

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

*Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*



*Faculté de génie de construction*

*Département d'électromécanique*

*Option Maintenance Industrielle*

# ***Mémoire de fin d'étude***

## ***Thème***

***Étude et conception des plaquettes de frein***

***Réaliser par :***

***Mr BENDIF AZIZ***

***Mr LARBI MESSIPSSA***

***Dirigé par :***

***Mr ZIANI Hocine***

***Membres de jury :***

***Mr MOHELLEBI MOULOUD      MAA      UMMTO      Président***

***Mr CHERABI BILLEL              MCB      UMMTO      Examineur***

***Mr ZIANI HOCINE                MAA      UMMTO      Encadreur***

Remerciements.....	1
Dédicace.....	2
Introduction générale.....	3
<b>CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes de freinage</b>	
<b>I.1.Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.Historique.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3.Structure d'un système de freinage.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.Analyse fonctionnel.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1.Diagramme bête à corne.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.2.Diagramme Pieuvre.....</b>	<b>6</b>
<b>I.5.Les parties de système de freinage .....</b>	<b>7</b>
<b>I.6.Types de systèmes de freinage .....</b>	<b>7</b>
<b>I.6.1.Système de freinage à tambour.....</b>	<b>7</b>
<b>I.6.2.Système de freinage à disque .....</b>	<b>8</b>
<b>I.7.Les éléments principaux d'un système de freinage à disque.....</b>	<b>8</b>
<b>I.7.1.Disque de frein .....</b>	<b>8</b>
<b>I.7.1.1.Types de disque de frein.....</b>	<b>10</b>
<b>I.7.2.L'étrier de frein.....</b>	<b>10</b>
<b>I.7.2.1.Fonctionnement .....</b>	<b>11</b>
<b>I.7.2.2.Types d'étrier de frein.....</b>	<b>11</b>
<b>I.7.2.2.1.Les étriers de frein fixe.....</b>	<b>11</b>
<b>I.7.2.2.2.Les étriers de frein flottants.....</b>	<b>11</b>
<b>I.7.3.Les plaquettes de frein.....</b>	<b>12</b>
<b>I.7.3.1.Matériaux de constitution de plaquettes de frein.....</b>	<b>13</b>
<b>I.7.3.2.Les différents types de matériaux de fabrication des plaquettes.....</b>	<b>13</b>
<b>I.7.3.3.Fonction principale des plaquettes de frein.....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.3.4.Les garnitures.....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.3.5.Témoin d'usure de plaquettes de frein.....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.3.5.1.Fonctionnement des témoins d'usure.....</b>	<b>15</b>
<b>I.7.3.5.2.Remplacement des témoins d'usure.....</b>	<b>16</b>

I.8.Conclusion.....	16
<b>CHAPITRE II : Les frottements</b>	
II.1.Introduction.....	17
II.2.Les types de frottement.....	18
II.2.1.Frottements statiques.....	18
II.2.2.Frottements cinétiques (dynamique).....	18
II.3.Relation entre frottements statiques et dynamiques.....	19
II.4.Les coefficients de frottement.....	20
II.5.Les frottements au freinage d'une voiture.....	21
II.5.1.La force entre la route et la roue.....	21
II.5.2.La résistance au roulement.....	21
II.5.3.La force de frottement entre les plaquettes et le disque.....	22
II.6.Conclusion.....	23
<b>CHAPITRE III : Le freinage</b>	
III.1.Introduction .....	24
III.2.définition de la force de freinage.....	24
III.3.Distribution de la force de freinage.....	24
III.4.Force de frottement.....	24
III.5.L'adhérence.....	24
III.6.La force de freinage .....	25
III.6.1.Coefficient de glissement.....	26
III.6.2.Relation entre les coefficients de freinage $\mu_F$ et le glissement $\lambda$ .....	26
III.6.3.Evolution des coefficients de freinage et du guidage latéral en fonction du glissement.....	27
III.7.Force de freinage maximal.....	28
III.8.Couple de freinage.....	28
III.8.1.Calcul du couple de freinage maximal.....	29
III.9.L'assistance au freinage d'urgence (AFU).....	31

