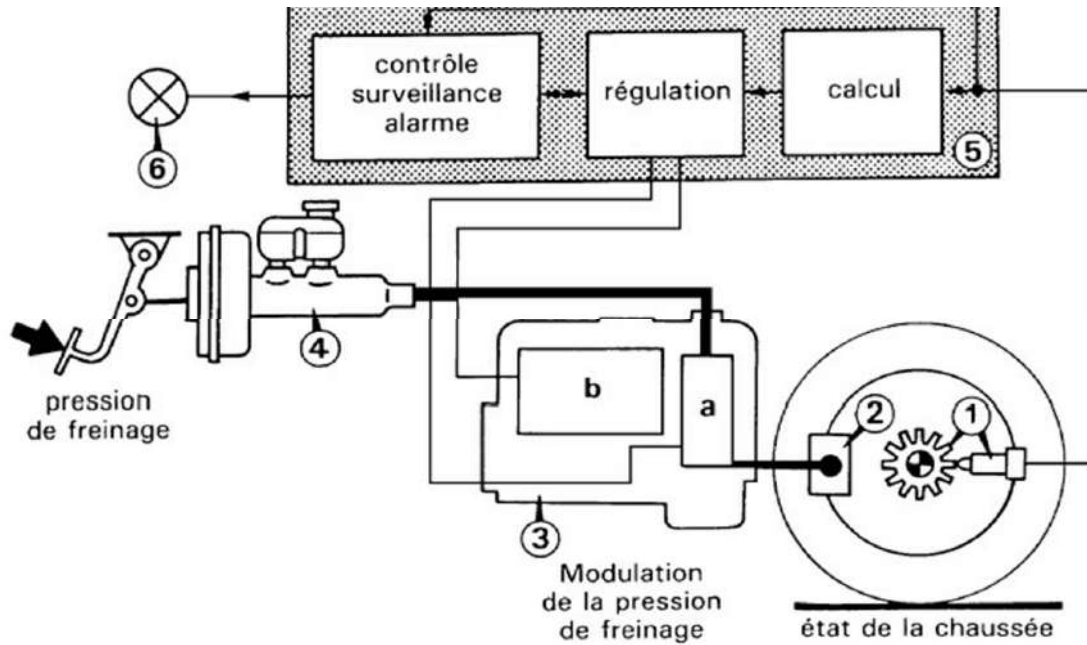


Figure II-2 Le Système de freinage ABS[04].

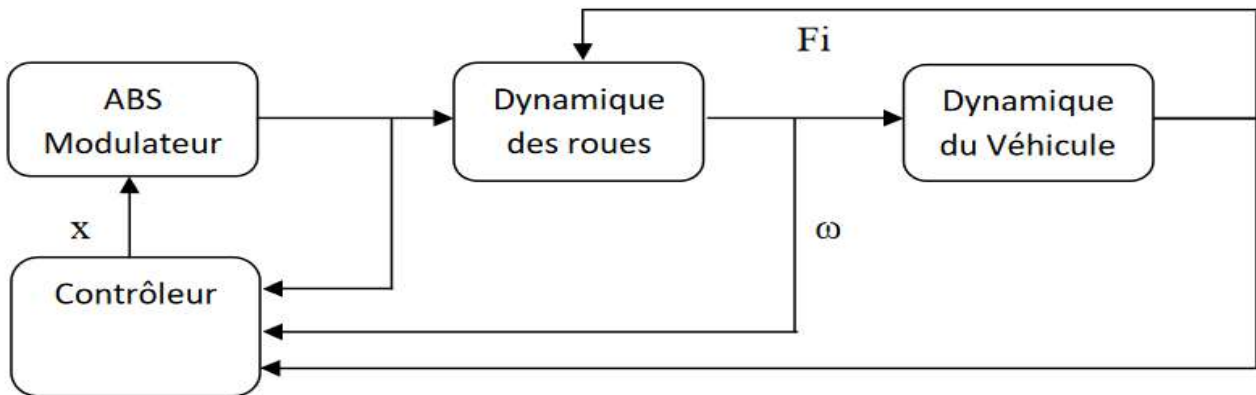


Figure II-3 Schéma da L'ABS [4]

## **II-4 Le principe du freinage :**

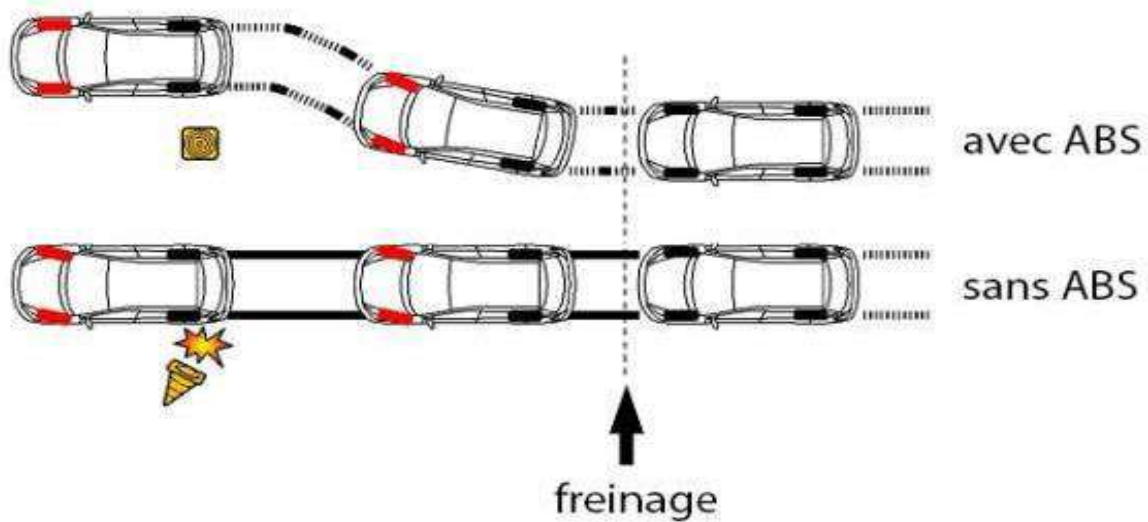
Le mot freinage suppose l'existence, au préalable, d'un mouvement. Aussi la fonction principale d'un frein est de ralentir, voire d'immobiliser un système mécanique en mouvement. Il est le premier organe de sécurité sur les véhicules automobiles.

Le principe de freinage repose sur la transformation de l'énergie cinétique en énergie thermique par le biais d'actions qui peuvent être de nature magnétiques ou électromagnétiques, on parle alors de freinage à distance ou de nature mécanique où le contact entre les corps est souvent utilisé. [1].

Le freinage mécanique est le plus couramment utilisé sur les véhicules automobiles. Il est basé sur un phénomène physique encore peu appréhendé, qui est le frottement. L'étude de ce dernier fait appel à plusieurs domaines, notamment la tribologie et la mécanique du contact qui sont des domaines de la physique les plus complexes. L'efficacité d'un système de freinage mécanique est liée à la capacité de ses constituants d'assurer un frottement suffisamment important et de pouvoir dissiper rapidement la chaleur afin d'éviter la surchauffe de l'ensemble du mécanisme.

Le système ABS fonctionne grâce à des capteurs qui mesurent en temps réel la vitesse de rotation des roues. Ces capteurs transmettent en continu un signal à un calculateur, qui analyse le mouvement relatif de chaque roue et actionne les valves de frein pour réguler la pression dans les chambres de frein. Lorsqu'un blocage potentiel d'une roue est détecté, le calculateur réagit en relâchant immédiatement la pression dans la chambre de frein afin d'éviter le blocage. Ce processus se répète plusieurs fois par seconde pour garantir un freinage optimum.

Dans un véhicule équipé du système ABS, le conducteur freine normalement. Lorsque l'ABS se met en action, il est important de ne pas relâcher la pression sur la pédale de frein. Il faut éviter de pomper sur la pédale, car le système effectue des ajustements de pression jusqu'à cinq fois par seconde, un rythme bien plus rapide que ce que le conducteur pourrait réaliser manuellement. Pour que le système fonctionne de manière optimale, le conducteur doit simplement appuyer fermement sur la pédale et la maintenir, permettant ainsi à l'ABS de réguler la pression de freinage de chaque roue. [2].



**Figure II-4:** Freinage sans et avec système ABS

### **II-5 Objectifs de L'ABS :**

- Réduire la distance d'arrêt :

Le type de route et les conditions de conduite peuvent être déterminés en analysant la pression de freinage, le patinage des roues et les taux de décélération. Le patinage des roues est ajusté pour optimiser le coefficient d'adhérence avec la chaussée. En maintenant toutes les roues du véhicule proches du coefficient de frottement maximal, le système antiblocage peut générer une force de freinage optimale. Cette approche permet ainsi de réduire efficacement la distance d'arrêt du véhicule. 7

- a- Stabilité :

Une roue bloquée génère une force de freinage inférieure à l'adhérence maximale disponible entre le pneu et la route. De plus, une roue bloquée perd sa capacité à exercer toute force latérale, ce qui peut entraîner une perte de stabilité du véhicule. L'objectif principal d'un système ABS classique est donc d'empêcher le blocage des roues et de maintenir le patinage longitudinal dans une plage optimale en ajustant la pression de freinage.

**b- Gérabilité :**

Un contrôle précis de la force de friction maximale est essentiel pour garantir des forces latérales adéquates et, par conséquent, une bonne capacité de direction. En cas d'apparition soudaine d'un obstacle, le freinage d'urgence seul peut ne pas suffire. Lorsque les roues sont bloquées, le véhicule cesse de répondre aux intentions du conducteur en matière de direction. Grâce à l'ABS, la voiture reste manœuvrable même lors d'un freinage d'urgence, permettant ainsi d'éviter l'obstacle en toute sécurité.

**II-6 Les composants du système :**

Le système de freinage hydraulique est constitué des composants suivants :

- a) L'unité de contrôle électronique (ECU)
- b) Le modulateur de pression
- c) Capteurs de vitesse des roues
- d) Témoin ABS

**a) Boîtier de commande électronique (ECU)**

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) [04].

- Il reçoit également une alimentation électrique et une mise à la masse.

- En retour, il pilote les électrovannes, le voyant de contrôle au tableau de bord et le relais de la pompe de réinjection.

- A la mise du contact, il effectue un « autodiagnostic » du dispositif. Si un défaut du système apparaît en roulage, le voyant s'allume au tableau de bord et le calculateur met hors service le dispositif A.B.S.

- Dans ce cas, on dispose du système de freinage traditionnel. Le calculateur garde également en mémoire tous les défauts et permet la lecture de ceux-ci avec la station diagnostic. [04].

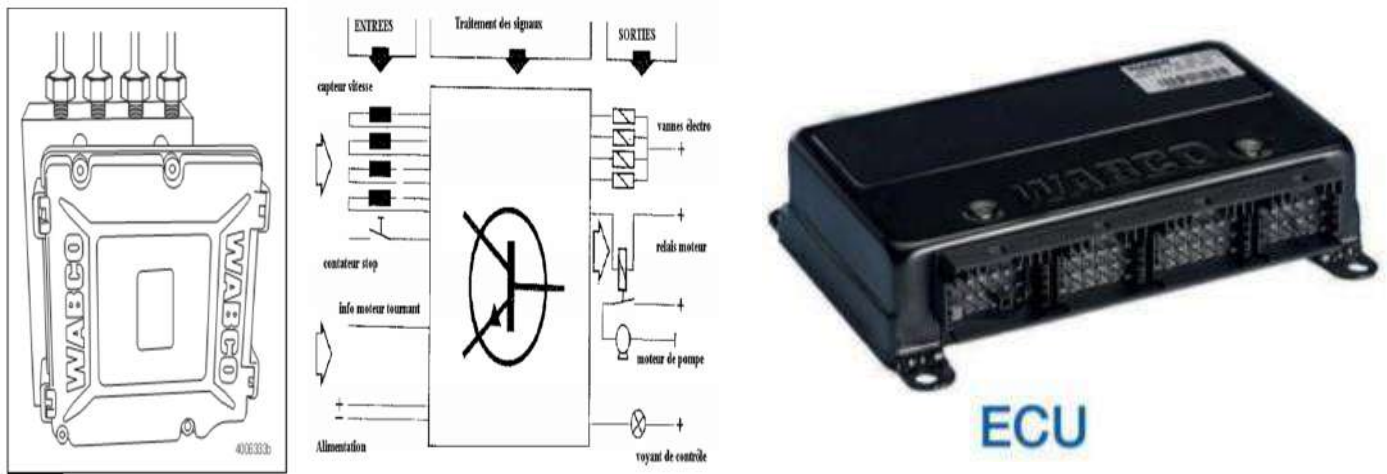


Figure II-5. Boîtier de commande électronique. [04].

**b) Ensemble modulateur**

L'ensemble modulateur contient les électrovalves du système hydraulique ABS, une électrovalve d'entrée et une électrovalve de sortie par roue, un moteur à pompe et deux accumulateurs,

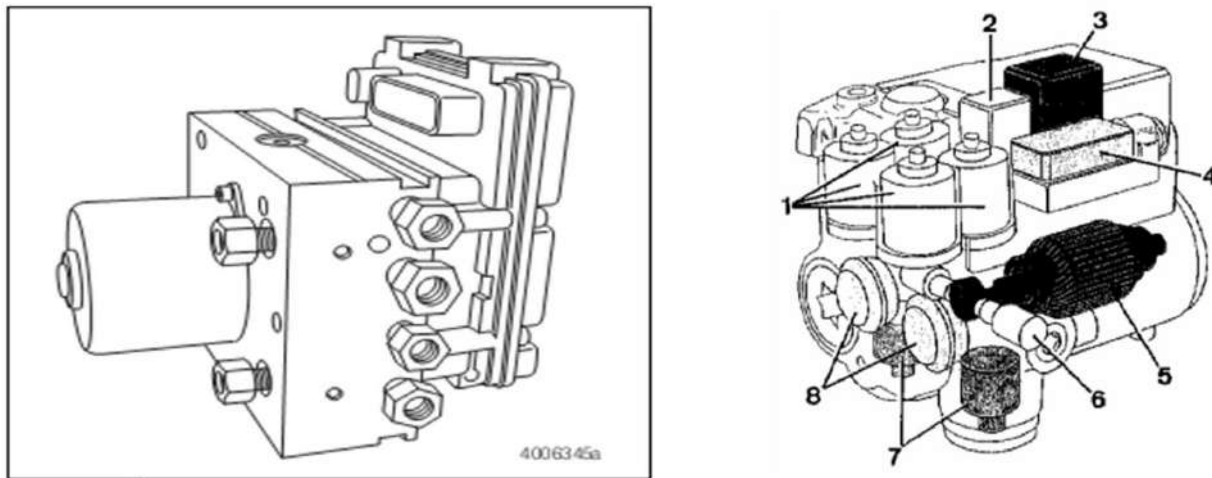


Figure II-6. Modulateur [04].

1. Electrovanne,
2. Relais de pompe,
3. Relais des électrovannes
4. Connections câblage électrique
5. Moteur électrique de pompe
6. Élément de pompage
7. Accumulateur hydraulique
8. Chambre de silence

### - Électrovannes

□ Elles permettent soit : De mettre en communication le maître-cylindre et le cylindre récepteur. (Freinage normal).

De couper cette communication, interdisant ainsi l'augmentation de pression dans le cylindre.

De mettre le cylindre récepteur en communication avec une pompe de refoulement, ceci faisant chuter la pression dans le cylindre et donc de freiner la roue.

□ Les électrovannes sont constituées d'un bobinage alimenté et mises à la masse par le calculateur. L'intensité traversée est fonction du déplacement souhaité du noyau - piston. La course de celui-ci est de quelques dixièmes de millimètres. Les électrovannes peuvent être au nombre de 3 ou 4

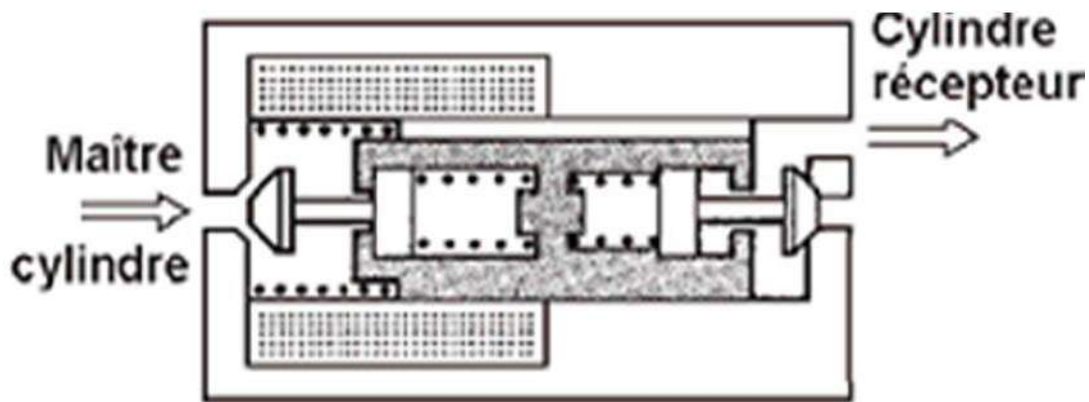


Figure II-7. Électrovanne en repos[04].

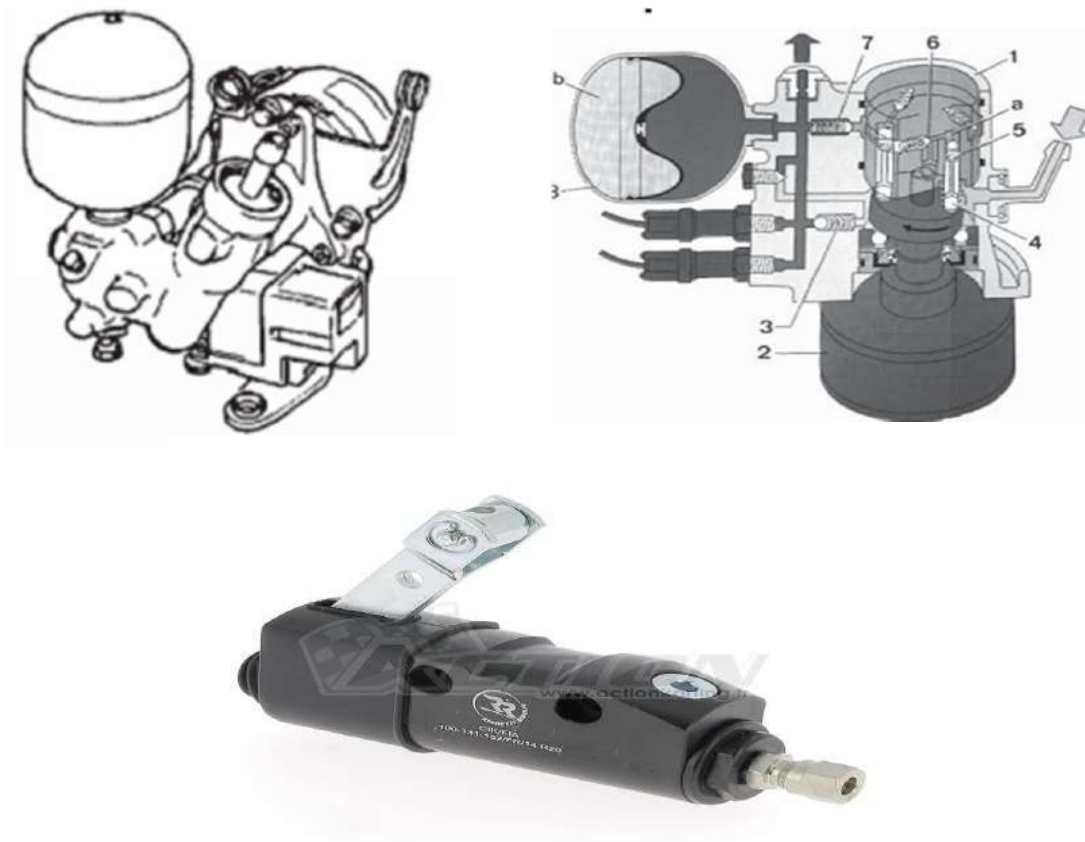
### - L'élément de pompage :

Le dispositif de freinage utilise comme source de pression la haute pression fournie par une pompe hydraulique. La pression de freinage est, dans tous les cas, proportionnelle à l'action de l'utilisateur sur la pédale de frein. [4]

Cette pompe hydraulique et électrique délivre une pression régulée par deux manocontacts entre 160 et 180 bars.

- Dès que la pression descend au-dessous de 80 bars, les manocontacts alertent le calculateur que la pression est trop faible. Celui-ci, par l'intermédiaire d'un relais, alimente la pompe en énergie électrique [04].

- Un accumulateur (sphère) permet de constituer une réserve de pression.



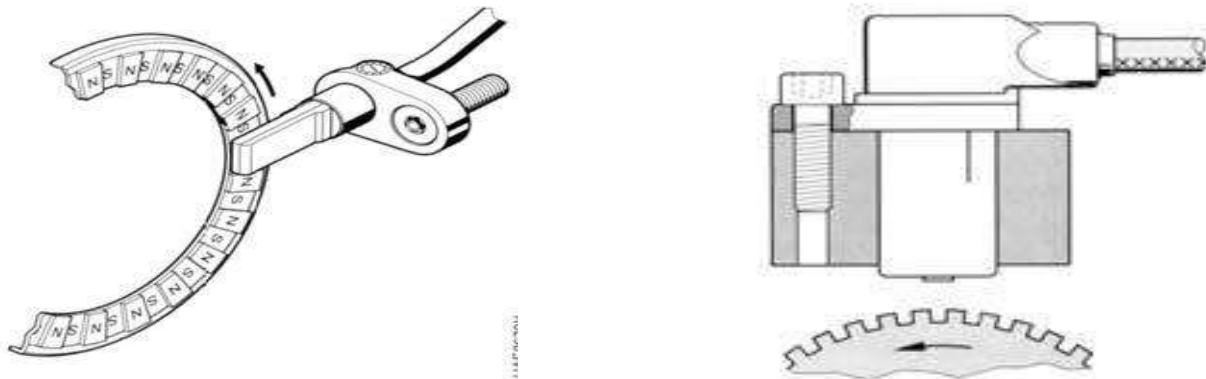
**Figure II-8.** Pompe hydraulique [04].