<b>III.9.1.Principe de fonctionnement.....</b>	<b>31</b>
<b>III.9.2.Défaillance de système d'assistance au freinage d'urgence.....</b>	<b>32</b>
<b>III.9.3.Réparation de système d'assistance au freinage d'urgence.....</b>	<b>32</b>
<b>III.10.Techniques de freinage.....</b>	<b>32</b>
<b>III.11.ABS (Système antiblocage des freins).....</b>	<b>32</b>
<b>III.12.Défaillance des systèmes de freinage.....</b>	<b>33</b>
<b>III.12.1.Défaillances de disques de freins.....</b>	<b>33</b>
<b>III.12.1.1.Le disque a atteint son épaisseur minimale.....</b>	<b>33</b>
<b>III.12.1.2.Les plaquettes trop usées ont légèrement attaqué la tôle du disque.....</b>	<b>34</b>
<b>III.12.1.3.Le disque fissuré ou cassé.....</b>	<b>34</b>
<b>III.12.1.4.Les disques sont striés.....</b>	<b>35</b>
<b>III.12.2.Défaillances des plaquettes de frein.....</b>	<b>35</b>
<b>III.12.2.1.Plaquette Fuselées.....</b>	<b>35</b>
<b>III.12.2.2.Usure non-uniforme.....</b>	<b>36</b>
<b>III.12.2.3.Dénaturation.....</b>	<b>36</b>
<b>III.12.2.4.Contamination de surface.....</b>	<b>36</b>
<b>III.12.2.5.Plaquettes endommagée.....</b>	<b>37</b>
<b>III.12.2.6.Plaquettes Fissurées.....</b>	<b>37</b>
<b>III.12.2.7.Aspect vitreux.....</b>	<b>38</b>
<b>III.13.Les causes des défaillances.....</b>	<b>38</b>
<b>III.13.1.La Chaleur.....</b>	<b>38</b>
<b>III.14.Éviter la surchauffe des disques de frein.....</b>	<b>39</b>
<b>III.15.Choix des matériaux.....</b>	<b>39</b>
<b>III.16.Normes sur le freinage de véhicule léger.....</b>	<b>39</b>
<b>III.16.1.La Norme ECE R90 (pour les pièces de rechange).....</b>	<b>40</b>
<b>III.16.1.1.Évolution de la norme ECE R90.....</b>	<b>40</b>

<b>III.16.1.2.Exigences de qualité relatives aux pièces de rechange pour freins selon la norme ECE.....</b>	<b>40</b>
<b>III.16.1.3.Trouver des pièces de rechange homologuées ECE R90.....</b>	<b>41</b>
<b>III.16.1.4.L'obligation de la norme ECE.....</b>	<b>41</b>
<b>III.16.2.La norme<sup>o</sup> 13-H.....</b>	<b>41</b>
<b>III.16.2.1.Domaine d'application.....</b>	<b>41</b>
<b>III.16.2.2.Demande d'homologation.....</b>	<b>41</b>
<b>III.16.2.3.Équipement de freinage.....</b>	<b>42</b>
<b>III.16.2.4.Exemples de marque d'homologation.....</b>	<b>42</b>
<b>III.16.3.La norme ISO 6310:2001.....</b>	<b>43</b>
<b>III.16.3.1.Domaine d'application.....</b>	<b>43</b>
<b>III.17.Conclusion.....</b>	<b>43</b>
<b>CHAPITRE IV : Les essais de freinage</b>	
<b>IV.1.Introduction.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.2.Importance des essais de freinage.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.Conditions d'essais de freinage générales.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.1.Conditions ambiantes.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.2.Surface d'essai de la chaussée.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.3.3.État du véhicule.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.4.Instruments.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.4.1.Mesure de la température aux freins.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.4.2.Mesure de la pression dans la conduite de frein en vue de l'essai avec roue de mesure.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.4.3.Mesure du couple de freinage en vue de l'essai avec roue de mesure.....</b>	<b>47</b>
<b>IV.5.Procédures et conditions.....</b>	<b>47</b>
<b>IV.6.Procédures d'essais routiers et exigences relatives à l'efficacité.....</b>	<b>48</b>
<b>IV.6.1.Rodage.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.6.2.Blocage des roues.....</b>	<b>50</b>