### c) Capteurs de vitesse des roues

#### - Capteur à douille moulée

Lit la vitesse d'une roue dentée montée sur le moyeu de la roue du véhicule.

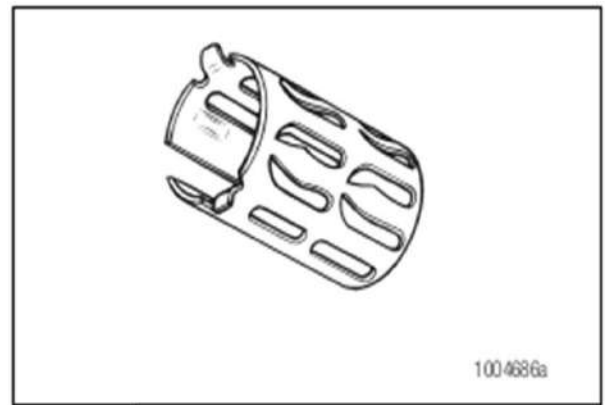
Produit une tension finale proportionnelle à la vitesse de la roue. [4]



**Figure. II-9. a** Capteur des roues [5]

**- Bague de serrage de capteur**

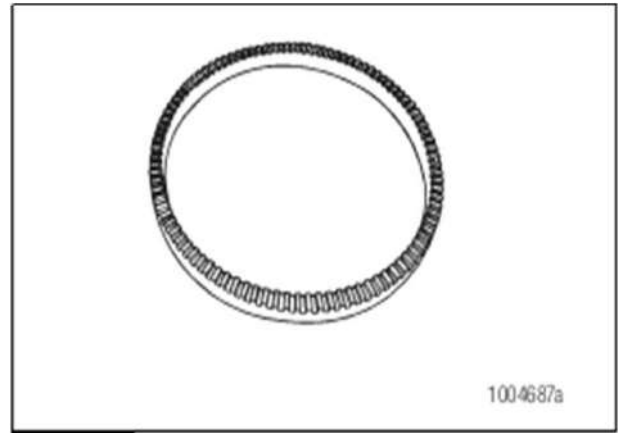
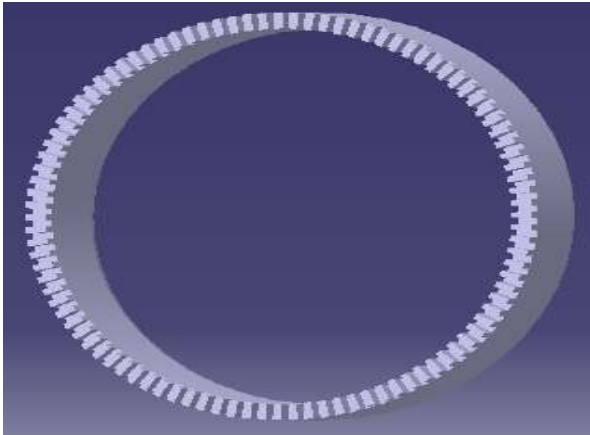
Maintient le capteur de vitesse de roue très près de la roue dentée [4]



**Figure II-9.b** Bague de serrage de capteur [04].

**- Roue dentée**

Une bague usinée ou estampée montée sur une surface usinée sur le moyeu de chaque roue équipée d'un capteur de frein ABS. Elle compte 100 dents. [4].



**Figure II.9.c** Roue dentée [04].

**- Câbles de capteur**

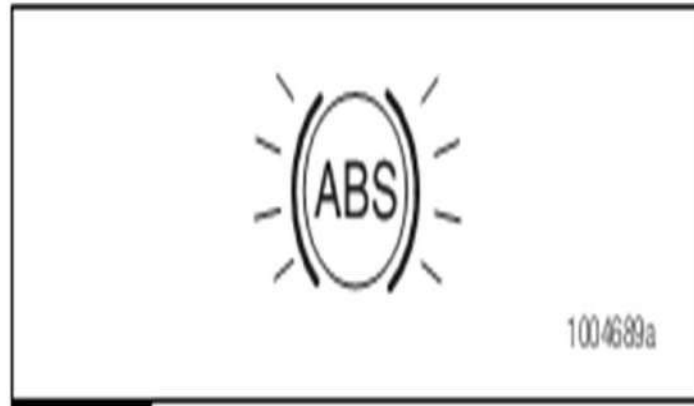
Câble à deux fils avec connecteur moulé, Relie le capteur de vitesse au boîtier de commande.



**Figure II.9.d** Câbles de capteur [04].

**d) Témoin ABS :**

Situé sur le tableau de bord du véhicule. Avertit le conducteur d'une possible défaillance du système. Utilisé par le personnel d'entretien pour afficher les codes clignotants. [4]

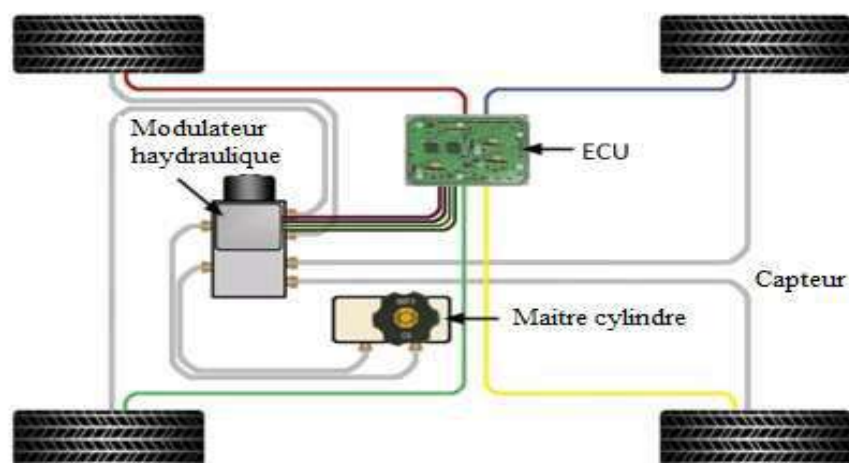


**Figure II-10** Témoin ABS [4]

### **II-7 Structure de l'ABS :**

En fonction des configurations matérielles, on peut distinguer trois différentes catégories d'architectures ABS : le système de frein à commande entièrement hydraulique (HAB), le système de freins à commande électro- hydraulique (EHB) et le système de freins à commande électromécanique (EMB). Le système le plus utilisé pour les voitures commerciales est système ABS entièrement hydraulique (HAB) [2].

La structure de système ABS est illustrée par la Figure



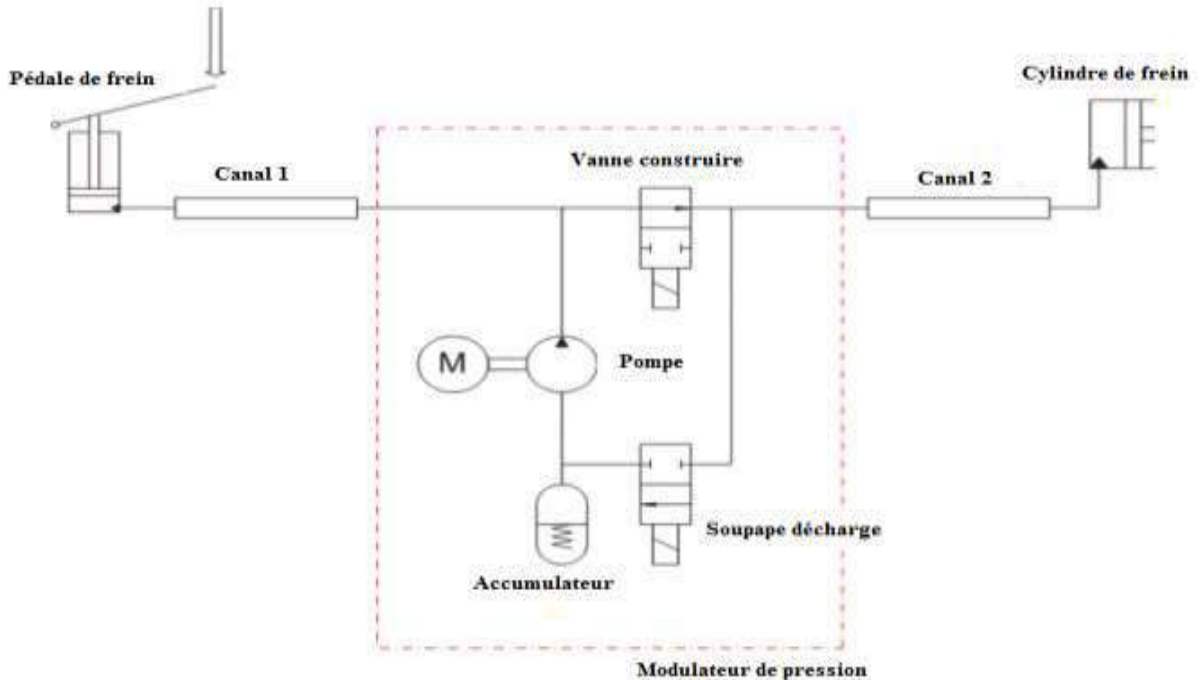
**Figure II-12.** Les composants typiques de système ABS [2].

## **II-8 Description fonctionnelle des actionneurs d' ABS :**

### **II-8-1 Fonction d' actionneur HAB :**

Les ABS disponibles sur la plupart des voitures particulières sont équipés d'actionneurs hydrauliques (HAB : freins à commande hydraulique) à dynamique discrète. De tels systèmes sont illustrés à la Figure (II.13).

Dans ces systèmes, la pression exercée par le conducteur sur la pédale est transmise au système hydraulique via une vanne de construction voir également la Figure (II.14), qui communique avec le cylindre de frein. De plus, le système hydraulique a une deuxième soupape, la soupape de décharge, qui peut décharger la pression et qui est connecté à un accumulateur basse pression. Une pompe complète le système global. La force de freinage agit sur le cylindre de roue, qui le transmet aux plaquettes et, enfin, aux disques de frein. Selon ses caractéristiques physiques, l'actionneur HAB n'est capable que de fournir trois actions de contrôle différentes. Augmenter la pression de freinage : dans ce cas la vanne de construction est ouverte et la décharge fermée. Tenez le frein pression : dans ce cas, les deux vannes sont fermées et diminuent la pression de freinage : dans ce cas la vanne de construction est fermée et la décharge ouverte.



**Figure II-13** Système de freinage hydraulique HAB [2].

Les actions d'augmentation et de diminution de la pression sont physiquement limitées par la limite de vitesse de l'actionneur  $k$ , qui définit les performances de l'actionneur. Selon cette description, la dynamique du couple de freinage pour le HAB l'actionneur sera décrite comme :

$$\frac{dT_b}{dt} = u$$

(II-1)

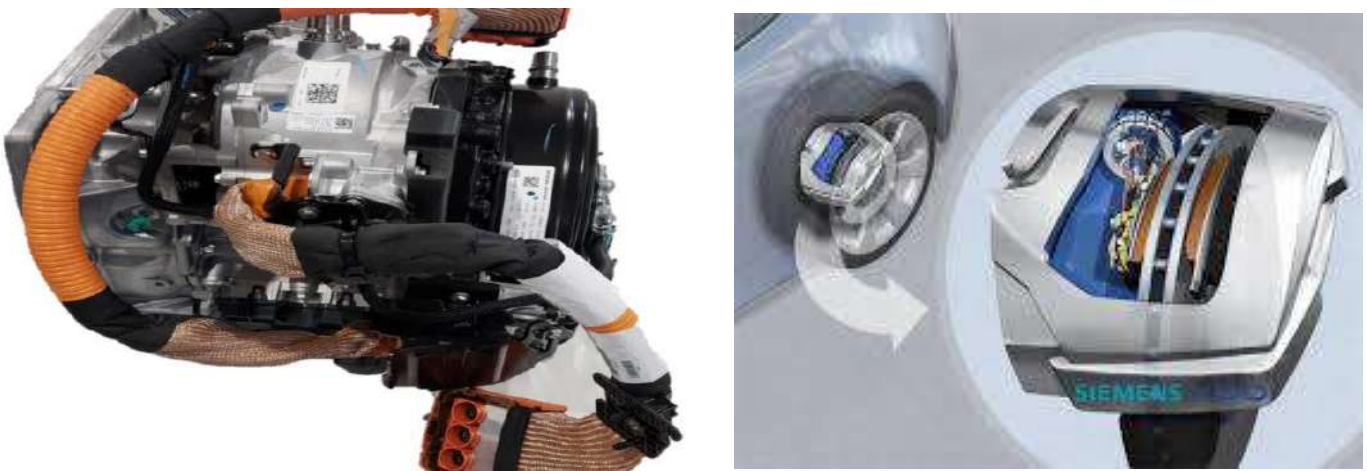
Avec  $u = \{-k, 0, k\}$ . Selon la valeur de la variable de contrôle  $u$ , on modélise les trois actions possibles de l'actionneur, c'est-à-dire que  $u = -k$  correspond au diminuer l'action de commande,  $u = 0$  correspond à l'action de commande de maintien et  $u = k$  correspond à l'action de commande d'augmentation. La limite de débit  $k \in R$  est un paramètre connu. Sa valeur nominale sera fixée à 5 kN / s [2].

### **II-8-2 Fonction d'actionneur EHB :**

La nouvelle génération de systèmes de commande de freinage sera basée soit sur freins électrohydrauliques ou électromécaniques ; ce dernier sera la technologie utilisée dans les futurs systèmes

de freinage par fil (BBW) [2].

Dans les EHB, un retour d'effort est fourni au niveau de la pédale de frein (de manière à les conducteurs ressentent la pression qu'ils exercent) et un signal électrique mesuré via un capteur de position est transmis à un groupe hydraulique doté d'une électronique unité de commande (ECU), physiquement connectée à l'étrier (c'est-à-dire, le système fait du corps de frein externe). Les EMB se caractérisent par un système de composants électriques secs qui remplace les actionneurs conventionnels par unités à moteur électrique voir également la Figure (II.15).



**Figure II. 15.** Système de freinage électromécanique EMB

Le Tableau (II.1) représente la comparaison entre s les différents actionneurs de l'ABS

**Tableau II. 1:** Différents actionneurs de système du freinage ABS[2]

Comparaison	HAB	EHB	EMB
-Technologie	Hydraulique	Electro-hydraulique	Electromécanique
-Force modulation	Discret (On/off)	Continu	Continu
-Ergonomie	Vibration de pédale	Aucune vibration	Aucune vibration
-Problèmes environnementaux	Huile toxiques	Huile toxique	Pas de huile

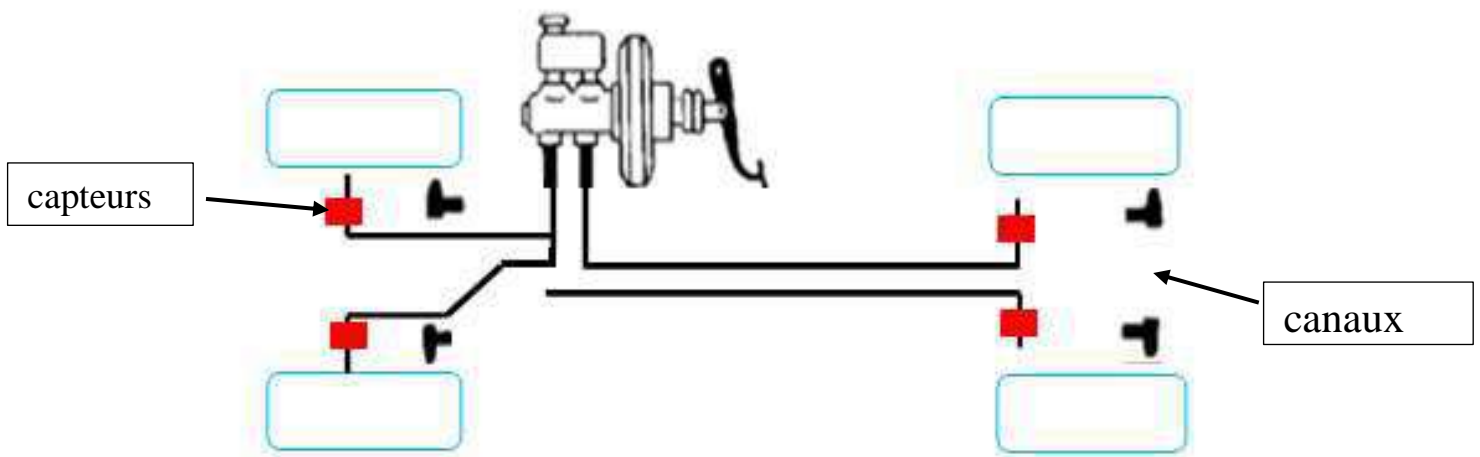
### II-9 Classification montage de système ABS :

Il existe Trois formes d'ABS, basées sur la configuration du circuit de freinage, configuration du groupe moto propulseur et exigences fonctionnelles du véhicule [2].

Ces variantes sont encore différenciées en fonction du nombre de canaux de commande et capteurs de vitesse de roue. Les trois variantes sont brièvement décrites comme

□ La forme à 4 capteurs à 4 canaux existe, cette forme permet un contrôle indépendant de la pression de freinage sur les quatre roues individuelles par les quatre canaux hydrauliques, la

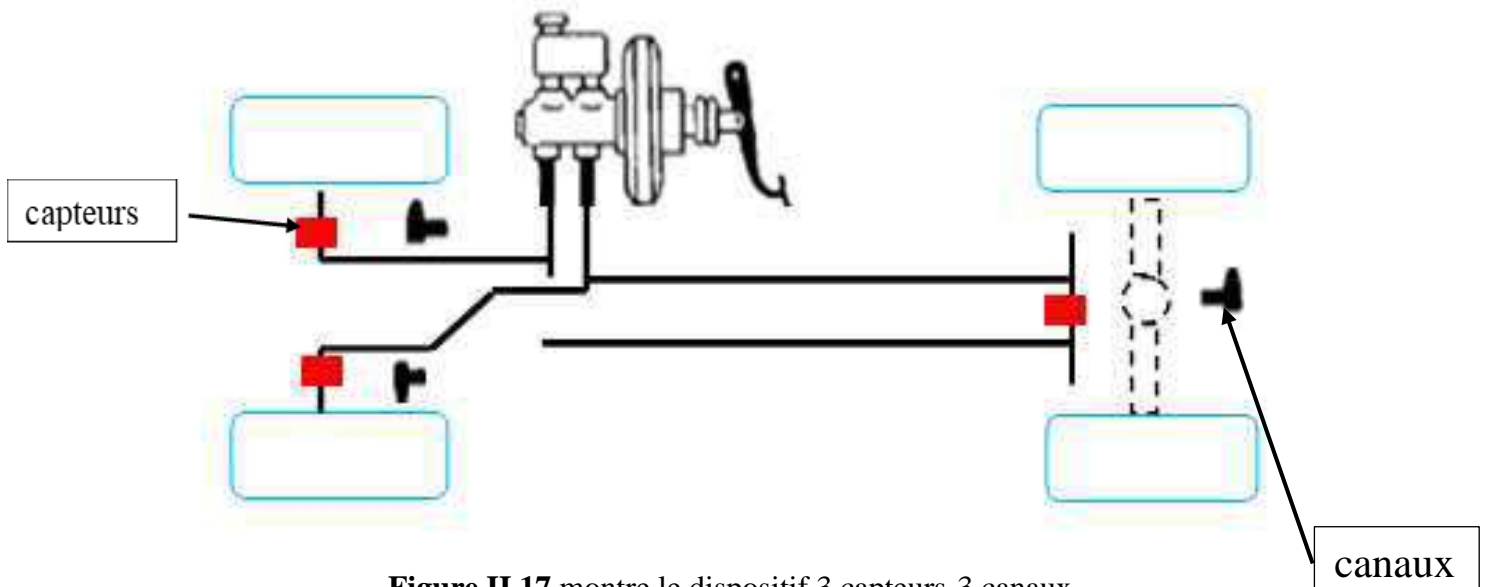
Figure (II.16) présente la forme de 4 capteurs-4 canaux [2]



**Figure II. 16.** La forme 4capteurs- 4 canaux

□ Dans la forme 3 canaux 3 capteurs, un seul capteur est utilisé pour les deux roues arrière. Ce capteur est monté dans le différentiel pour mesurer les différences de vitesse de roue et un seul canal hydraulique est utilisé pour contrôler la pression de freinage arrière. Il s'agit notamment des petits véhicules utilitaires et des camions. la

Figure (II.17) montre le dispositif 3 capteurs-3 canaux.



**Figure II.17** montre le dispositif 3 capteurs-3 canaux.

□ La forme rare avant à 2 canaux et 3 capteurs était supprimé en raison de ça fonctionnalité limitée. Ceux-ci se composent d'un capteur de vitesse sur le différentiel de l'essieu arrière et d'un seul canal de commande sans pompe de retour. Ceux-ci empêchent la roue arrière de blocage mais pas les roues avant, ce qui est un inconvénient [2]

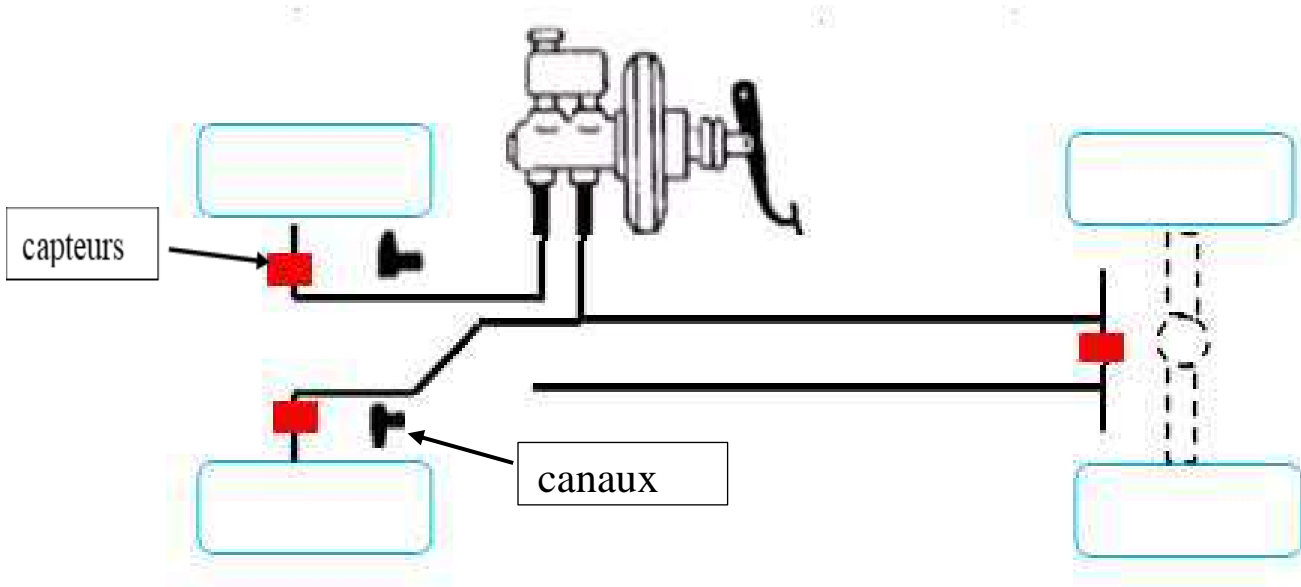


Figure II. 18. La forme 3capteurs- 2 canaux

**II-10 Modulateur antiblocage :**

Le modulateur A.B.S, piloté par l'ECU, ajuste la pression d'air dans les récepteurs pour optimiser le freinage et empêcher le blocage des roues.

Le modulateur avec valve relais intégrée est utilisé sur des autobus équipés de l'ABS et sert à commander la pression de freinage sur un ou plusieurs cylindres. Dans un système de freinage à air comprimé sur autobus, hors sollicitation de l'ABS, la valve modulatrice relais agit en tant que valve relais conventionnelle et, en réponse à un signal de pression de commande, accélère les applications du frein par un contrôle rapide et précis de grands volumes d'air. [1]

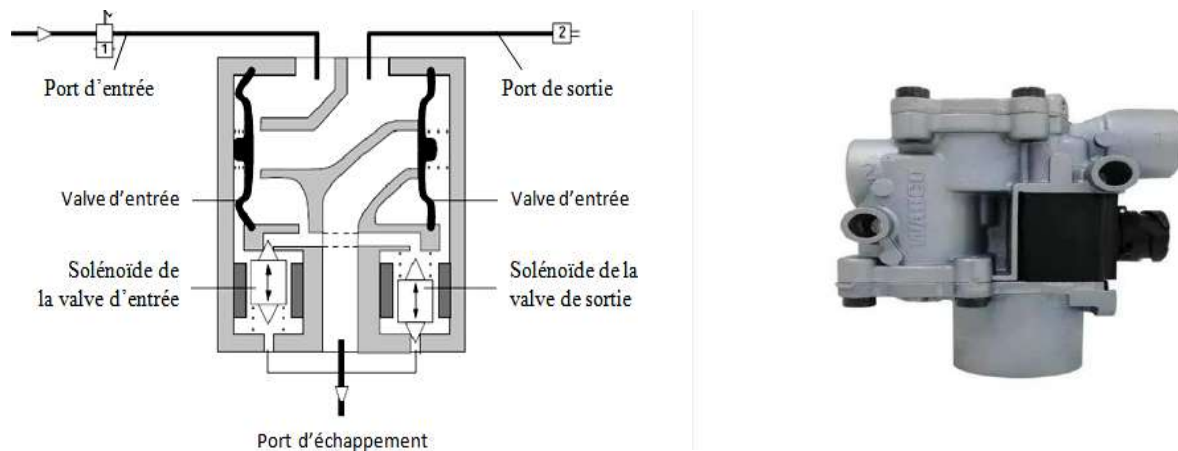


Figure II-19 : Valve de modulation de pression. [1]

Toutefois, si au cours du freinage, l'ECU du système de freinage ABS détecte qu'une roue décélère trop rapidement et qu'un blocage de roue est imminent, elle envoie des signaux électriques à la valve modulatrice relais qui commande la roue concernée. La valve modulatrice module alors rapidement la pression de freinage entre les 3 états, « échappement », « Maintien », et « application », et ce tant que le risque de blocage de la roue n'est pas écarté. La valve modulatrice relais est disponible à la fois en version relais à circuit unique et à deux circuits. La valve relais à deux circuits utilise un signal simple et un raccord d'alimentation avec des orifices de sortie commandés indépendamment par leurs modulateurs respectifs.



**Figure II-20 :** Le système ABS WEBC

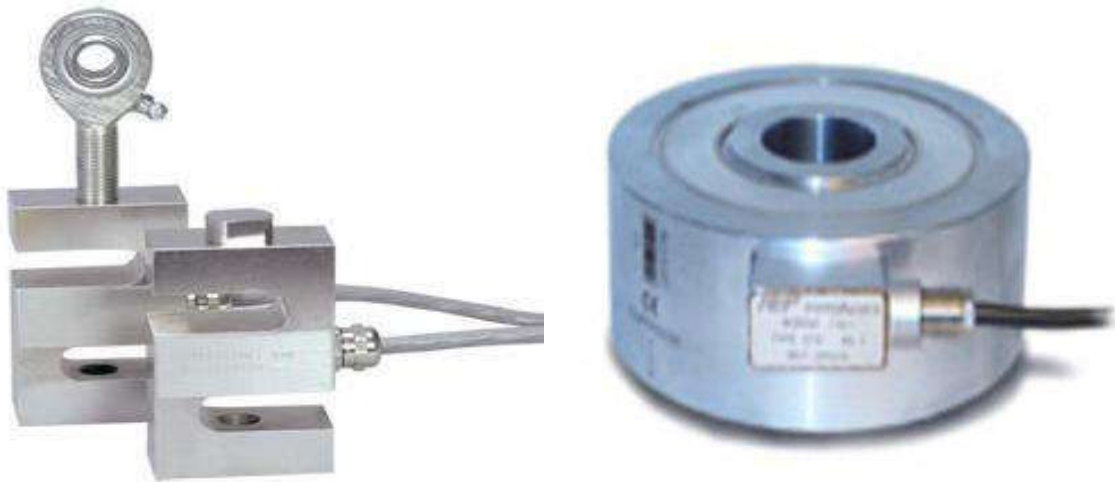
### **II-11 Généralité sur les capteurs :**

Un capteur est un dispositif transducteur qui convertit une grandeur physique en une autre grandeur physique, généralement une grandeur électrique telle qu'une tension, pouvant être exploitée directement par l'homme ou via un instrument adapté. Il constitue le premier élément d'une chaîne de mesure ou d'un système d'instrumentation.



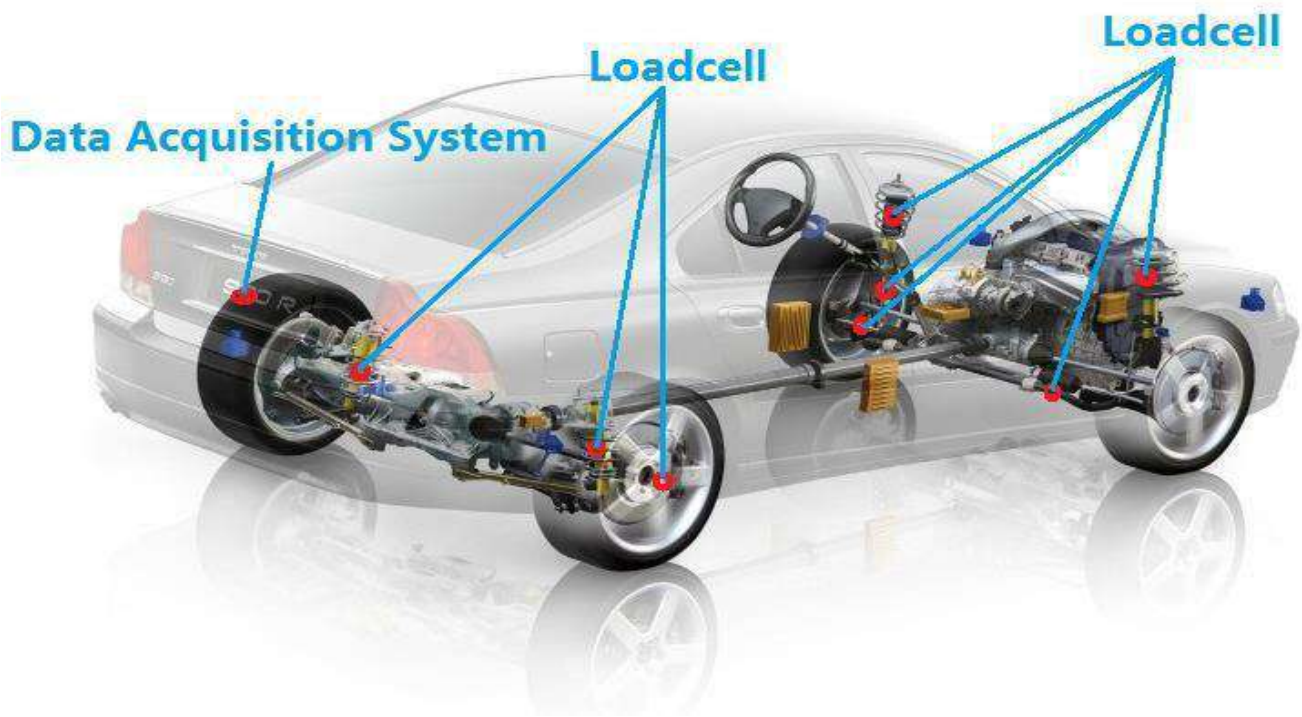
**Figure II-21 :** Schème de fonctionnement d'un capteur

Un capteur de force (ou d'effort) est un dispositif utilisé pour convertir une force (par Exemple un poids) appliquée sur un objet en signal électrique. Le capteur est généralement Construit en utilisant des jauges de déformation connectées en un pont approprié. Un Amplificateur est normalement nécessaire pour lire le signal délivré par le transducteur.[8]



**Figure II-22 :** Quelques modèle des capteurs de force

### **II-11-1 Placement des capteurs de force dans une voiture :**



**Figure II-23** Placement des capteurs de forces dans la voiture

### **Les avantages et les inconvénients :**

#### **Les avantages**

Sécurité accrue : l'ABS réduit considérablement le risque de dérapage et de perte de contrôle, en particulier sur les surfaces glissantes.

\* Distance de freinage réduite : dans certaines conditions, l'ABS peut réduire la distance de freinage par rapport à un véhicule sans ABS.

\* Meilleur contrôle de la direction : l'ABS permet au conducteur de continuer à diriger le véhicule pendant le freinage, ce qui peut être crucial pour éviter les obstacles.

\* Réduction de l'usure des pneus : l'ABS empêche le blocage des roues, ce qui réduit l'usure irrégulière des pneus.

**Inconvénients**

\* Distance de freinage accrue dans certaines conditions : sur des surfaces meubles comme le gravier ou la neige, l'ABS peut augmenter la distance de freinage car le blocage des roues permet de créer un tas de matière devant les roues qui aide à ralentir le véhicule.

\* Sensation de pédale de frein vibrante : l'ABS provoque des vibrations dans la pédale de frein, ce qui peut être déconcertant pour certains conducteurs.

\* Coût : les véhicules équipés d'ABS peuvent être légèrement plus chers que ceux qui n'en sont pas équipés.

\* Entretien : l'ABS est un système complexe qui peut nécessiter un entretien plus fréquent que les systèmes de freinage traditionnels

**II-12 Conclusion :**

En conclusion, le système de freinage antiblocage (ABS) représente une avancée cruciale dans la technologie de sécurité automobile. En empêchant le blocage des roues lors d'un freinage brusque, l'ABS permet aux conducteurs de maintenir le contrôle de la direction et de réduire les distances d'arrêt sur la plupart des surfaces. Ce système a prouvé son efficacité dans la réduction des accidents et des blessures, ce qui en fait une caractéristique de sécurité essentielle dans les voitures modernes. Avec les progrès continus de la technologie automobile, il est probable que nous verrons d'autres améliorations des systèmes ABS, renforçant encore la sécurité de la conduite. Comprendre la fonction et les avantages de l'ABS est crucial pour chaque conducteur afin de profiter pleinement de ses capacités et d'améliorer la sécurité sur les routes.

# **Chapitre III**

Conception sous SolidWorks -et  
simulation par ANSYS

## **III-1 Conception par Solid Works :**

### **III-1-1 Introduction :**

Au cœur de tout processus de développement de produit réussi se trouve une conception technique magistrale. SolidWorks est une plate-forme puissante et complète qui permet aux ingénieurs et aux concepteurs de transformer leurs idées créatives en modèles numériques 3D précis et réalistes. Ce n'est pas seulement un programme de dessin, c'est un environnement intégré qui prend en charge l'ensemble du cycle de vie du produit, de l'idée initiale jusqu'à la fabrication.

### **III-1-2 SOLID WORKS :**

SOLID WORKS est un outil de modélisation en 3D qui utilise la conception paramétrique. Il génère trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont dépendants, de façon que toute modification sur n'importe quel concept de base est répercutée vers tous les fichiers correspond. Cet outil est créé par l'éditeur américain « éponyme » en 1993 et acheté en 1997 par la société « Dassault Systèmes », il est utilisé par les grandes firmes comme Michelin, Méga Bloks et AREVA [10]

### **III-1-3 Historique :**

SolidWorks Corporation a été fondée en décembre 1993 par Jon Hirschtick, diplômé du Massachusetts Institute of Technologie. Hirschtick a utilisé le million de dollars qu'il avait gagné en tant que membre de l'équipe de blackjack du MIT pour créer la société (Tremblay, 26 mars 2008). Initialement basé à Waltham, dans le Massachusetts, aux États-Unis, Hirschtick a recruté une équipe d'ingénieurs dans le but de concevoir un logiciel de CAO 3D facile à utiliser, abordable et disponible sur le bureau Windows. SolidWorks a lancé son premier produit SolidWorks 95 en novembre 1995 (Charlès, Green). En 1997, Dassault, mieux connu pour son logiciel CATIA CAD, a acquis SolidWorks pour un stock de 310 millions de dollars (Charlès). Jon Hirschtick a occupé divers postes au cours des 14 années suivantes. Sous sa direction, SolidWorks est passé à une société générant un chiffre d'affaires de 100 millions de dollars (GRIFFITH, 6 mars 2015).

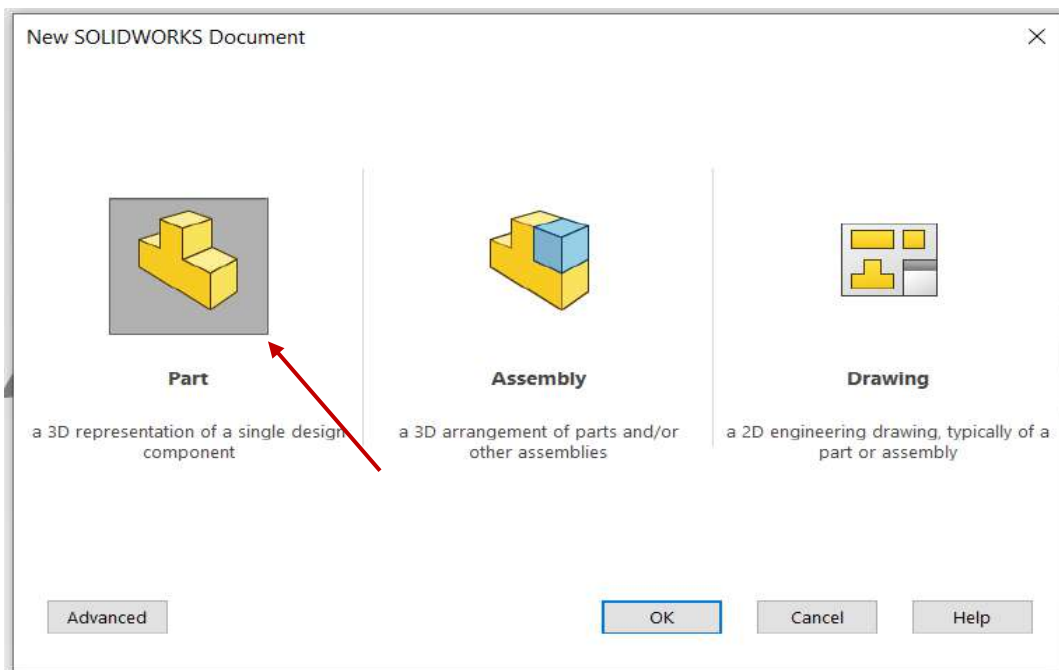
SolidWorks commercialise actuellement plusieurs versions du logiciel SolidWorks CAD en plus d'eDrawings, un outil de collaboration et de Draft Sight, un produit de CAO 2D.

SolidWorks a été dirigé par John McEleney de 2001 à juillet 2007 et Jeff Ray de 2007 à janvier 2011. Le président actuel est Gian Paolo Bassi depuis janvier 2015. Gian Paolo Bassi remplace Bertrand Sicot, qui est promu vice-président des ventes des solutions de valeur de Dassault Systèmes. Canal de vente. [10]

### **III-1-4 Les principales étapes pour conception d'un disque de frein :**


#### **III-1-4-a Le disque percé, ventilé Assemble avec Ertier:**

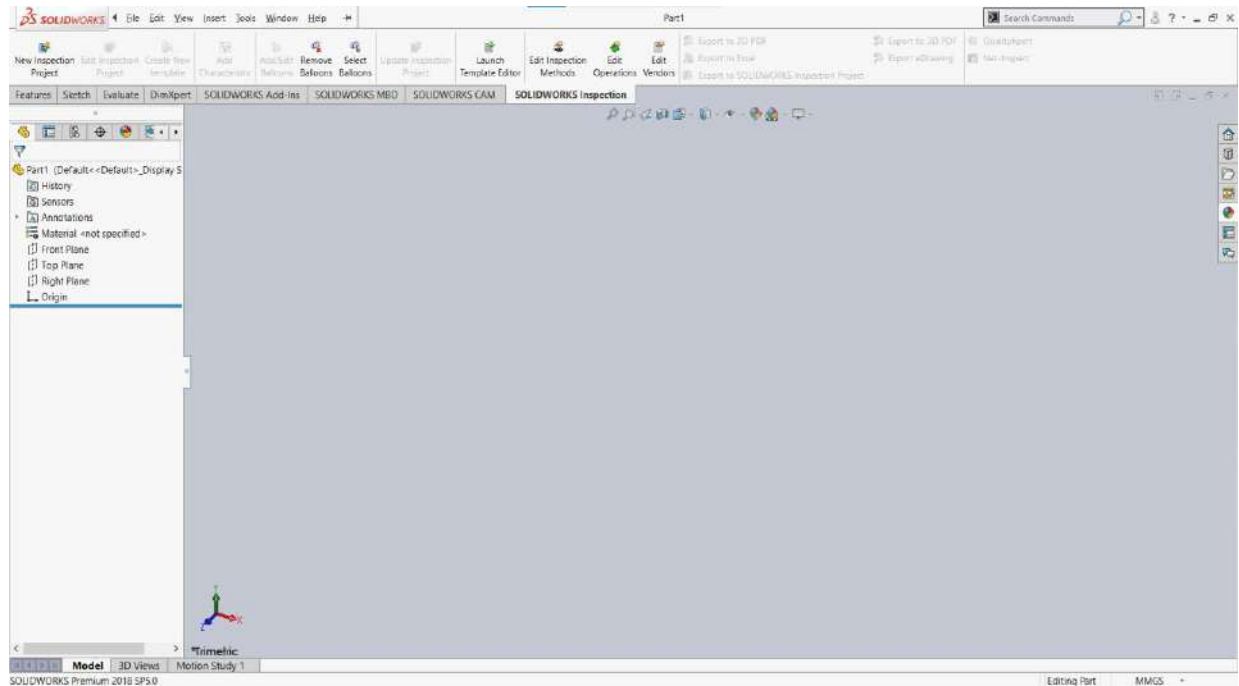
- **Etape 1 :** Nous ouvrons Solid Works, puis un menu apparaît. Sélectionner sur Part alors OK



□ **Etape 2 :** Cette interface nous montre Nous ouvrons un nouveau fichier en cliquant sur