<b>IV.6.3.Efficacité du système ABS.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.6.4.Utilisation de l'adhérence (méthode avec roue de mesure).....</b>	<b>50</b>
<b>IV.6.5.Efficacité à froid.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.6.6.Efficacité à haute vitesse.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.6.7.Arrêts avec moteur coupé.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.6.8.Défaillance de fonctionnement du dispositif de frein antiblocage.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.6.9.Défaillance de fonctionnement du compensateur de freinage.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.6.10.Défaillance partielle.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.6.11.Unité de servofrein ou unité d'assistance de frein inopérante (système privé de sa capacité de freinage).....</b>	<b>53</b>
<b>IV.6.12.Frein de stationnement.....</b>	<b>53</b>
<b>IV.6.13.Ralentissements de réchauffage.....</b>	<b>53</b>
<b>IV.6.14.Essai d'efficacité à chaud.....</b>	<b>53</b>
<b>IV.6.15.Arrêts de refroidissement des freins.....</b>	<b>54</b>
<b>IV.6.16.Essai d'efficacité en récupération .....</b>	<b>54</b>
<b>IV.6.17.Inspection finale.....</b>	<b>54</b>
<b>IV.7.Conclusion.....</b>	<b>54</b>
 <b>CHAPITRE V ; Conception et simulation</b>	
<b>V.1-Introduction .....</b>	<b>55</b>
<b>V.2.La conception assistée par ordinateur (CAO) .....</b>	<b>55</b>
<b>V.2.1-Historique .....</b>	<b>55</b>
<b>V.2.2-Définition .....</b>	<b>55</b>
<b>V.2.3-L'informatique et l'aide à la conception.....</b>	<b>55</b>
<b>V.2.4-Domains connexes .....</b>	<b>56</b>
<b>V.2.5-La CAO et la mécanique.....</b>	<b>56</b>
<b>V.2.6-Logiciel utilisé.....</b>	<b>57</b>
<b>V.2.6.1.SOLIDWORKS.....</b>	<b>57</b>
<b>V.2.6.2.Historique .....</b>	<b>57</b>
<b>V.2.6.3-Fonctionnement .....</b>	<b>57</b>

<b>V.3.Conception des composants du système de frein disque.....</b>	<b>58</b>
<b>V.3.1-L'étrier.....</b>	<b>58</b>
<b>V.3.1.1.Présentation de l'étrier en 3D sous Solidworks .....</b>	<b>59</b>
<b>V.3.2.Présentation des Pins de la plaquette en 3D sous SolidWorks.....</b>	<b>59</b>
<b>V.3.3-Présentation de disque de freinen 3D sous-Solidworks .....</b>	<b>60</b>
<b>V.3.4-Présentation de plaquette de freinen 3D sous SOLIDWORKS.....</b>	<b>60</b>
<b>V.3.5-Assemblage des composants .....</b>	<b>61</b>
<b>V.4.Les dessins ci-dessous représentent la mise en plan de chaque pièce.....</b>	<b>64</b>
<b>V.4.1.Mise en plan de disque de frein.....</b>	<b>65</b>
<b>V.4.2- Mise en plan de l'étrier de frein.....</b>	<b>66</b>
<b>V.4.3-Mise en plan de pin de plaquette.....</b>	<b>67</b>
<b>V.4.4-Mise en plan de plaquette de frein.....</b>	<b>68</b>
<b>V.4.5.Assemblage de frein à disque.....</b>	<b>69</b>
<b>V.5.Simulation disque-plaquettes sur SOLIDWORKS.....</b>	<b>70</b>
<b>V.6-Simulation de problème mécanique.....</b>	<b>70</b>
<b>V.6.1-Choix des matières.....</b>	<b>70</b>
<b>V.6.2-Choix de maillage.....</b>	<b>70</b>
<b>V.6.3-Conditions aux limites.....</b>	<b>71</b>
<b>V.6.3.1-Le disque.....</b>	<b>71</b>
<b>V.6.3.2-Les plaquettes.....</b>	<b>71</b>
<b>V.7-Simulation de problème thermique.....</b>	<b>71</b>
<b>V.8-Les résultats de la simulation.....</b>	<b>72</b>
<b>V.8.1-Contraintes équivalentes de Von mises.....</b>	<b>72</b>
<b>V.8.2-Déformation de la plaquette.....</b>	<b>73</b>
<b>V.8.3-Le déplacement (déplacement résultant).....</b>	<b>73</b>
<b>V.9-Simulation de l'étude thermique.....</b>	<b>74</b>
<b>V.10-Conclusion.....</b>	<b>75</b>
<b>CHAPITRE VI : Processus de la fabrication de la plaquette de frein</b>	
<b>VI.1.Introduction.....</b>	<b>76</b>
<b>VI.2.Dessin de fabrication de la plaquette.....</b>	<b>76</b>
<b>VI.3.Tableau des contraintes dimensionnelles et géométriques.....</b>	<b>77</b>