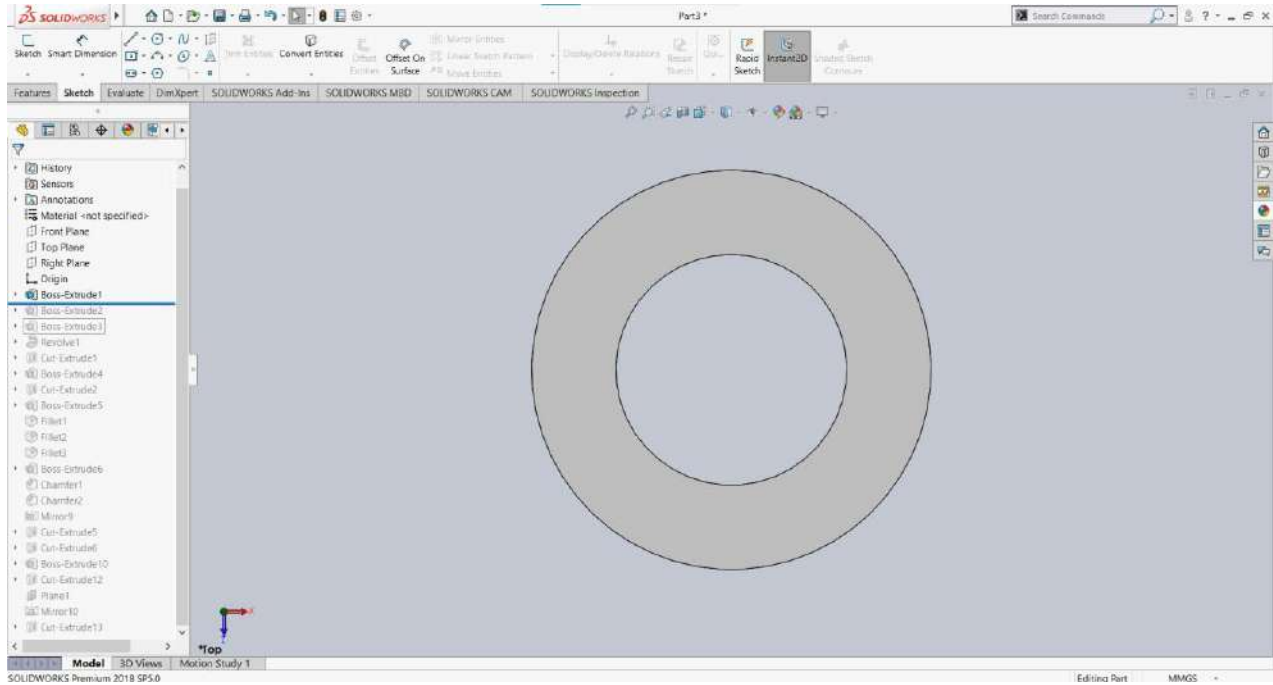
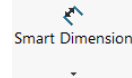
Sélectionnez la surface en cliquant sur  Top Plane



□ **Etape 3 :** Après avoir sélectionné la surface, nous dessinons deux cercles en cliquant sur



Pour déterminer la dimension de cercle, nous Sélectionner

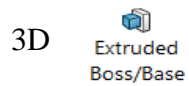


□ **Etape 4 :**

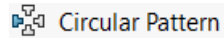
-Dessinez la forme montrée dans l'image

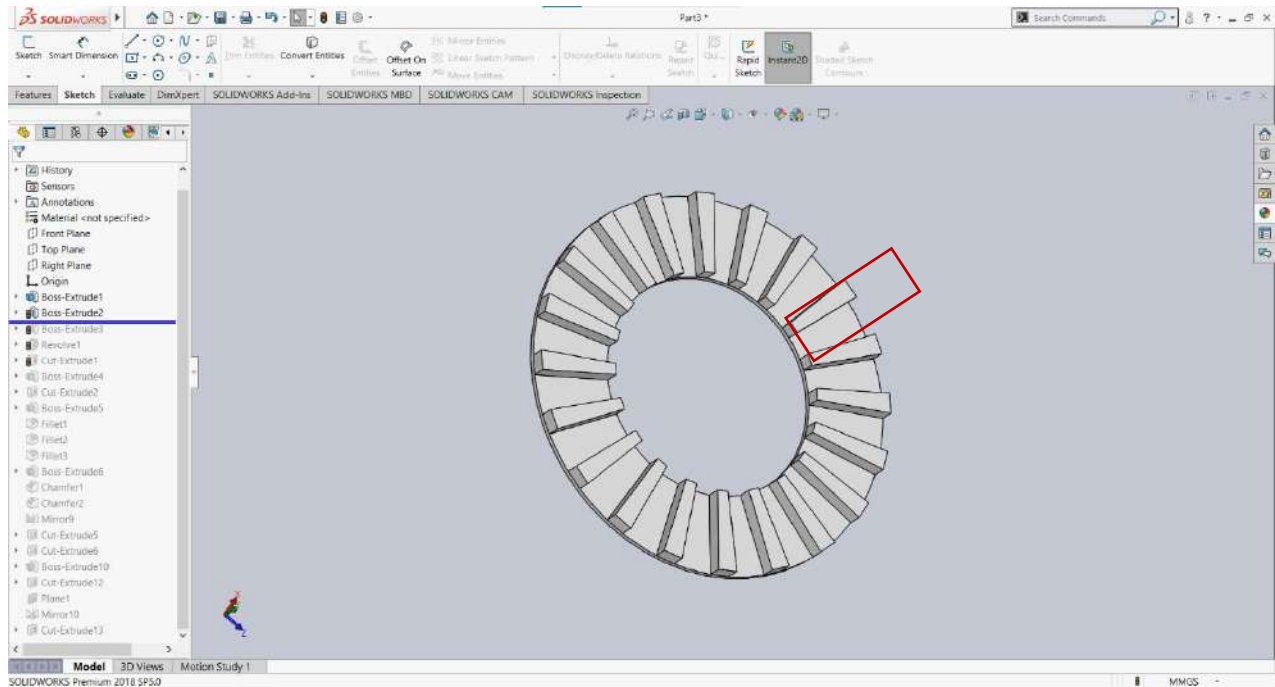


Ensuite, nous le transformons en un modèle



-Nous distribuons la forme sur le cercle en cliquant sur









□ **Etape 5 :**

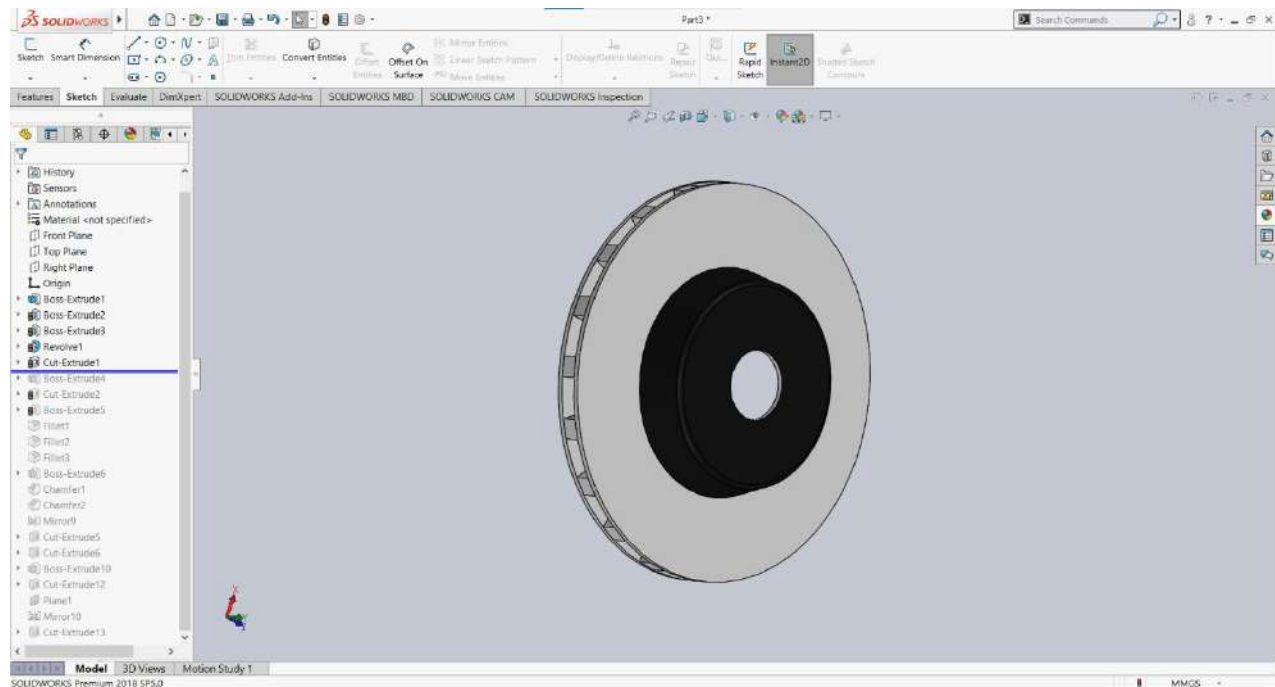
Nous dessinons la forme en noir et suivons les étapes suivantes :

-Donc Sélecteur Top plan 

-Nous dessinons un cercle 

- nous le transformons en un modèle 3D 

- Nous dessinons un petit cercle au milieu puis nous faisons un trou.  → 



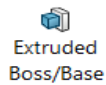
### □ Etape 6 :

Donc pour dessiner la forme de Etrier (la forme en rouge)

-Dessiner une forme 2D

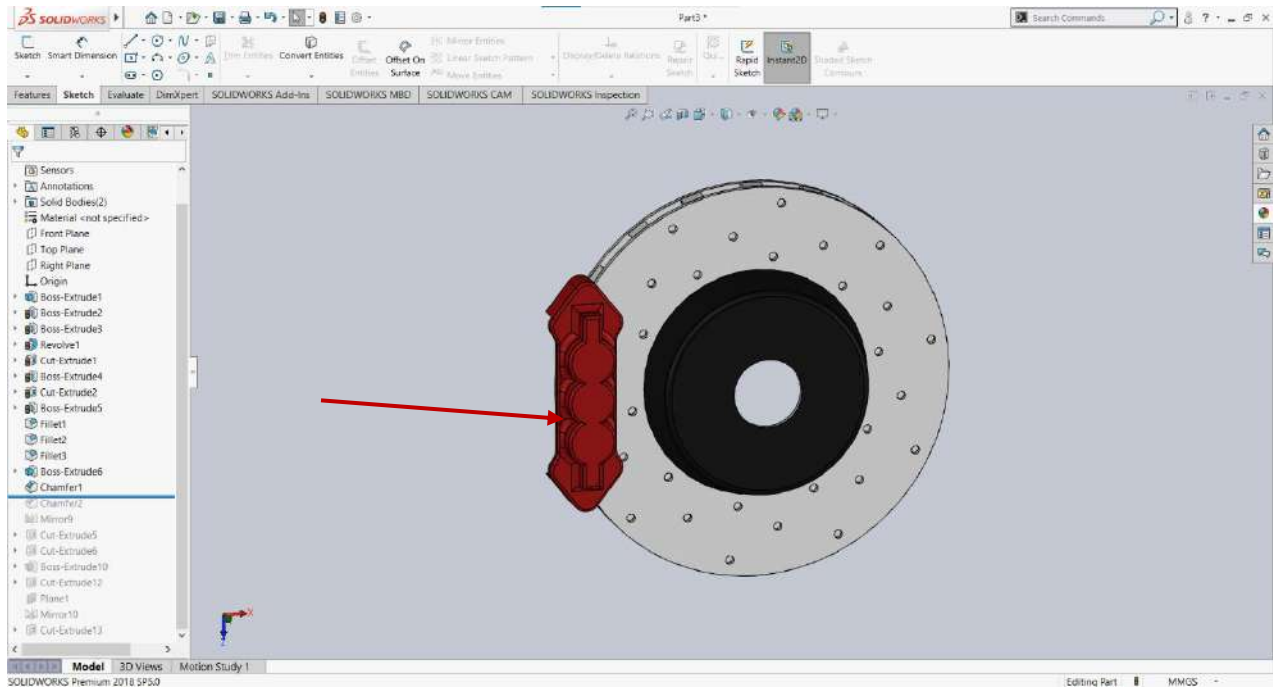


- transformer en un modèle 3D

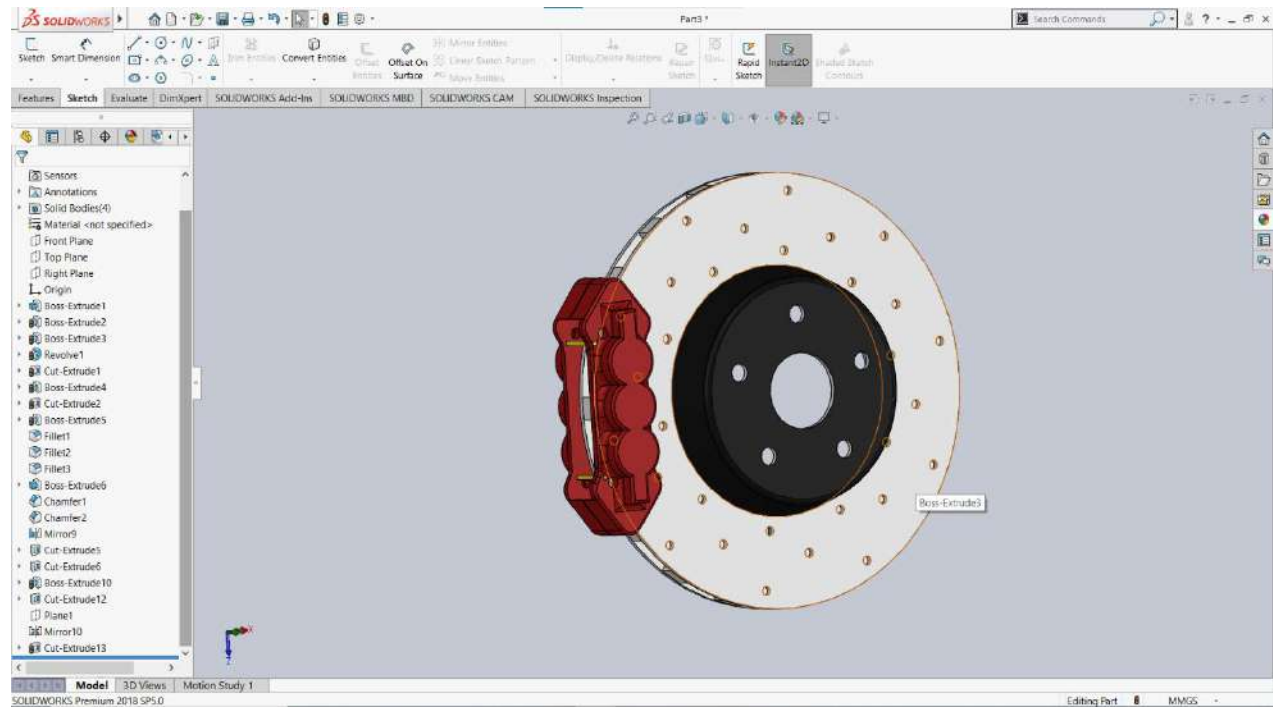


-Chamfré les bords





-La resulta finale :



**Figure III-1 : Conception de disque percé, ventilé Etrier**

**III-1-4-b Disc de MOTO :****□ Etape 1 :**

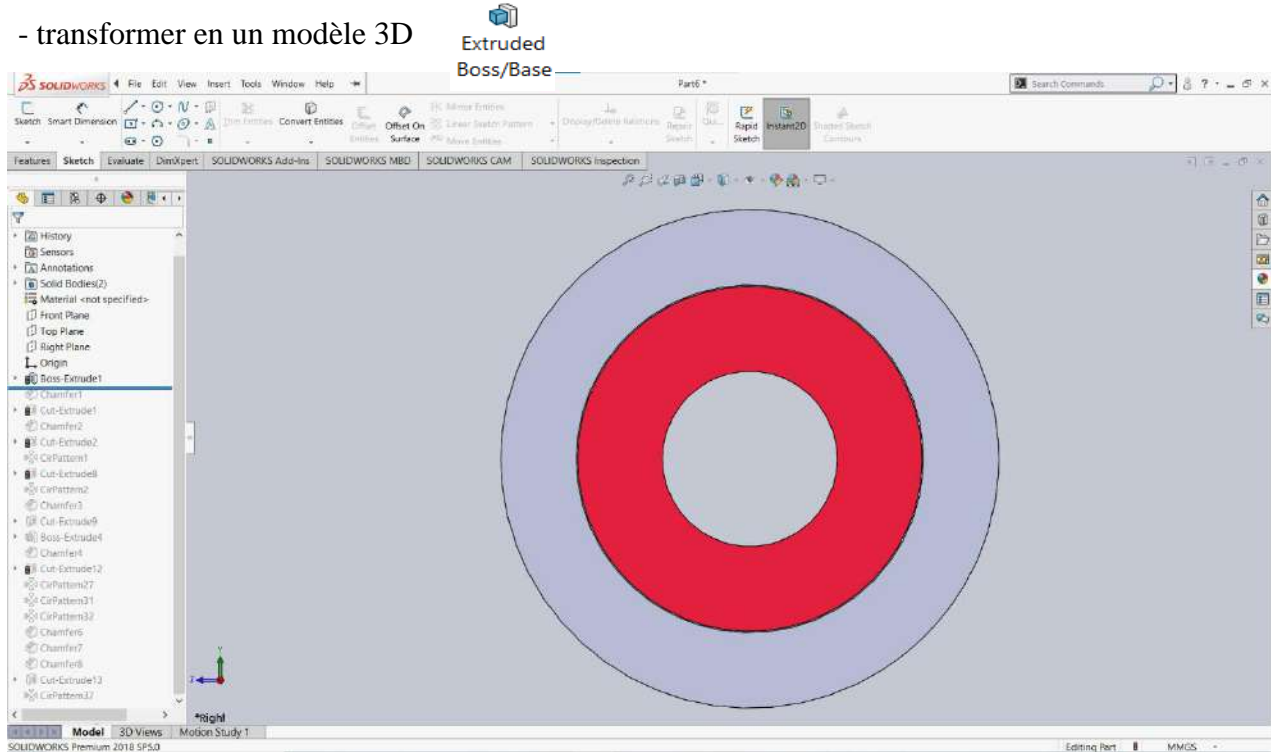
-Ouvrir un nouveau fichier



-Dessinez trois cercles de diamètres différents.



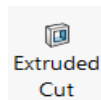
- transformer en un modèle 3D

**□ Etape 2 :**

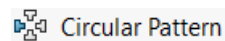
-Nous dessinons un petit cercle sur le bord d'un cercle central ,

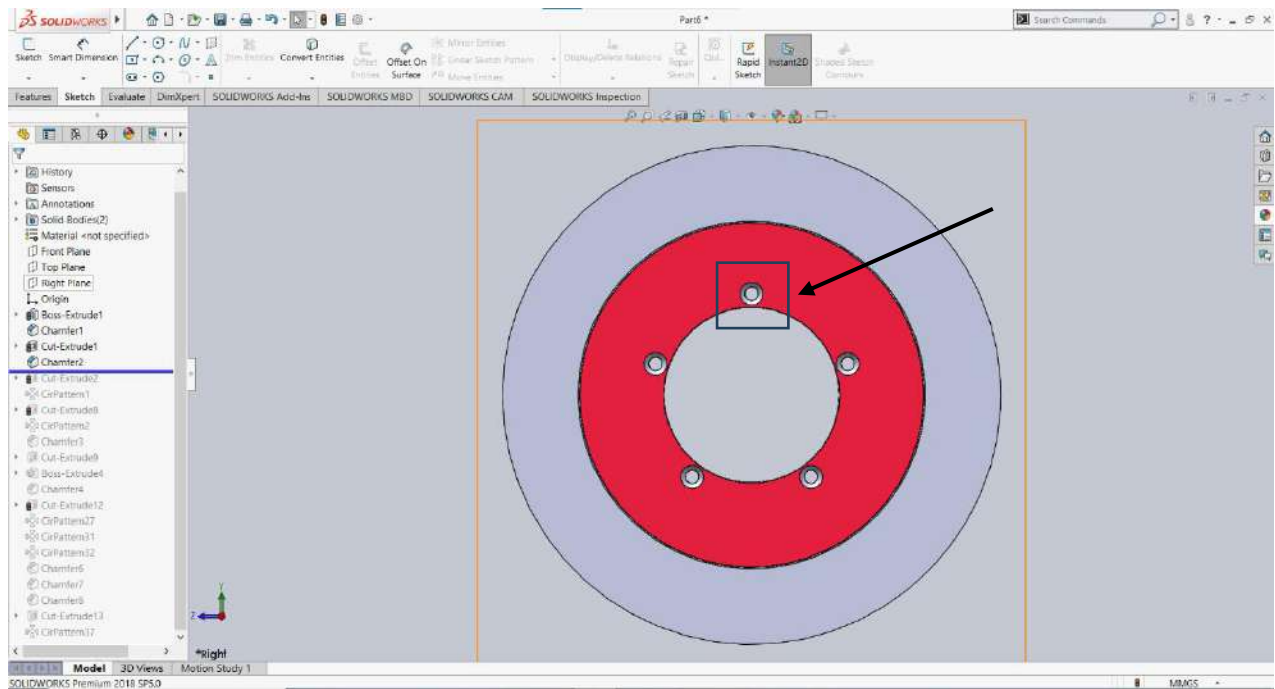


-Ensuite, nous le perçons.



-Nous effectuons le processus de répétition du circuit.





### □ Etape 3 :

**Pour dessiner la première figure :**

-Dessinez soigneusement un triangle sur le bord du grand cercle.



-Nous chomfrons le bord inférieur du triangle.



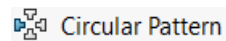
-Nous dessinons deux rectangles parallèles aux côtés du triangle.



-Nous retirons la matière des formes que nous avons dessinées.



- Nous effectuons le processus de répétition du circuit.