<b>VI.4.Equipements.....</b>	<b>78</b>
<b>VI.5.Processus de fabrication.....</b>	<b>79</b>
<b>VI.5.1.Découpage support métallique.....</b>	<b>79</b>
<b>VI.5.2.Mélange.....</b>	<b>80</b>
<b>VI.5.3.Préparation supports.....</b>	<b>80</b>
<b>VI.5.4.Fabrication de la plaquette.....</b>	<b>80</b>
<b>VI.5.5.Inspection et contrôle de qualité.....</b>	<b>81</b>
<b>VI.5.6.Personnalisation de la plaquette.....</b>	<b>81</b>
<b>VI.6.Nouvelles techniques.....</b>	<b>82</b>
<b>VI.7.Conclusion.....</b>	<b>82</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>83</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>84</b>

## Liste des figures

Fig.I.1.Schéma d'emplacement du système de freinage dans un véhicule.....	5
Fig.I.2.diagramme bête à corne.....	5
Fig.I.3.diagramme pieuvre.....	6
Fig.I.4.Frein à tambour.....	7
Fig.I.5.Frein à disque.....	8
Fig.I.6.Disque plein.....	9
Fig.I.7.Gorge calorifique.....	10
Fig.I.8.Disque plein.....	10
Fig.I.9.Disque ventilé.....	10
Fig.I.10.étrier de frein.....	11
Fig.I.11.étrier fixe.....	11
Fig.I.12.étrier flottant.....	12
Fig.I.13.Plaquettes de frein.....	13
Fig.I.14.Garniture de plaquettes frein.....	14
Fig.15.Témoin d'usure de plaquette de frein TRW GIC366.....	15
Fig.I.16.Exemple de fonctionnement de témoin d'usure.....	16
Fig.II.1.Schéma des forces appliquée sur un objet posé sur le sol.....	17
Fig.II.2.force de frottement en fonction de la force motrice appliquée.....	19
Fig.II.3.Roue soumise à une force de frottement.....	22
Fig.II.4.Effort exercé sur le disque.....	23
Fig.II.5.Forces créés par le serrage des plaquettes.....	23
Fig.III.1.Force d'adhérence.....	24
Fig.III.2.Cinématique d'une roue en mouvement de rotation et de translation.....	26
Fig.III.3.Relation entre les coefficients de freinage $\mu_F$ et de glissement $\lambda$ pour des différentes chaussées.....	27
Fig.III.4.Relation entre les coefficients de freinage $\mu_F$ , de guidage latéral $\mu_L$ et de glissement $\lambda$ .....	27
Fig.III.5.Frein à disque à étrier fixe ou flottant.....	29
Fig.III.6.Disque à l'usure très visible.....	33
Fig.III.7.Disque endommagé par le fer d'une plaquette.....	34

<b>Fig.III.8.Disque fissurés.....</b>	<b>34</b>
<b>Fig.III.9.Disque strié.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig.III.10.Plaquette Fuselées.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig.III.11.Usure non-uniforme sur une plaquette.....</b>	<b>36</b>
<b>Fig.III.12.Plaquette dénaturée.....</b>	<b>36</b>
<b>Fig.III.13.Plaquette contaminé.....</b>	<b>37</b>
<b>Fig.III.14.Plaquette endommagée.....</b>	<b>37</b>
<b>Fig.III.15.Plaquette Fissurée.....</b>	<b>37</b>
<b>Fig.III.16.Plaquette vitreuse.....</b>	<b>38</b>
<b>Fig.III.17.Coefficient de frottement en fonction de température.....</b>	<b>38</b>
<b>Fig.IV.1. Installations typiques de thermocouples enfichables.....</b>	<b>47</b>
<b>Fig.V.1: Logo SOLIDWORKS.....</b>	<b>57</b>
<b>Fig.V.2 : La position de l'étrier de frein dans le mécanisme en 3D.....</b>	<b>58</b>
<b>Fig.V3 : Modèle 3D de l'Etrier de frein sous SolidWork.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig.V.4 : Modèle 3D des Pins de la plaquette sous-SolidWorkrs.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig.V.5 Modèle 3D des Pins de disque de frein sous SOLIDWORKS.....</b>	<b>60</b>
<b>Fig.V.6 : Modèle 3D de plaquette de frein sous SOLIDWORKS.....</b>	<b>60</b>
<b>Fig.V.7 : La position des Plaquette de frein dans le mécanisme en 3D.....</b>	<b>61</b>
<b>Fig.V.8 : Interface d'assemblage.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig.V.9:Parcourir le dossier des composants.....</b>	<b>63</b>
<b>Fig.V.10: Les composants avant l'assemblage.....</b>	<b>64</b>
<b>Fig.V.11.Maillage volumique de disque-plaquette.....</b>	<b>70</b>
<b>Fig.V.12.Conditions aux limites des plaquettes.....</b>	<b>71</b>
<b>Fig.V.13.Application des charges thermique.....</b>	<b>72</b>
<b>Fig.V.14.Contraintes équivalentes de Von mises.....</b>	<b>72</b>
<b>Fig.V.15 : Déformation de la plaquette.....</b>	<b>73</b>
<b>Fig.V.16 : Résultats obtenue du déplacement.....</b>	<b>73</b>
<b>Fig.V.17:Résultats obtenue de simulation.....</b>	<b>74</b>
<b>Fig.VI.1.Dessin technique de fabrication d'une plaquette.....</b>	<b>76</b>
<b>Fig.VI.2.Schéma des principales étapes de fabrication de la plaquette.....</b>	<b>79</b>