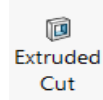


**Pour dessiner la deuxième figure :**

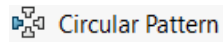
- Dessinez la forme spécifiée dans sa position



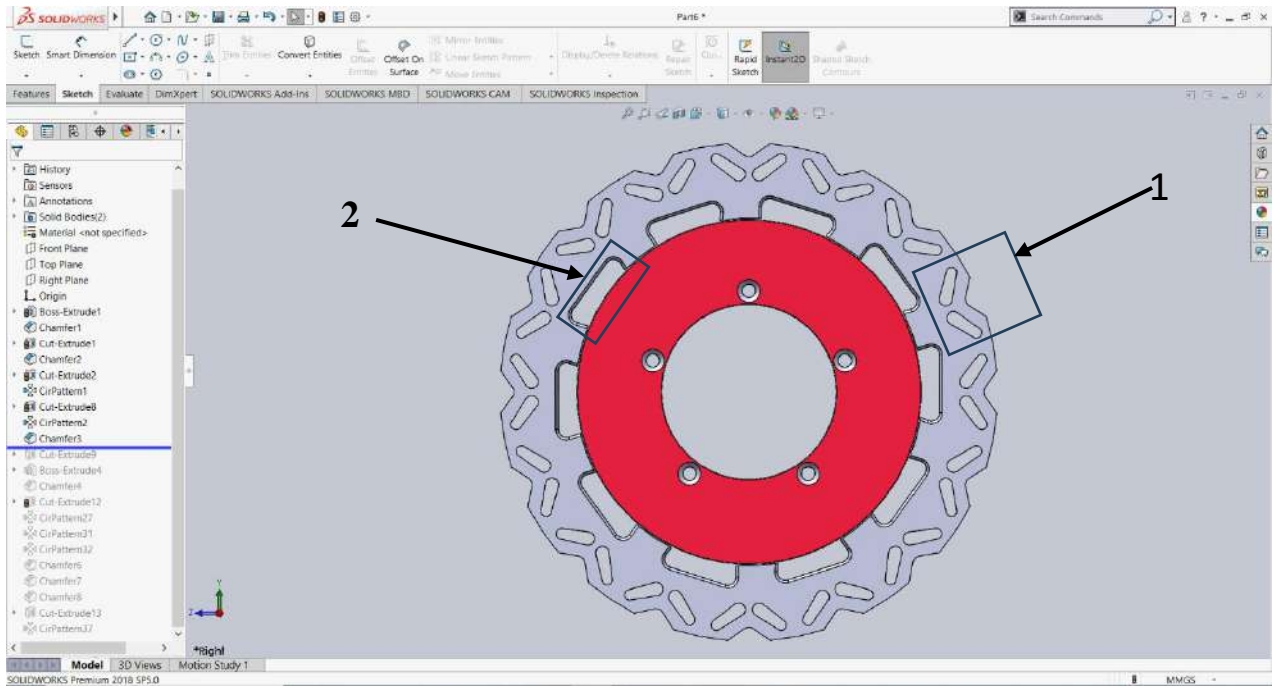
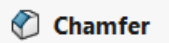
- Nous retirons la matière des formes que nous avons dessinées



- Nous effectuons le processus de répétition du circuit.



- Nous chomfrons les bords



-La résulta finale :

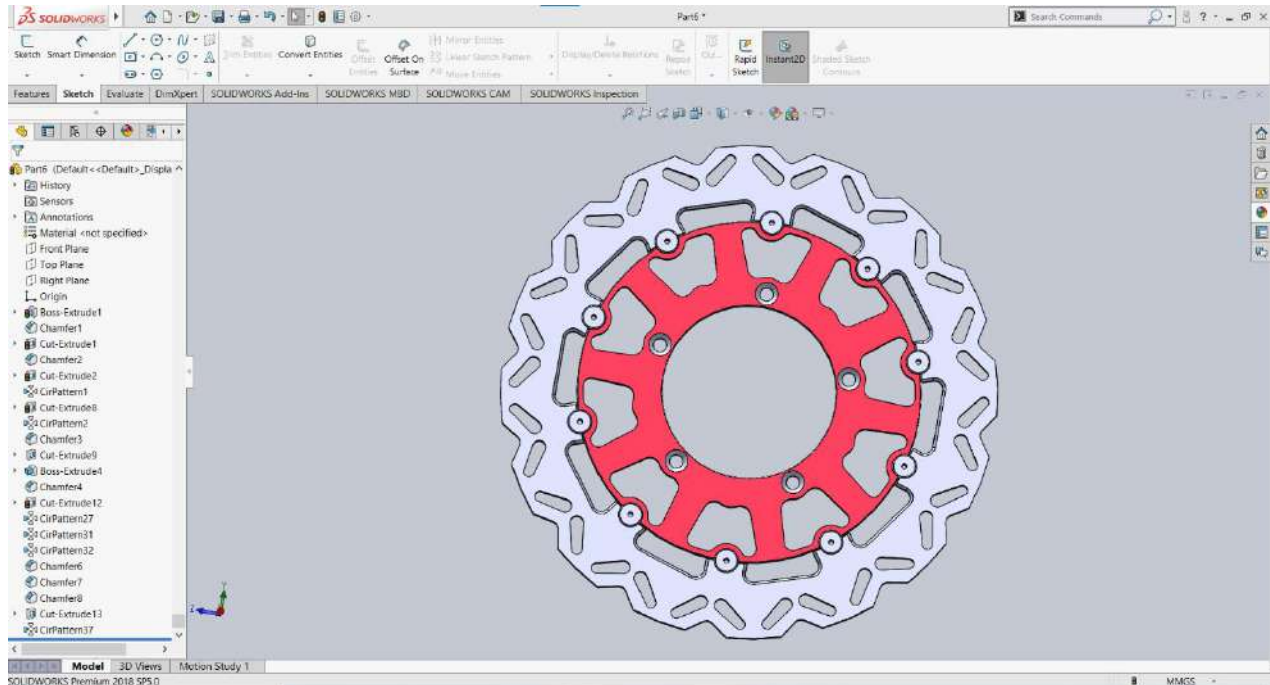


Figure III-2 : Conception de MOTO

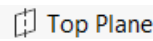
**III-1-4-c Disque percé :**

**□ Etape 1 :**

-Ouvrir un nouveau fichier



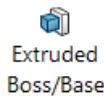
-Donc Sélecteur Top plan



-Dessinez un cercle



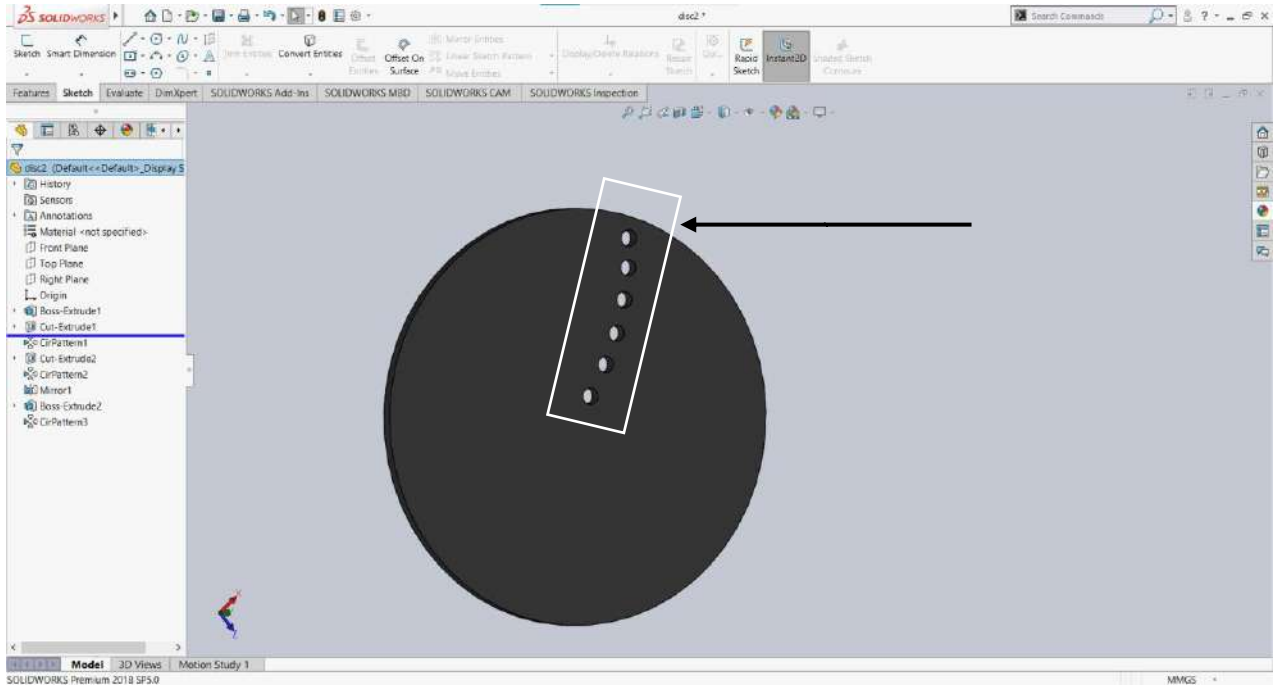
-transformer en un modèle 3D



-Pour dessiner la forme représentée, nous choisissons une ligne axiale et dessinons 6 cercles

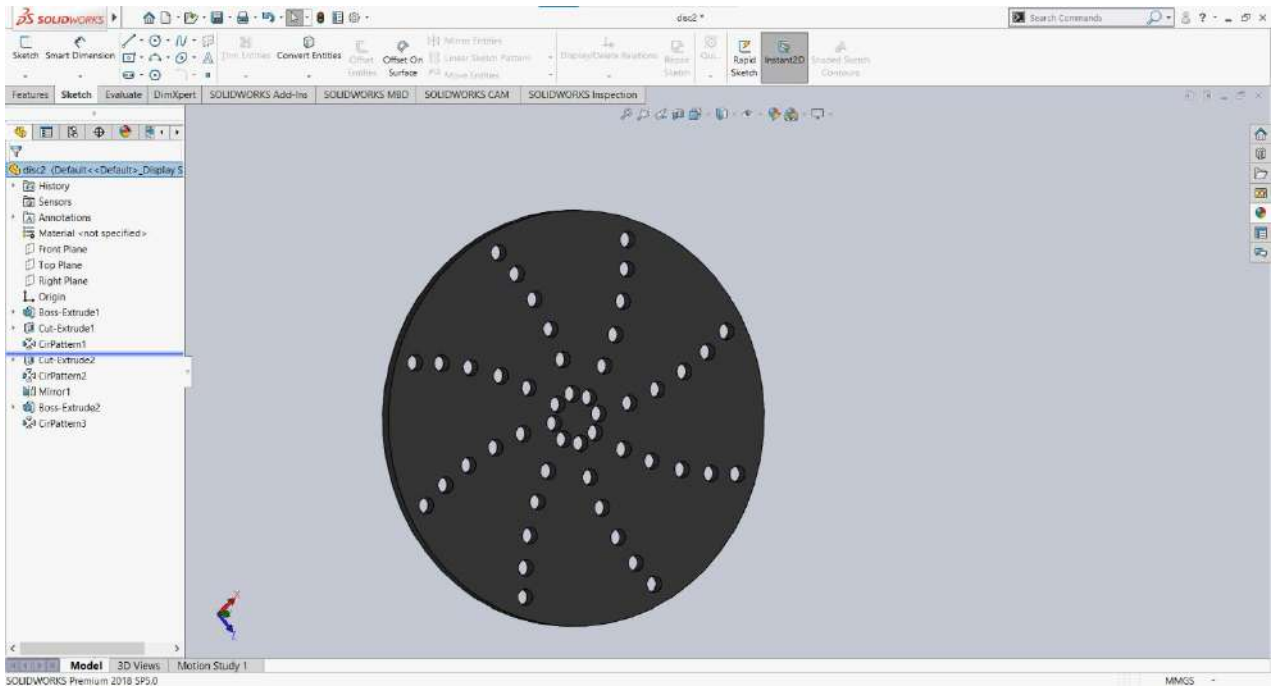
dessus.





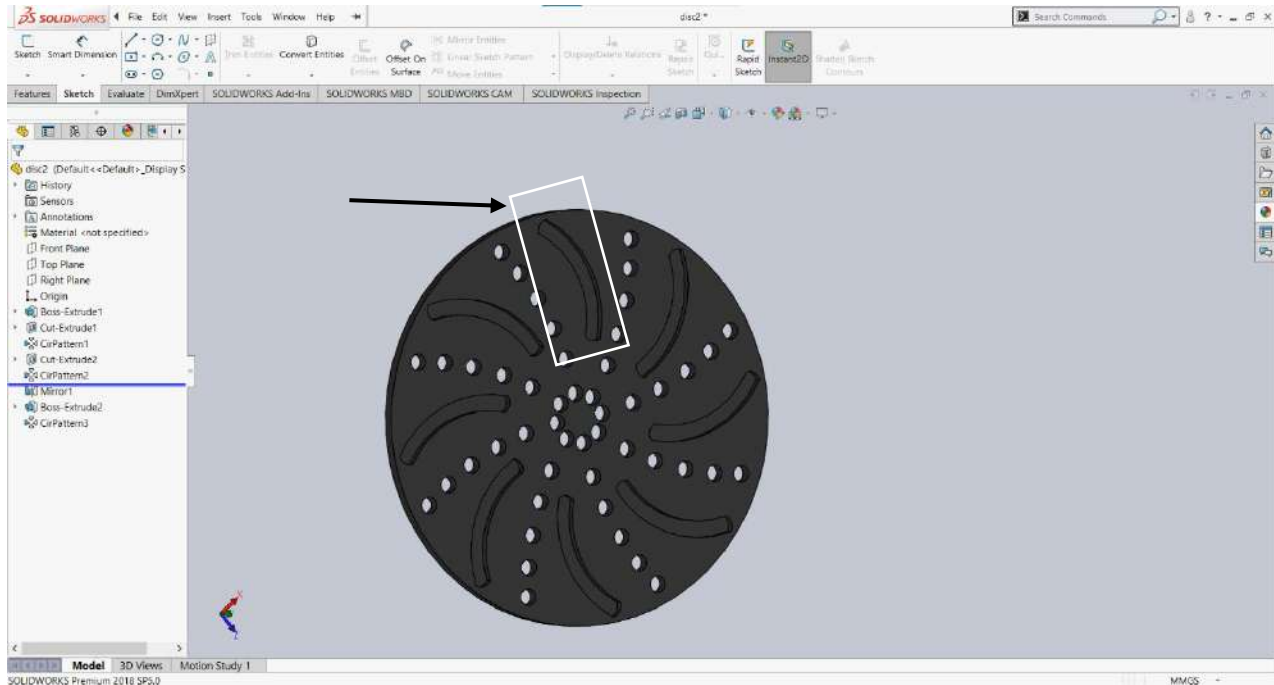
□ Etape 2 :

→  Circular Pattern



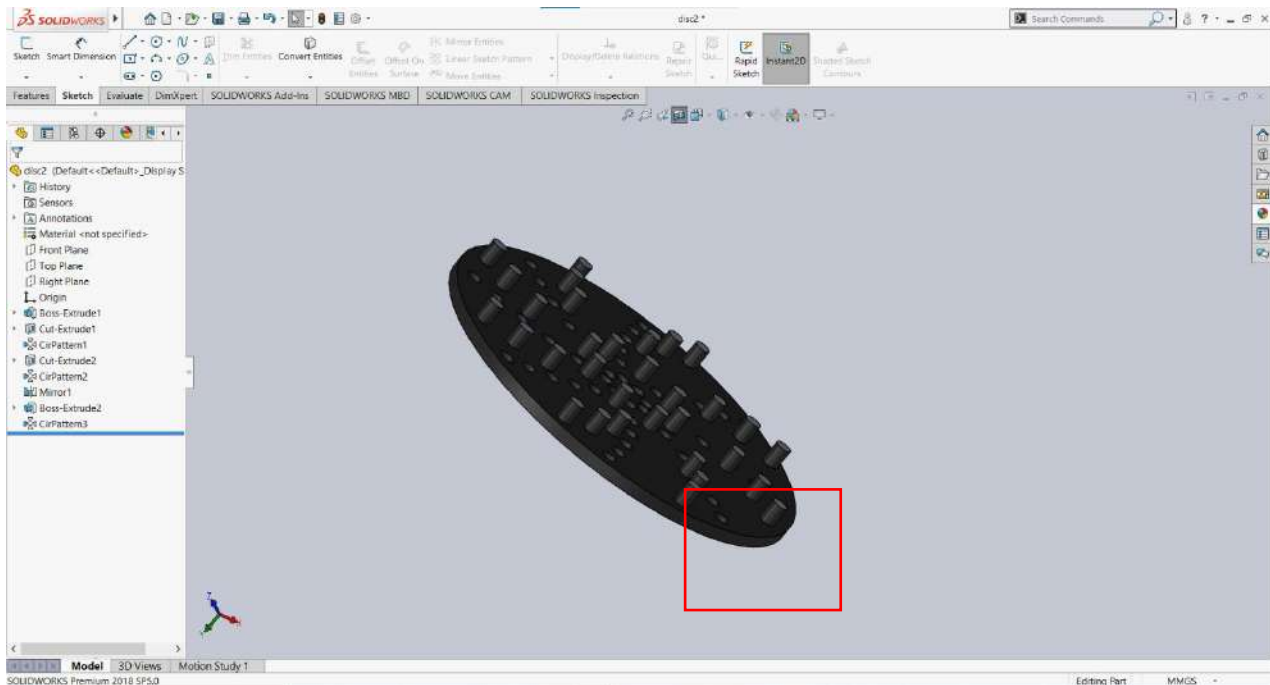
**□ Etape 3 :**

De la même manière que précédemment, nous obtenons la figure suivante :

**□ Etape 4 :**

-Nous dessinons des cercles à des endroits aléatoires, puis nous les remplissons.





### III-1-4-d Etrier :

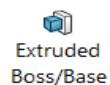
#### Etape 1 :

Donc pour dessiner la forme de Etrier

-Dessiner une forme 2D

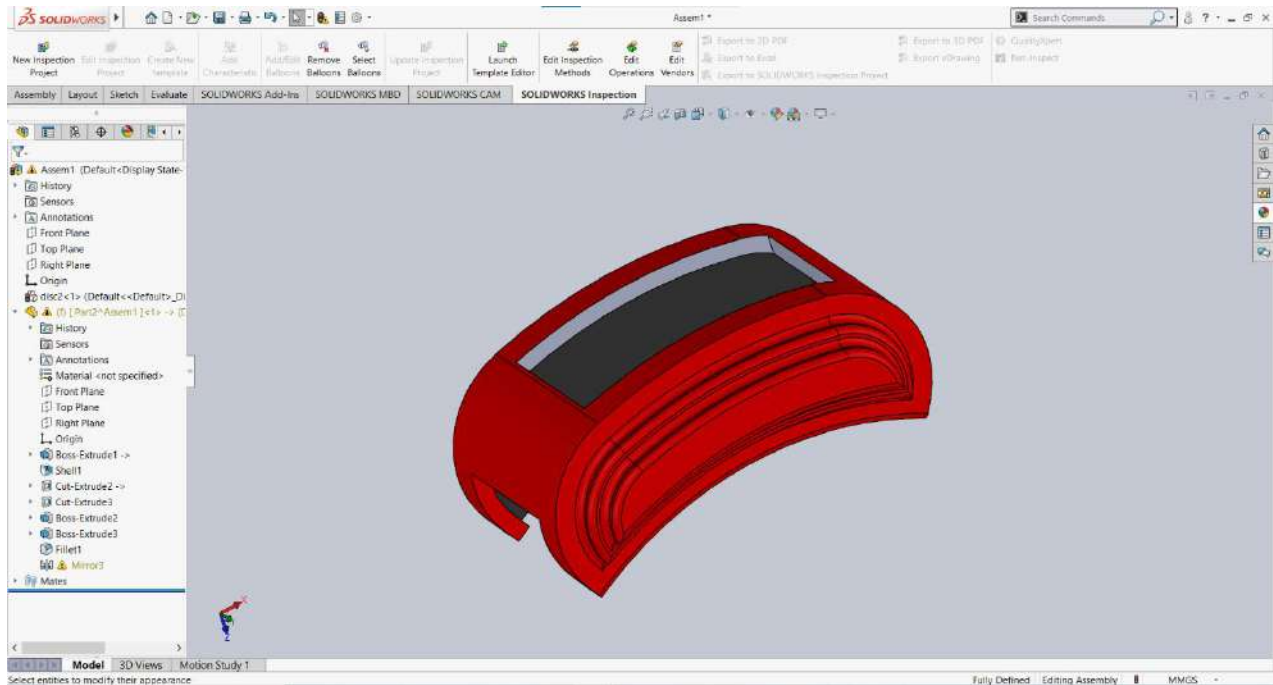


- transformer en un modèle 3D



-Chamfré les bords





**Figure III-3:** Conception de Etrier

### **Assemblage :**

Maintenant, nous assemblons les deux pièces. (Etrier - disque)

Pour obtenir le résultat final

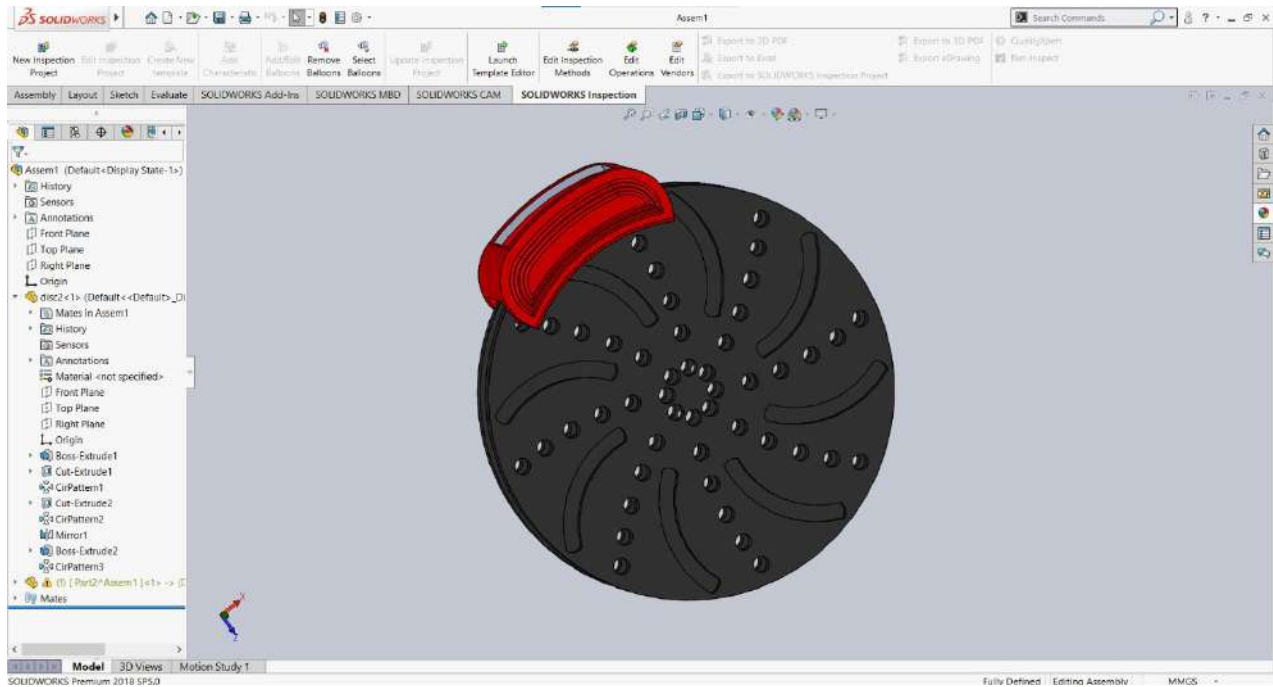
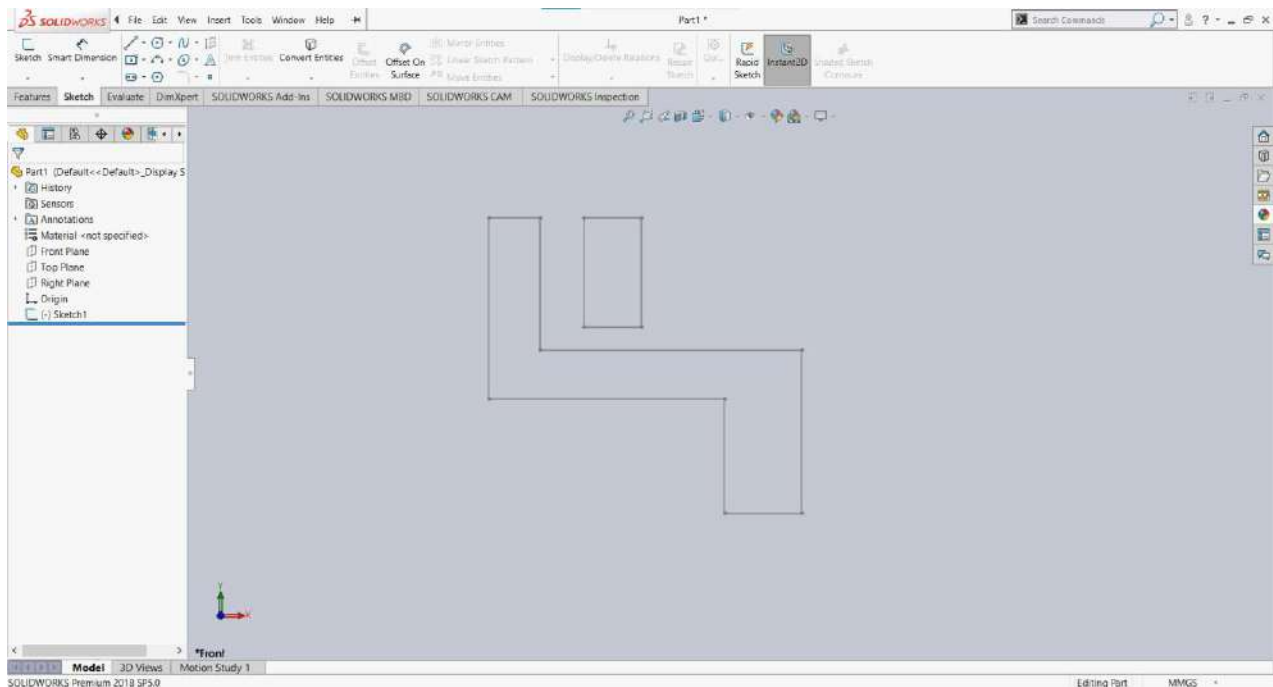


Figure III-4 : Conception de Disque percé

**III-1-4-e disque plein :**

□ Etape 1 : Pour la conception disque plain.

- Dessinez la figure montrée



□ Etape 2 :

-Nous faisons pivoter la forme sur l'axe principal.

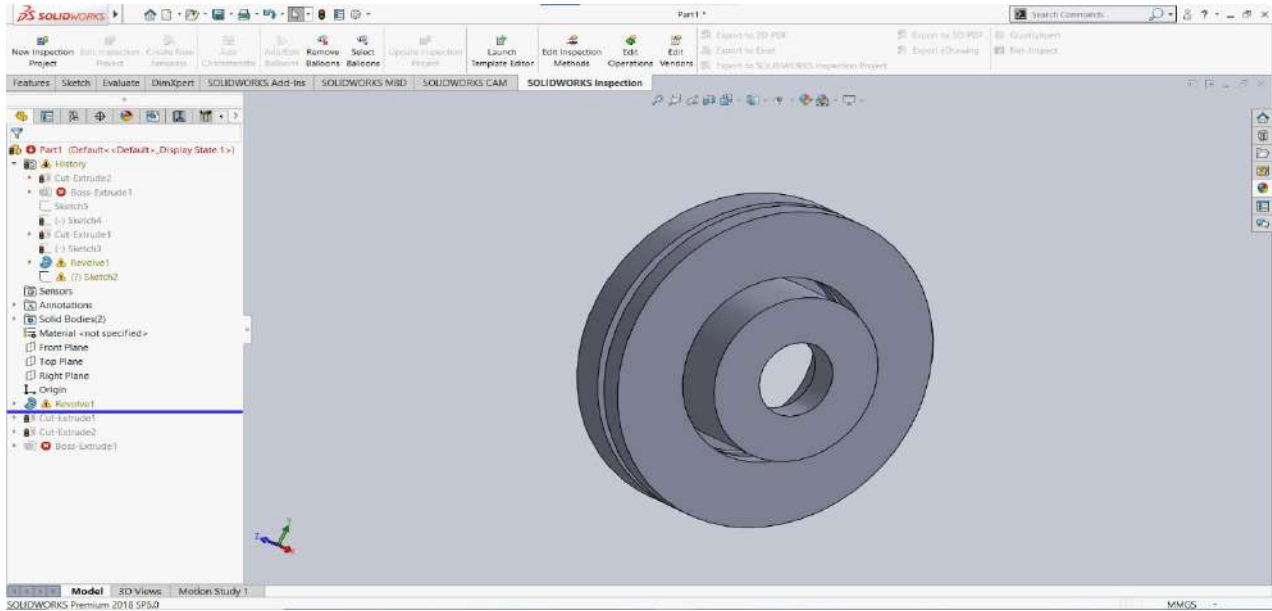
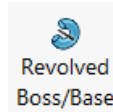
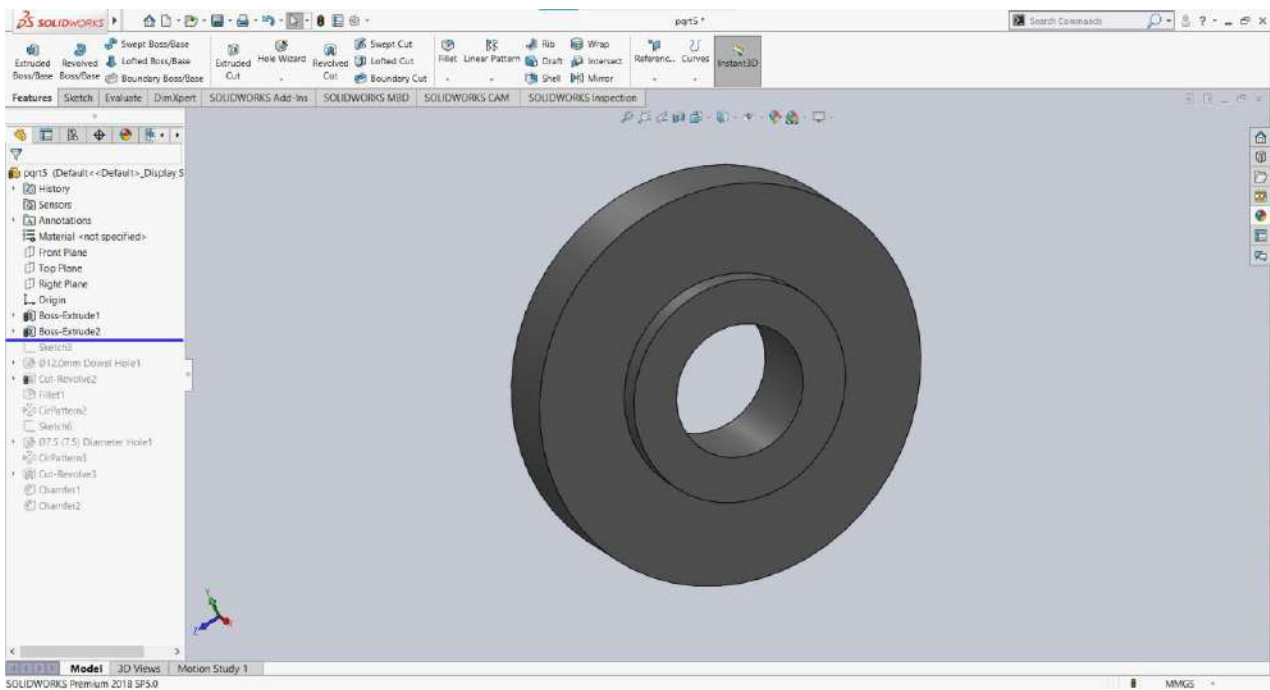


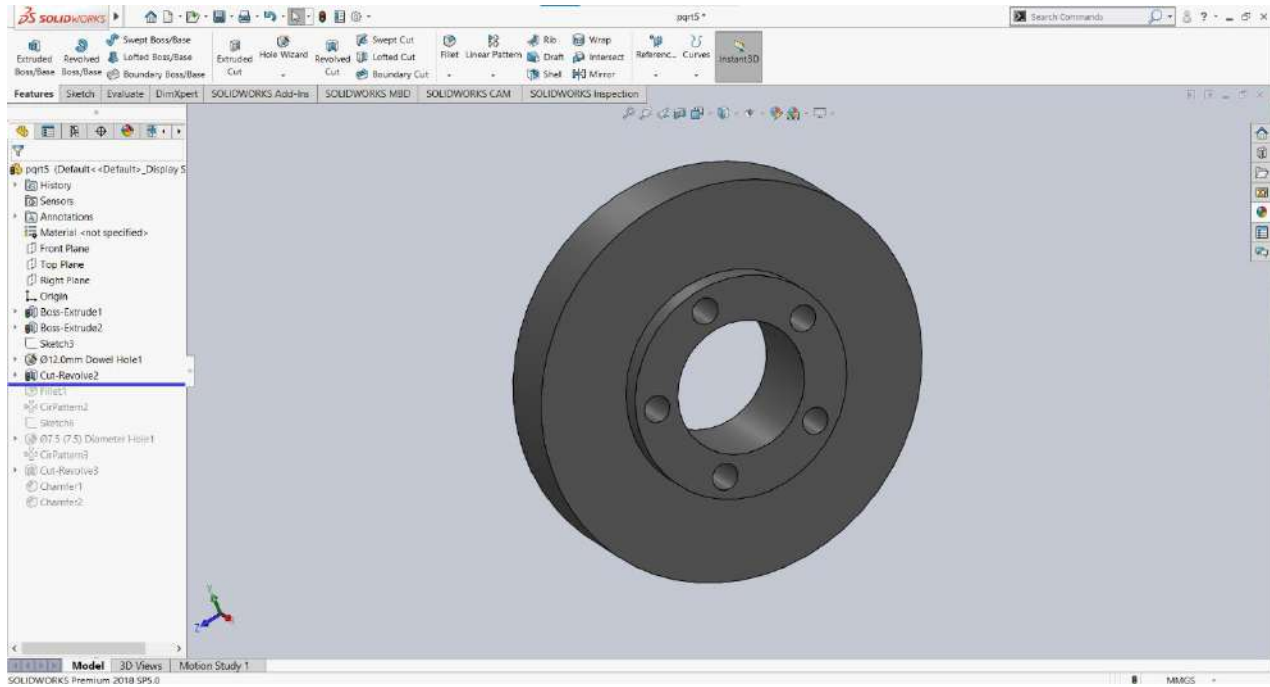
Figure III-5 : Conception de Disque plein

**III-1-4-f Le disque percé, ventilé :**

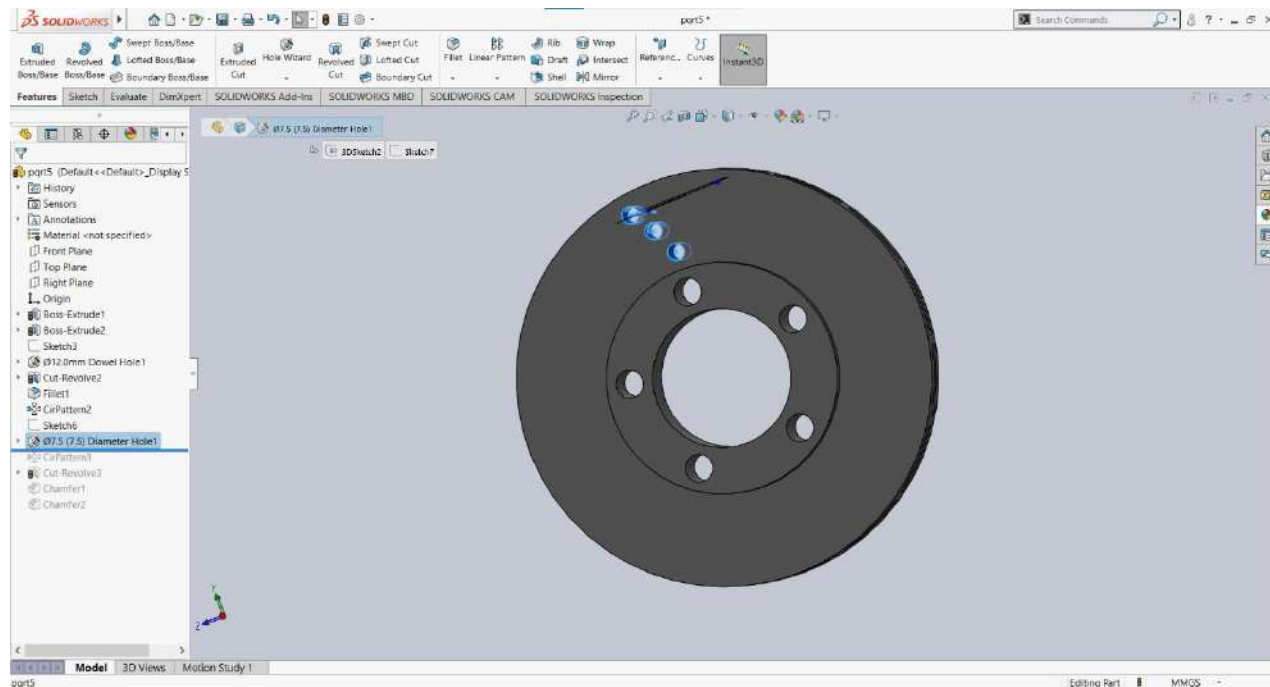
□ Etape 1 :



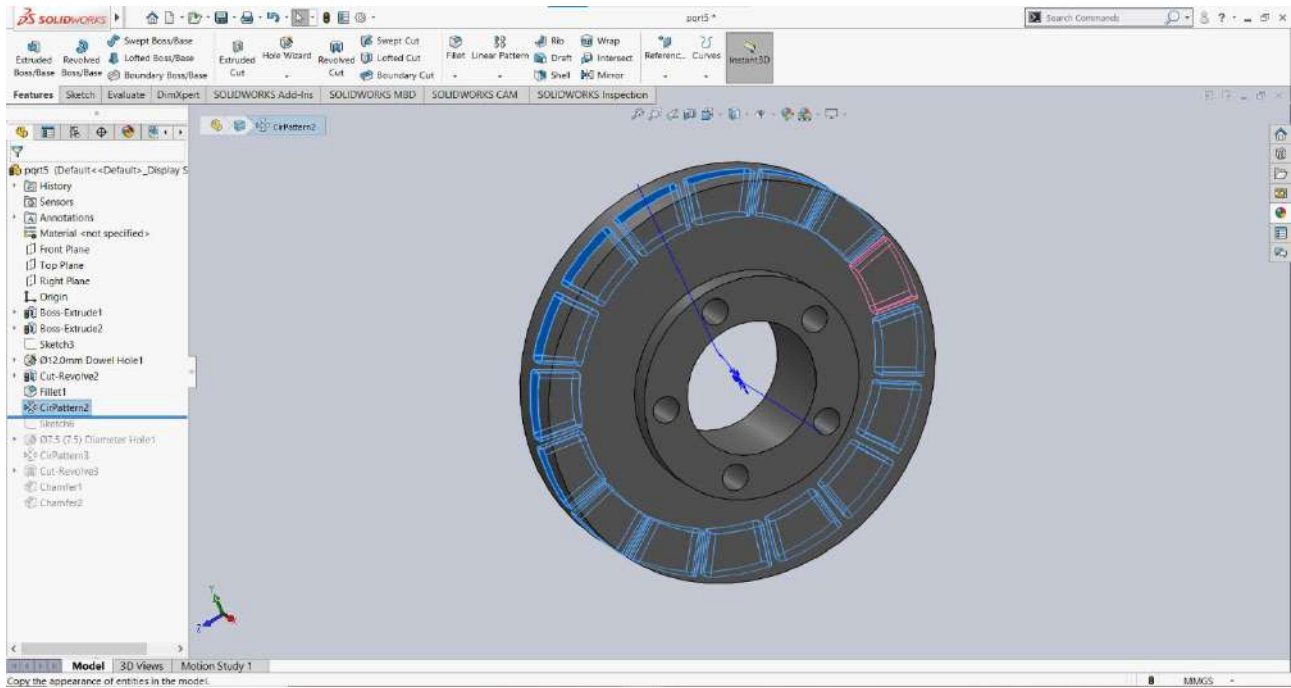
□ Etape 2 :



□ Etape 3 :



□ Etape 4 :



□ Etape 5 :

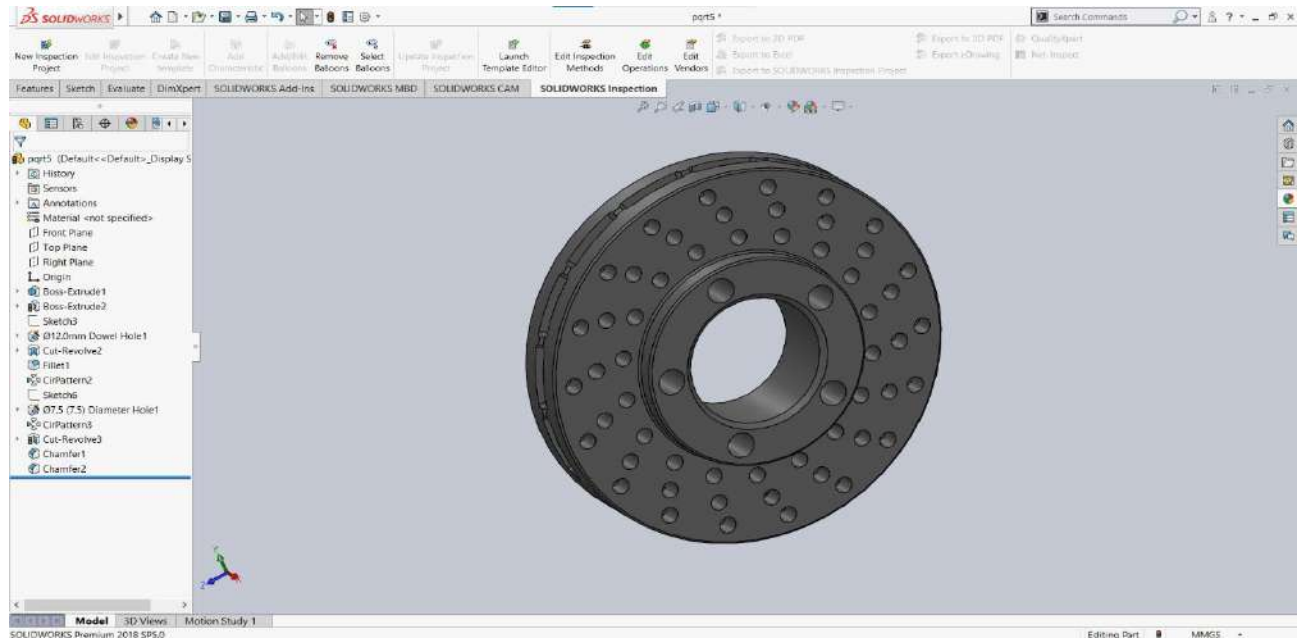


Figure III-6 : Conception de Disque percé, ventilé

## **III-2 Simulation par ANSYS :**

### **III-2-1 Présentation du logiciel :**

ANSYS est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique. La fiabilité des résultats résulte de la variété des modèles de matériaux disponibles, de la qualité de la bibliothèque d'éléments, de la robustesse des algorithmes de résolution et de la possibilité de modéliser n'importe quel type de produit (des pièces individuelles aux ensembles complexes contenant des centaines de composants en interaction par contacts ou par mouvements relatifs). Le confort et la facilité d'utilisation du logiciel permet aux utilisateurs de se concentrer sur la partie la plus importante du processus de simulation, c'est à dire l'interprétation des résultats et l'impact des variations des paramètres de conception sur la performance du modèle. Quelles que soient la taille ou la complexité des modèles, la solution de calcul de structures ANSYS intègre des algorithmes parallèles qui accélèrent le calcul pour ces modèles de grande taille. Les outils intégrés au logiciel permettent de résoudre les problèmes de validations produits de manière efficace. Ils permettent d'optimiser le processus de conception (gain de temps énorme) et donc de proposer des produits plus innovants (intégration d'une préanalyse dans le cycle de conception), de qualité plus élevée tout en minimisant les coûts

L'interface WORKBENCH qui encapsule les différents niveaux de l'outil de simulation et ses modules a été conçue pour être utilisée sans avoir une formation basée sur les éléments finis. L'interface est très intuitive, permettant une prise en main très rapide du logiciel. Les difficultés du calcul par éléments finis sont ici gommées, notamment par l'automatisation de la reconnaissance des zones de contacts et la génération du maillage. Ainsi, ANSYS satisfera l'ensemble de la chaîne de conception : du concepteur du bureau d'étude qui pourra effectuer des calculs rapides de pré-dimensionnement à l'ingénieur de calcul qui réalisera des études plus précises (réponse spectrale, non linéarité...)