<b>Fig.VI.3.Support métallique bien découpé.....</b>	<b>80</b>
<b>Fig.VI.4.Pesage et mélange des matériaux de base.....</b>	<b>80</b>
<b>Fig.VI.5.Assemblage de matière et support.....</b>	<b>81</b>
<b>Fig.VI.6.Inspection d'une plaquette.....</b>	<b>81</b>
<b>Fig.VI.7.Marquage et emballage des plaquettes.....</b>	<b>81</b>

## Liste des tableaux

<b>Tab.I.1.fonctions principale et fonctions contrainte.....</b>	<b>6</b>
<b>TAB .I.2.Différents types de matériaux de fabrication des plaquettes.....</b>	<b>13</b>
<b>Tab.II.1.Coefficients de frottement statique et cinétique entre diverses surfaces.....</b>	<b>20</b>
<b>Tab.III.1.Exemple de coefficient d'adhérence entre un pneumatique en bon état et la route.....</b>	<b>25</b>
<b>Tab.IV.1.Calendrier des essais routiers.....</b>	<b>49</b>
<b>Tab.V.1: Information sur le logiciel utilisé pour la conception.....</b>	<b>59</b>
<b>Tab.VI.1.matériel de production.....</b>	<b>78</b>

## **Remerciements**

*Je tiens à témoigner ma profonde gratitude à Monsieur ZIANI Hocine, enseignant à l'universitaire Mouloud Mammeri de TiziOuzou, d'avoir accepté de diriger ce travail. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Je remercie messieurs les membres de jury d'avoir acceptés de juger ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.*

*Je remercie aussi tous mes amis pour la motivation que leur amitié et leur amour m'ont apportée pendant ces années d'études à l'université.*

*Enfin et avant tout, je tiens à remercier du fond du cœur, ma famille, qui a su me donner sans cesse son soutien, son amour et l'envie d'apprendre encore plus. Elle est et continuera d'être, je le sais, un soutien sans faille.*

## *Dédicaces*

*A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi «Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».*

*A mon frère Nabilainsi qu'à mes sœurs et leurs maris et leurs enfants, et mes cousins Fatah et Tabar ainsi qu'à mes cousines et leurs maris, pour leurs précieux encouragements, leur complicité et leur présence malgré la distance qui nous sépare.*

*A mes frères Mahfoud, Noureddine, Samir, Yousef, Omar, Massinissa et Nadjib ainsi qu'à mes sœurs et leurs maris et leurs enfants, pour leurs précieux encouragements, leur complicité et leur présence malgré la distance qui nous sépare.*

*A toute ma famille et mes amis ainsi qu'à mes camarades.*

## Introduction générale

Les plaquettes de frein sont essentielles pour la sécurité routière et la vie humaine. Sans des plaquettes de frein en bon état, il y aurait un risque accru d'accidents graves, mettant en danger la vie des conducteurs, des passagers et des piétons. Par conséquent, la maintenance régulière des plaquettes de frein est une tâche importante pour assurer la sécurité routière et protéger la vie humaine.