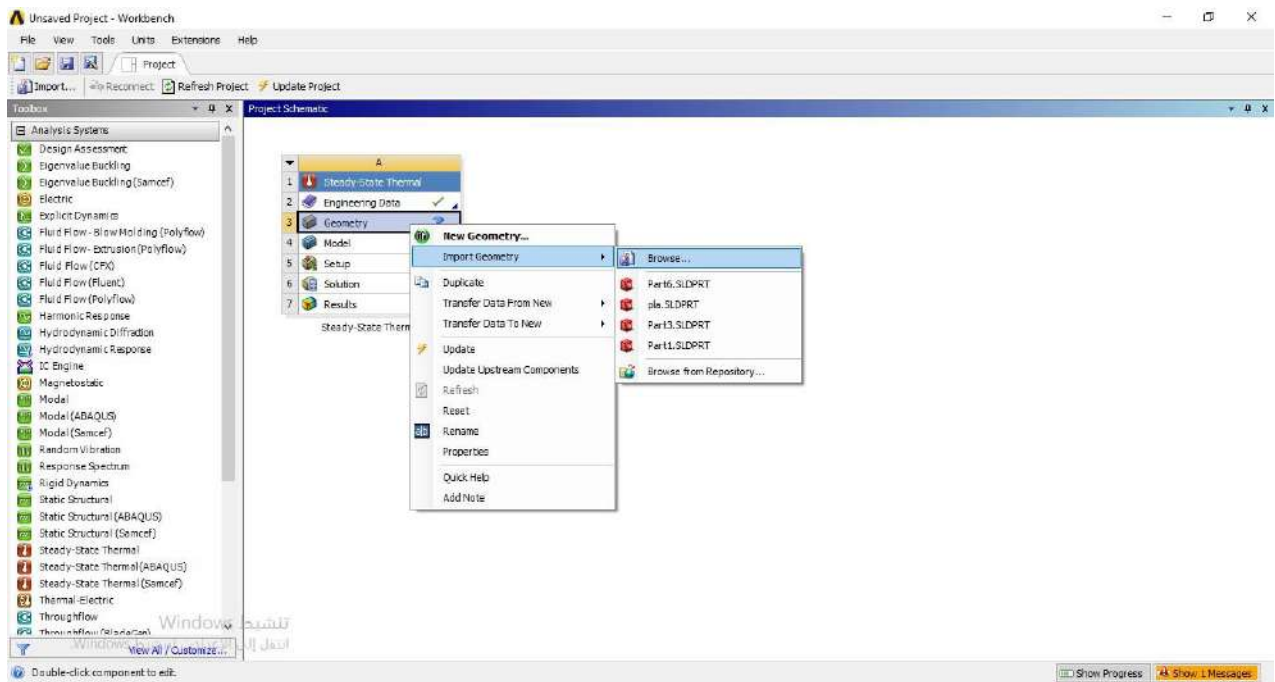
Il existe deux solutions pour effectuer les modélisations :

- réaliser un fichier. Texte que ANSYS est capable de lire, en faisant « file », « Read input »

- ou directement en utilisant les fonctions du préprocesseur afin de réaliser la structure, le maillage les calculs

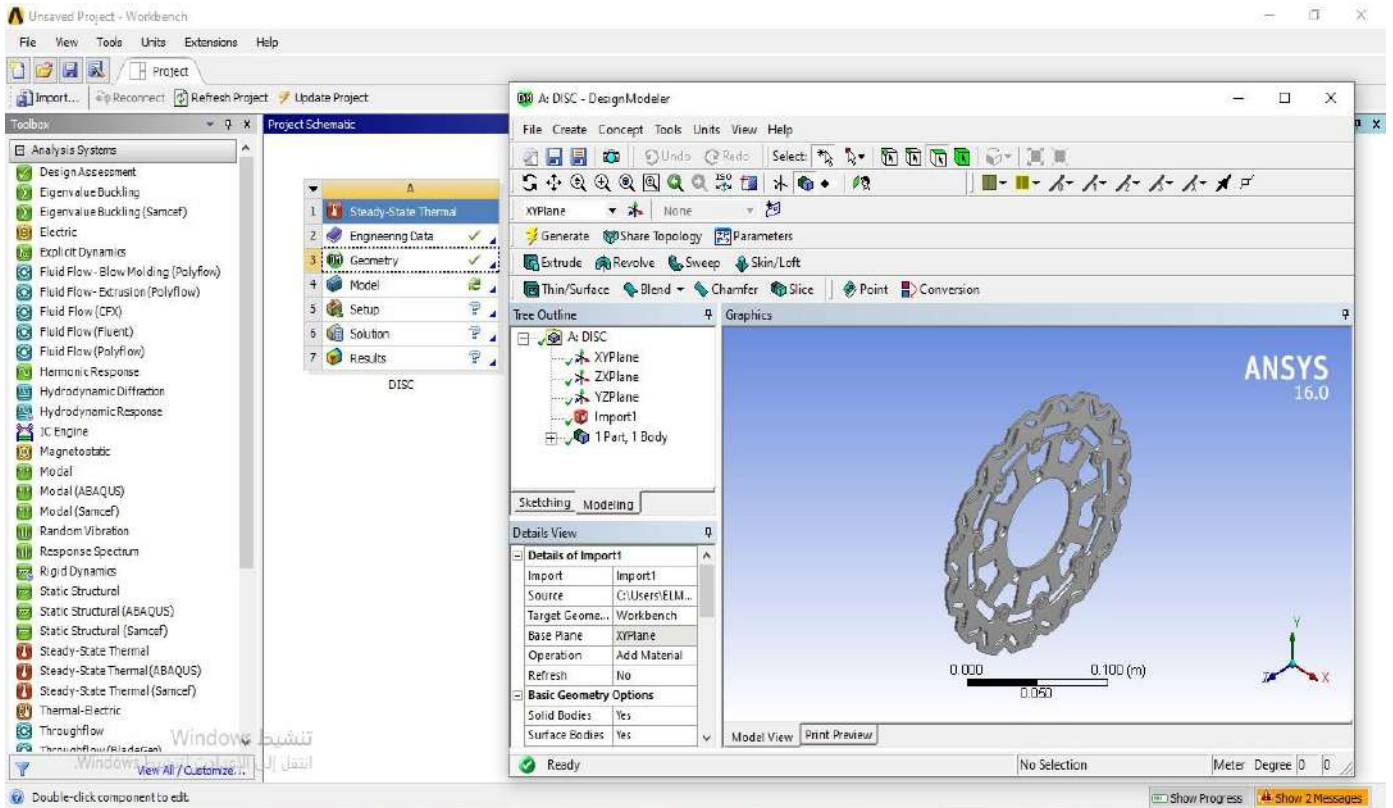
### **III-2-2 les principales étapes pour simulation numérique d'un disque de frein :**

□ **Etape 1 :** Après avoir ouvert le programme ANSYS WORKBENCH et sélectionné l'acier comme matériau, Cliquer sur géométrie avec le bouton droit de la souris pour importer la géométrie et sélectionner votre géométrie.



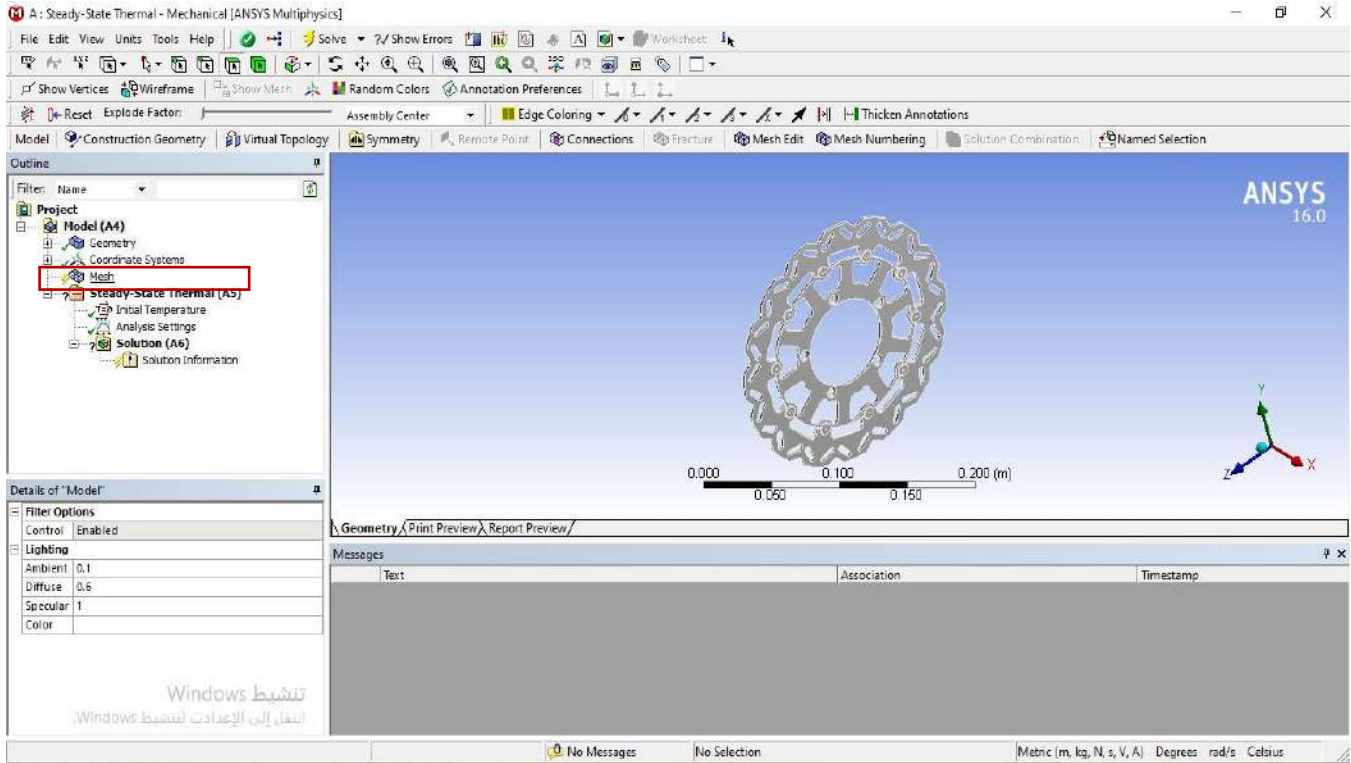
**Figure III-7 :** méthode d'importation de la géométrie

L'apparition de la figure géométrique dans ANSYS (ANSYS MECHANICAL) pour démarrer la simulation numérique



**Figure III-8 :** méthode d'importation de la géométrie

□ **Etape 2 :** après l'apparition de la figure géométrique, Cliquer à gauche sur Maillage pour commencer et faire le maillage.



**Figure III-9** : commencer le maillage

- Après Changer les paramètres du maillage pour un maillage bien raffiné (centre de pertinence, centre d'angle de course, lissage), Lancer le maillage à partir de la barre d'outils, on clique sur Maillage>>>Générer un maillage

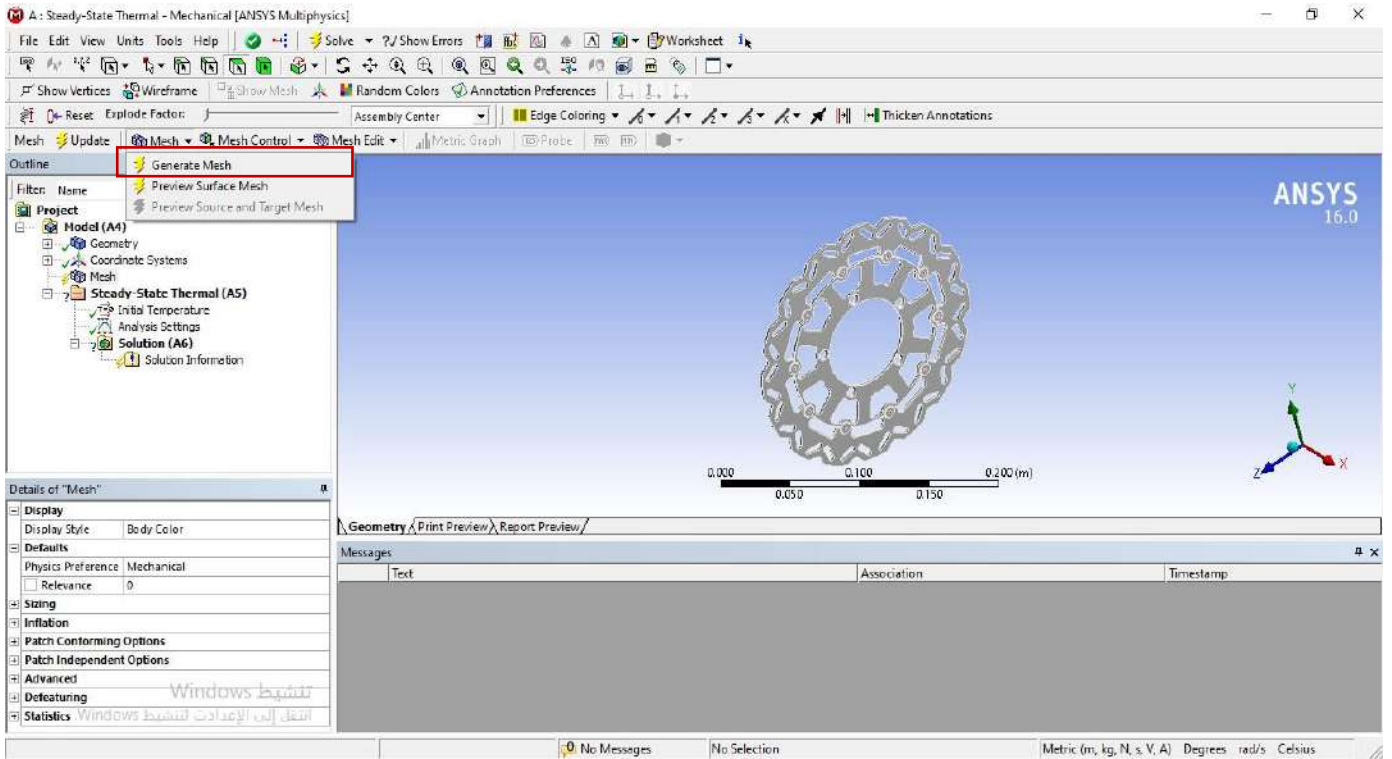


Figure III-10 : lancer opération de maillage

- Résultat final du maillage

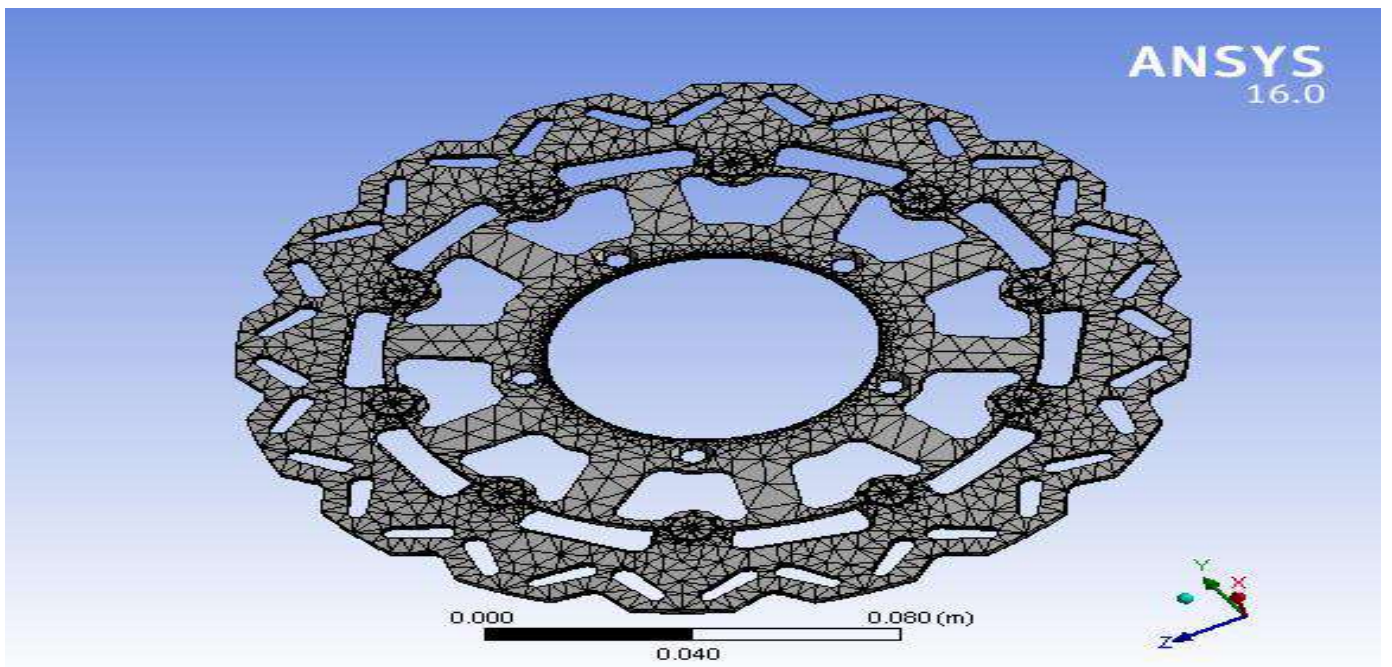


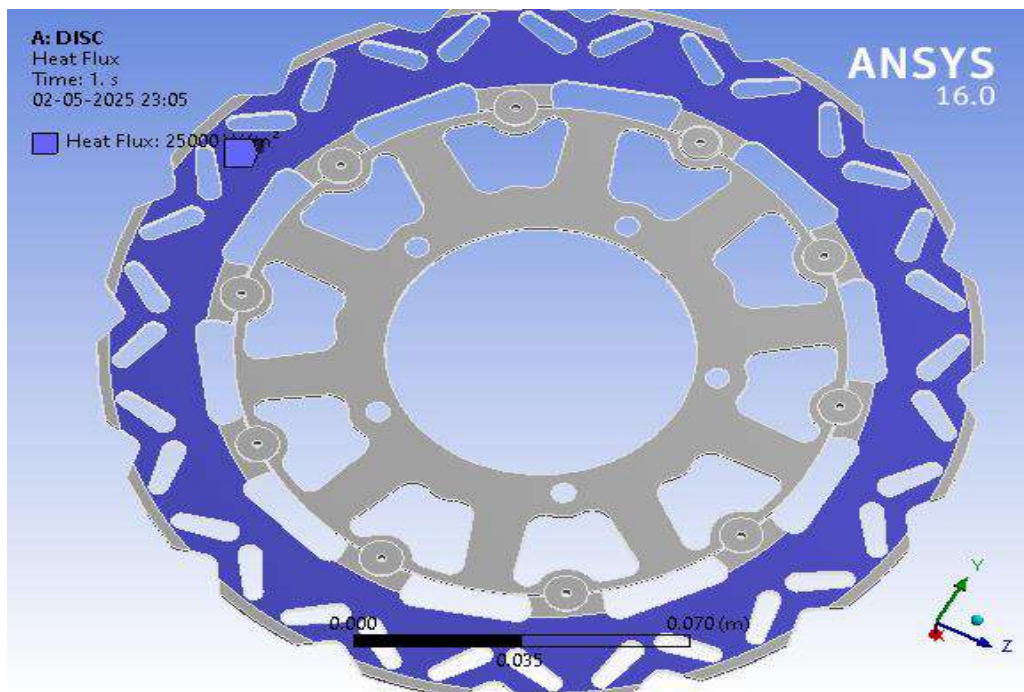
Figure III-11 : le maillage final

### III-2-3 Analyse et résultat :

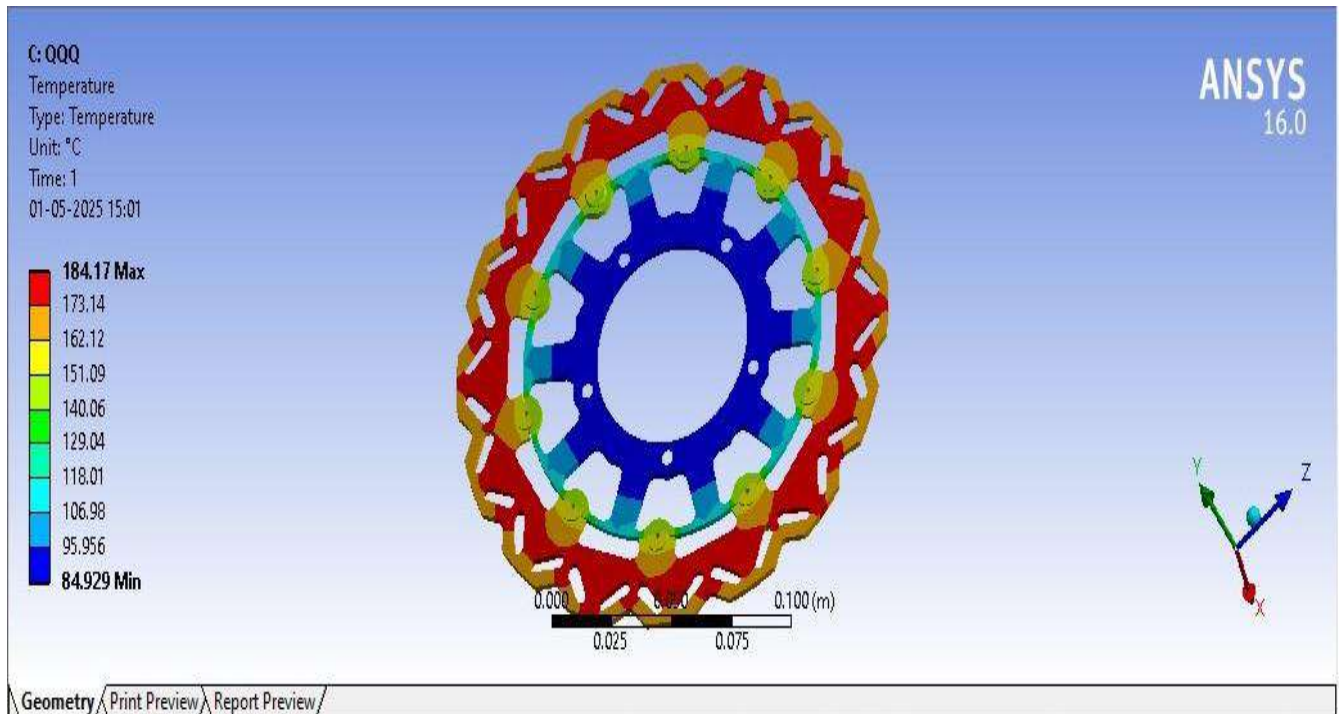
Dans cette étude, on essaye de mettre en évidence un problème d'échauffement excessif du disque, et de visualiser les résultats pour pouvoir en tirer les modifications qui s'imposent sur la conception du disque de frein du point de vue des matériaux et du profil.