Les plaquettes de frein sont des composantes essentielles du système de freinage d'un véhicule, qu'il s'agisse d'une automobile, d'une moto, ou même d'un vélo. Leur rôle principal est de convertir l'énergie cinétique du véhicule en chaleur par frottement, ce qui permet de ralentir ou d'arrêter le véhicule de manière contrôlée. Elles sont une composante clé du système de freinage, et leur bon entretien est vital pour garantir des performances de freinage fiables et sécuritaires.

Notre travail consiste à faire l'étude et la conception des plaquettes de frein en utilisant le logiciel SOLIDWORKS et le processus de fabrication.

Le mémoire est composé de six chapitres, après l'introduction générale :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les systèmes de freinage ainsi leur principe de fonctionnement et les composants essentielles pour effectuer une opération de freinage.

Le deuxième chapitre traite les forces de frottements de manière générale et leur importance au freinage d'un véhicule.

Le troisième chapitre est constitué de trois parties :

- Dans la première partie, on s'intéresse à décrire les forces de freinage et leurs distributions.
- La deuxième partie définit l'assistance au freinage d'urgence et le système antiblocages. Ensuite, il décrit les différentes défaillances du système de freinage.
- Dans la troisième partie on s'intéresse aux normes internationales du véhicule léger et leur domaine d'application.

Le quatrième chapitre définit les essais de freinage mentionnés dans les normes réalisées par des experts internationaux.

Le cinquième chapitre consiste à réaliser la conception d'un système de frein à disque à l'aide de logiciel SOLIDWORKS et la simulation de l'assemblage via l'option COSMOS intégré dans le logiciel SOLIDWORKS.

Le sixième chapitre montre le processus de fabrication d'une plaquette de frein et les différentes étapes et équipements nécessaires pour faire la réalisation.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives

## **I.1.Introduction**

L'utilisation d'un véhicule oblige le conducteur à réguler sa vitesse en fonction de la circulation (trafic, feux tricolores, stop, céder le passage...) et des différents obstacles rencontrés. Les résistances à l'avancement (résistance au roulement, à l'air ou à la pente) n'étant pas suffisantes pour ralentir ou arrêter rapidement le véhicule, il sera nécessaire d'avoir recours à un système de freinage.

Les systèmes de freinage sont des éléments clés des véhicules modernes et sont essentiels pour garantir la sécurité des conducteurs et des passagers. Ils permettent de ralentir ou d'arrêter complètement un véhicule en toute sécurité et en un temps record. Les freins peuvent être hydrauliques, mécaniques ou électriques. Ils sont souvent considérés comme un système complexe et technique, mais leur fonctionnement est en réalité assez simple. Ils sont constitués de plusieurs parties, notamment des plaquettes de frein, des étriers, des disques, des tambours et des liquides de frein, tous ces composants doivent fonctionner harmonieusement pour garantir une conduite sûre.

Les freins sont activés par le conducteur via une pédale. Lorsque la pédale de frein est enfoncée, une force est appliquée aux mâchoires ou plaquettes de frein, qui viennent en contact avec les tambours ou disques de frein situés sur les roues du véhicule. Le frottement généré par le contact ralentit le véhicule.

## **I.2.Historique**

L'histoire des systèmes de freinage remonte au début de la roue. Les premiers freins étaient simplement une cale en bois que l'on appuyait contre la roue pour la ralentir ou l'arrêter. Cette forme primitive de freinage était utilisée dans les chariots et les chars dans les temps anciens. Avec l'invention des automobiles à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, les systèmes de freinage ont évolué rapidement. Les premiers freins ralentissaient ou arrêtaient l'automobile. Cependant, cette méthode n'était pas très efficace et causait beaucoup d'usure sur les roues. Ce n'est qu'au XIX<sup>ème</sup> siècle que les freins ont commencé à évoluer vers les systèmes modernes que nous connaissons aujourd'hui. En 1839, le premier brevet pour un frein à disque mécanique a été accordé à l'inventeur britannique George Watson.

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, l'introduction de l'automobile a entraîné de nouveaux développements dans la technologie des freins. En 1902, les premiers freins à tambour ont été introduits et dans les années 1920, la plupart des voitures étaient équipées de freins à tambours aux quatre roues. Les freins à disque ont été introduits pour la première fois dans les années 1950, mais n'ont été largement utilisés que dans les années 1970, lorsque des matériaux et des techniques de fabrication plus avancés sont devenus disponibles.