Notre travail consiste à étudier le comportement thermique d'un disque de frein en trois dimensions, lequel inclut le flux de chaleur généré à l'intérieur de celui-ci, les températures maximales et minimales etc. Le scénario analysé est un freinage d'arrêt. En pratique, le système de freinage baigne dans un flux d'air, plus ou moins forcée selon le système, qui participe au refroidissement du disque et des plaquettes. Ce flux d'air est régi par les lois de l'aérodynamique. A l'aide du code ANSYS, on calcule alors les valeurs du coefficient d'échange thermique  $h$  en fonction du temps. Ces valeurs seront utilisées pour déterminer le comportement thermique du disque en régime permanent.

Dans cette modélisation, seul le disque est pris en compte, les plaquettes sont remplacées par leur effet, représenté par un flux de chaleur généré à l'interface disque-plaquette qui est l'aire totale de contact (les deux côtés du disque).



**Figure III-12 :** Application du flux de chaleur

**III-2-3-a Les résultat de simulation :****Température :****Figure III-13 : répartition de la température****Commentaires :**

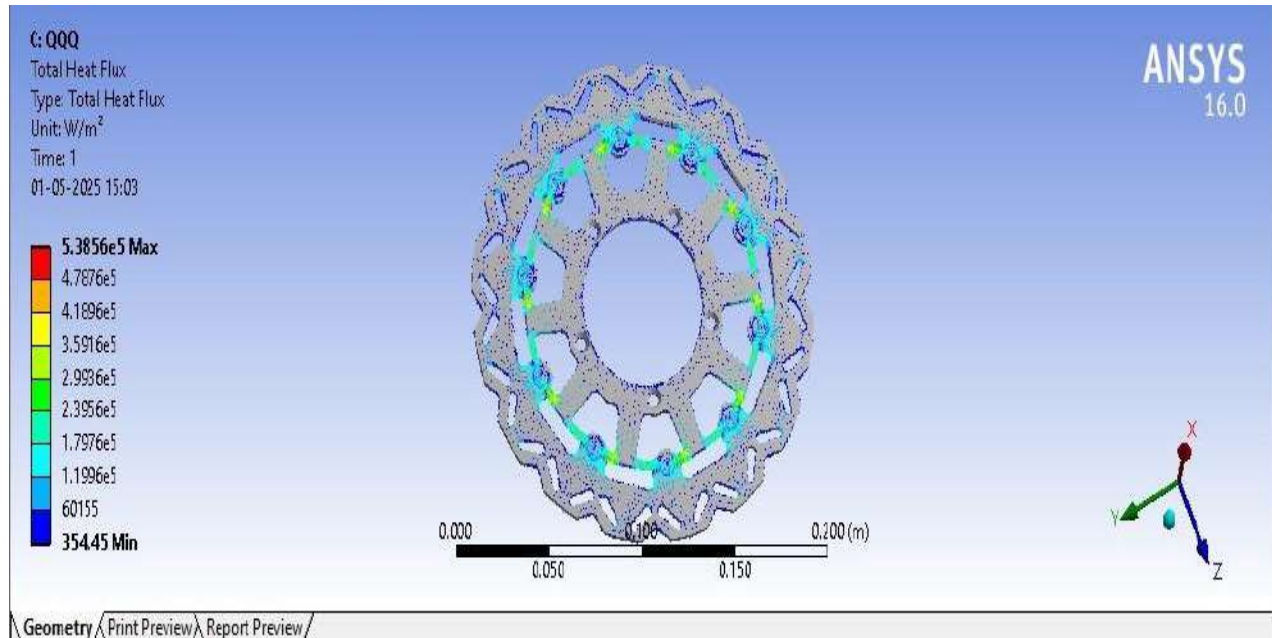
Répartition de la température : Une nette gradation de couleurs apparaît, indiquant la répartition de la température sur la surface de la pièce. Zones de température de couleur élevée, retirez l'eau de l'eau.

La température maximale commerciale est de 184,17°C, tandis que la température maximale est de 84,929°C. Cela nous donne une idée de la chaleur et du froid des zones.

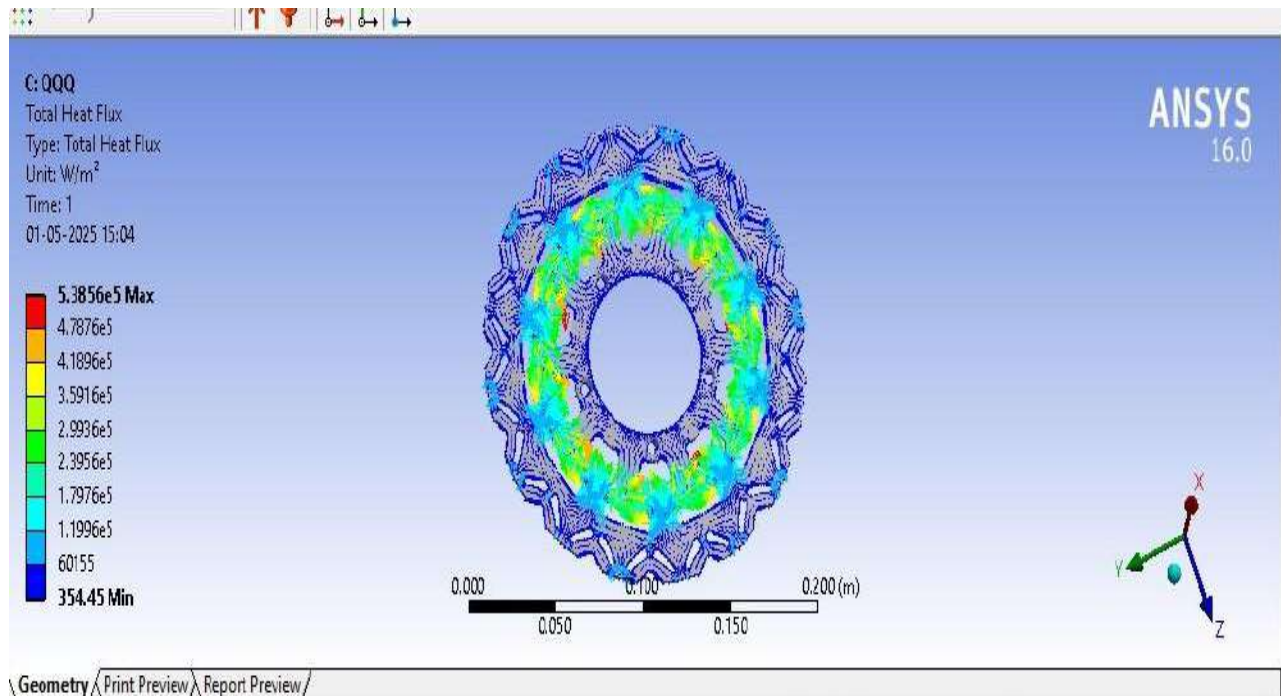
Modifications : du disque, en particulier dans les zones susceptibles d'être exposées à des frottements ou à une génération directe de chaleur externe.

Refroidissement : On peut observer que le bloc intérieur ou les zones de conception qui permettent une meilleure ventilation (comme les événements ou les nervures) mûrissent plus rapidement vers l'arc bleu, qui se ravive et devient plus frais.

**Flux de chaleur :**



**Figure III-14 : Distribution du flux thermique primaire**



**Figure III-15** : Répartition du flux de chaleur après une période de temps**Commentaires :**

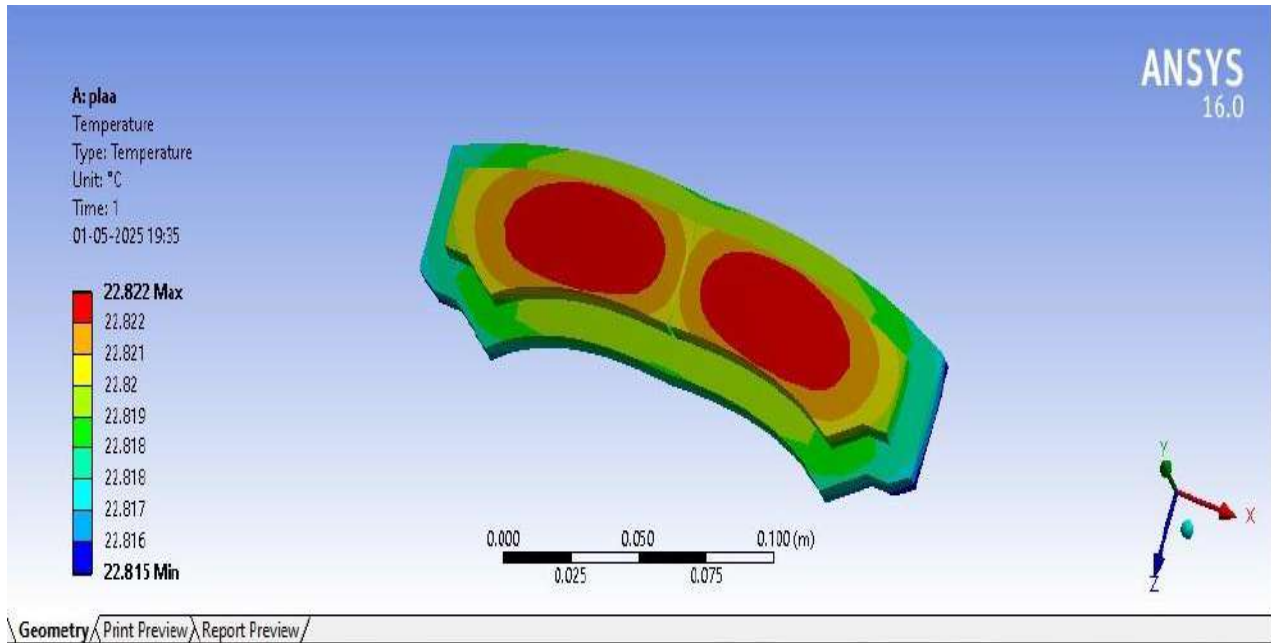
Répartition du flux de chaleur : les flèches colorées indiquent la direction et la quantité de flux de chaleur sur la surface de la pièce. Le rouge et le jaune indiquent les zones avec un flux de chaleur plus élevé, tandis que le bleu et le vert indiquent les zones avec un flux de chaleur plus faible.

Flux de chaleur maximal et minimal : La barre latérale indique que le flux de chaleur maximal enregistré est de  $5,3818e5 \text{ W/m}^2$  (notez l'unité), tandis que le minimum est de  $354,45 \text{ W/m}^2$ . Cela nous donne une idée de l'intensité du flux de chaleur dans certaines zones et de sa faiblesse dans d'autres.

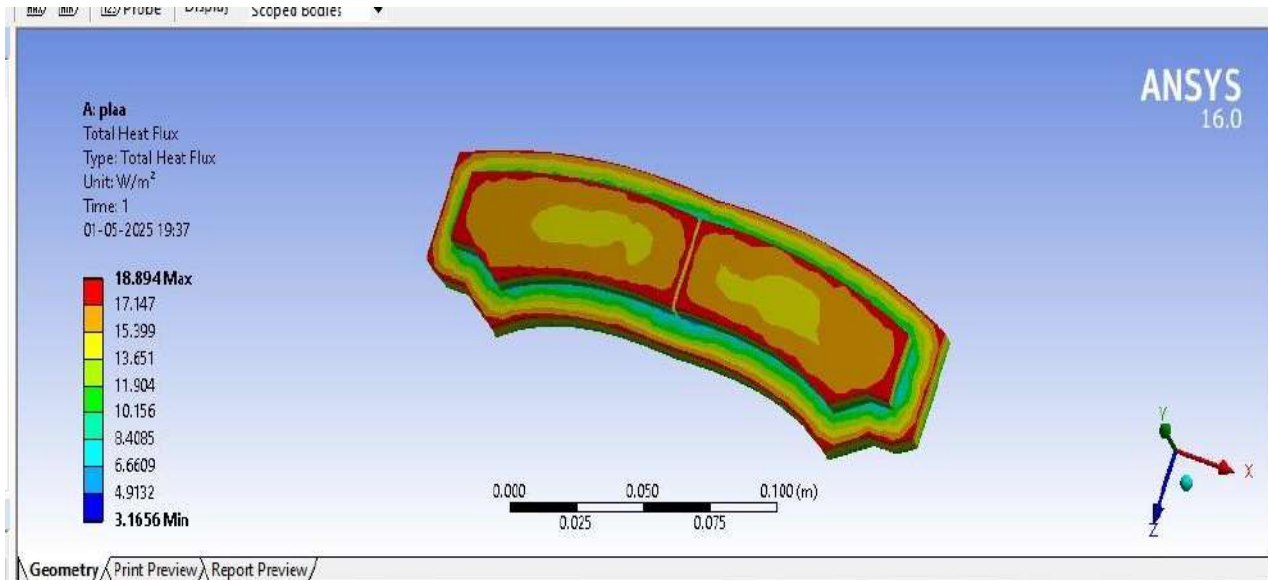
Sources et puits de chaleur : Nous pouvons voir que le flux de chaleur semble être largement concentré dans les régions extérieures du disque, les mêmes régions qui semblaient avoir des températures élevées dans l'analyse précédente. Les flèches indiquent la direction du transfert de chaleur, ce qui peut aider à identifier les sources de chaleur (où le flux sort) et les dissipateurs de chaleur (où le flux entre).

Efficacité de refroidissement : La conception de l'unité peut être évaluée en termes de sa capacité à distribuer et à dissiper la chaleur en observant la direction et l'intensité du flux de chaleur dans différentes zones. Un flux régulier vers l'extérieur peut indiquer une bonne conception du refroidissement.

**III-2-4 Plaquette :**

**Température :****Figure III-16 :** répartition de la température (Plaquette)**Commentaires :**

Gradient de température : Un dégradé de couleur clair allant du rouge au vert au bleu peut être observé vers les bords extérieurs de la doublure. Ce gradient indique que la chaleur est transférée des zones de frottement les plus chaudes vers d'autres parties de la doublure par conduction thermique. À mesure que nous nous éloignons de la surface de frottement, la température diminue progressivement, car la doublure commence à dissiper la chaleur dans l'environnement environnant.

**Flux de chaleur :****Figure III-17 : Répartition du flux de chaleur****Commentaires :**

Cette visualisation du flux de chaleur total sur les plaquettes de frein montre que les taux de transfert de chaleur les plus élevés sont concentrés dans les principales zones de contact avec le disque de frein, où la majeure partie de la chaleur est générée, et diminue progressivement vers les bords extérieurs des plaquettes, démontrant un chemin de dissipation de chaleur des zones de contact chaudes vers les parties plus froides et l'environnement environnant ; Cette analyse aide les ingénieurs à évaluer l'efficacité de la dissipation thermique de la conception de la plaque et à identifier les domaines qui pourraient nécessiter des améliorations pour garantir des performances de freinage efficaces et sûres.

**III-2-5 CONCLUSION :**

À la fin de ce chapitre, nous passerons en revue les éléments que nous avons étudiés et analysés. Dans un premier temps, nous avons conçu différents types de disques et de plaques sur SolidWorks. Deuxièmement, nous avons simulé le disque de frein. Pour la partie simulation de température, l'analyse montre que la température sur le disque est à son maximum sous les plaques à gradient radial.

Enfin, nous avons effectué une simulation de flux de chaleur et avons constaté que la chaleur circule du corps le plus chaud vers le corps le plus froid du disque et également vers les plaques.

## **CONCLUSION GENERALE :**

En conclusion, la conception d'un système de freinage ABS à l'aide de SolidWorks et sa simulation avec ANSYS représentent une approche puissante pour développer et améliorer les systèmes de sécurité critiques dans les automobiles.

SolidWorks permet de créer un modèle 3D détaillé d'un système ABS, facilitant ainsi la compréhension de sa structure et de l'intégration de ses différents composants (capteurs de vitesse de roue, unité de contrôle électronique, unité de modulation hydraulique, etc.).

ANSYS offre la possibilité de simuler le fonctionnement du système ABS dans diverses conditions de freinage (freinage d'urgence, surfaces glissantes, etc.). Cela nous permet d'évaluer l'efficacité du système pour prévenir le blocage des roues, maintenir la stabilité directionnelle et améliorer la distance de freinage.

La simulation permet de détecter les faiblesses potentielles du système, telles que des contraintes excessives, des problèmes de dissipation thermique ou des réponses insuffisantes du contrôleur. Ces informations sont essentielles pour apporter des modifications de conception avant l'étape de prototypage physique, réduisant ainsi les coûts et les délais de développement. Où nous avons étudié la propagation de la chaleur sur le disque et le flux thermique

Grâce aux résultats obtenus et à l'analyse des résultats de simulation, il est possible d'optimiser la conception du disque et des plaquettes pour augmenter leur durée de vie ainsi qu'en termes de réponse, de précision du contrôle du freinage et de durabilité des composants.

Cependant, la validation expérimentale est essentielle : bien que la simulation soit un outil puissant, les résultats doivent être vérifiés par des tests physiques sur des prototypes pour garantir leur fiabilité et que le système répond aux exigences de performance et de sécurité.

En conclusion, l'utilisation combinée de SolidWorks pour la conception et d'ANSYS pour la simulation représente une méthodologie avancée et efficace pour le développement de systèmes de freinage ABS. Il permet une meilleure compréhension du système, des performances améliorées et une réduction des risques et des coûts associés au processus de conception et de développement. Il est toutefois nécessaire de prendre en compte les limites de cette approche et de compléter la simulation par une vérification expérimentale rigoureuse.

## BIBLIOGRAPHIE

- [01] **A. NACIM 2015**, *Etude et conception d'un nouveau système de freinage ABS sur l'essieu rigide E4 AX 21 équipant l'autocar SAFIR, Mémoire de fin d'étude, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.*
- [02] **LATRECHE.S 2022**, *Contrôle Robuste pour Système ABS (freinage), Mémoire de Doctorat Université Batna 2-Mostapha Ben Boulaïd.*
- [03] **DOCUMENT DE NORMES TECHNIQUES** No 105, révision 5 « Code des Réglementations Fédérales des États-Unis, titre 49, partie 571, Norme Fédérale de Sécurité des Véhicules N° 105, Systèmes de freinage hydrauliques et électriques, révisée le 1er octobre 2013 ».
- [04] **BOUKHEDDIA F.Z 2012**, *Le frein automatique d'un véhicule par MATLAB, Mémoire de Master Université Hassiba Benbouali de Chlef.*
- [05] **P. Duysinx**. *Ingénierie des Véhicules Terrestres Université de Liège 2009-2010*
- [06] **Revue WANDFLUH hydraulique+ électronique**, *Produits de qualité pour Utilisations exigeantes*
- [07] **AHMED**, *SYSTÈME DE FREINAGE, 20 FEV 2019 .*
- [08] **W. EL MISSAOUI**, *Le système de freinage 15 oct. 2020*
- [09] **T. SELMA 2018**, *Etude du comportement thermomécanique du contact disque-plaquette de frein, Mémoire de master UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNAB*
- [10] **Y. ADJIRI 2019**, *Étude de conception d'un système de freinage hydraulique automatique Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra*
- [11] **FRIENAGE SUR JANTE** <https://wiklou.org/>
- [12] *Guide de connexion à tous les systèmes de sécurité Équipements du véhicule du système Freinage pneumatique*

[13] **Z. Rania 2021**, *Simulation et étude du comportement thermomécanique d'un système de freinage* Mémoire de master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

[14] **M. Abderraouf -M. Youcef 2020**, *Simulation numérique du comportement d'un disque de frein sous l'effet de température de frottement*, Mémoire de master, UNIVERSITE DE BLIDA 1