Dans les années 80 et 90, des systèmes de freinage antiblocage (ABS) ont été introduits, qui utilisaient des capteurs pour empêcher les roues de se bloquer lors d'un freinage brusque. Cela a augmenté la sécurité et la stabilité, en particulier dans des conditions humides ou glissantes.

[1]

### I.3. Structure d'un système de freinage

La structure ci-dessus (Fig.I.1) représente une structure de base que l'on retrouve dans tous les véhicules de tourisme ou bas de gamme.

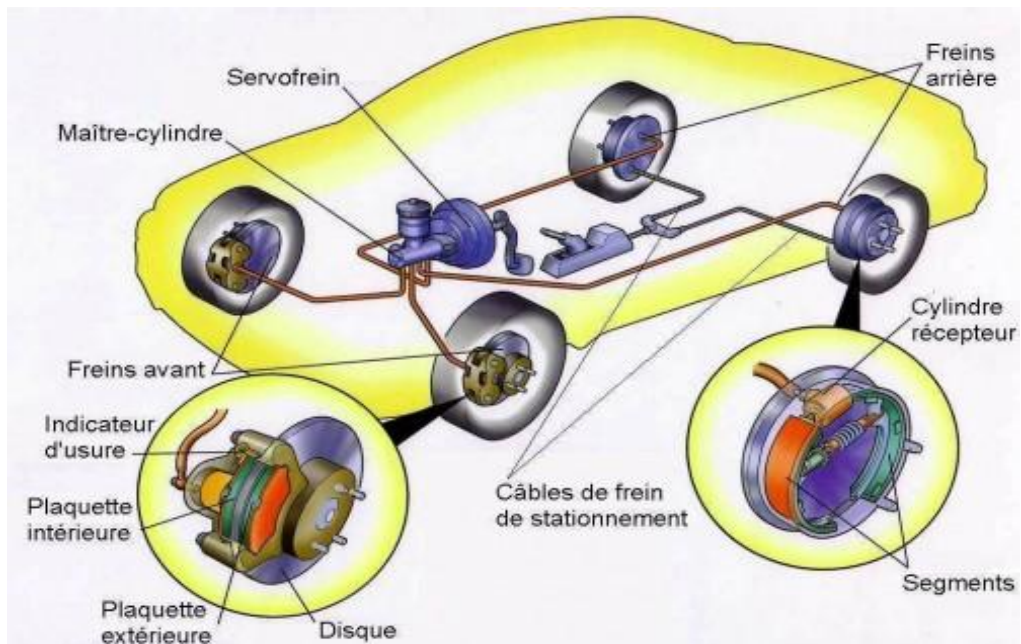


Fig.I.1. Schéma d'emplacment du système de freinage dans un véhicule. [21]

### I.4. Analyse fonctionnel

#### I.4.1. Diagramme bête à corne

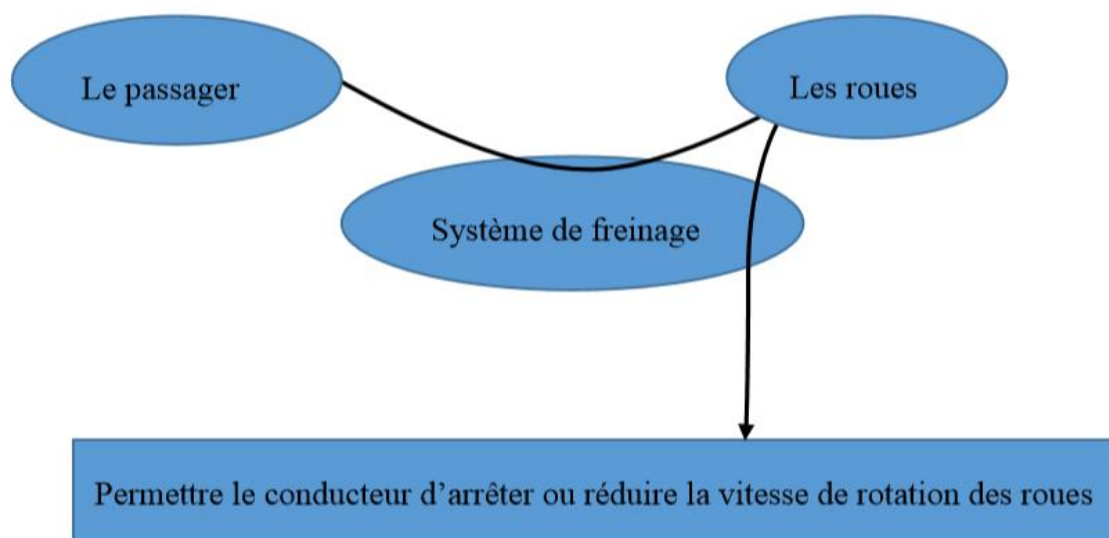
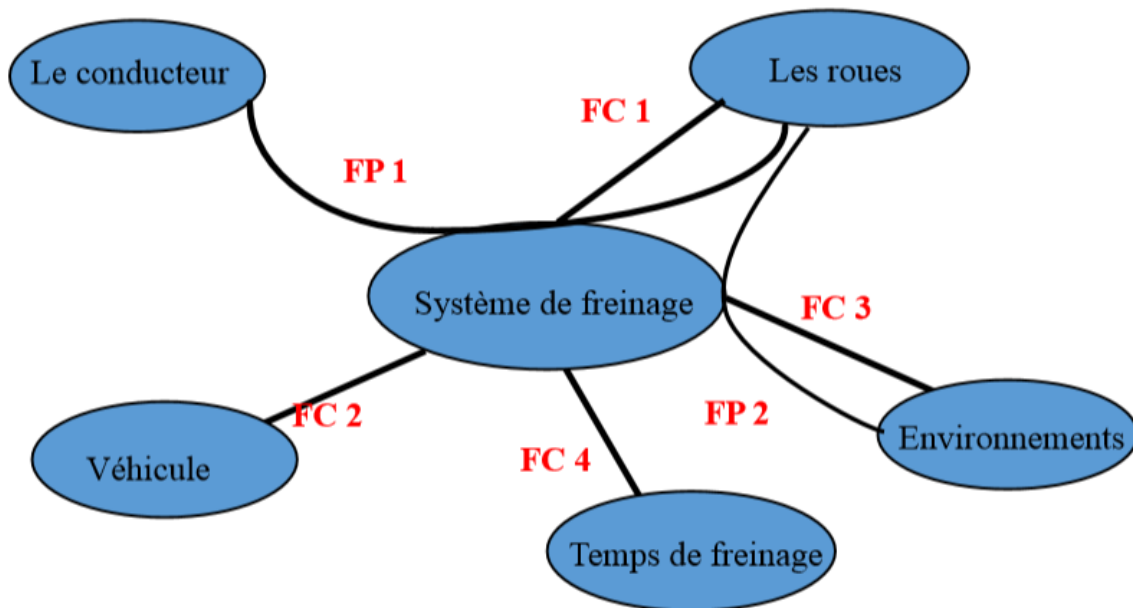


Fig.I.2. diagramme bête à corne.

- **Question 1** : A qui rend- il service ?
- **Réponse** : Ce système rend services au passager.
- **Question 2** : Sur quoi agit-il ?
- **Réponse** : Ce système agit sur les roues.
- **Question 3** : Dans quel but ?
- **Réponse** : Permettre le conducteur d’arrêter ou réduire la vitesse de rotation des roues.

Ce diagramme nous permet de valider la nécessité de crée ce produit, déterminer les facteurs qui peuvent le faire disparaître ou alors le faire évoluer et faire une étude de marche des produits existant.

**I.4.2.Diagramme Pieuvre**



**Fig.I.3.**diagramme pieuvre.

<b>FP 1</b>	Transmettre l’action de freinage à la roue
<b>FP 2</b>	Dissiper l’énergie perdue par frottement dans l’air
<b>FC 1</b>	Limiter le couple de freinage pour ne pas perdre l’adhérence au roulement pneu/sol.
<b>FC 2</b>	Se guider par rapport au châssis.
<b>FC 3</b>	S’adapter aux conditions d’air.
<b>FC 4</b>	Diminuer le temps de freinage.

**Tab.I.1.**fonctions principale et fonctions contrainte.

## I.5. Les parties de système de freinage

Dans un système de freinage, on distingue deux parties :

- **La partie commande** : comprend le système de pédale et le maître-cylindre, qui sont manœuvrés par le conducteur pour actionner les freins. Le maître-cylindre, quant à lui, envoie un signal hydraulique à la partie opérative pour appliquer la force de freinage.
- **La partie opérative** : quant à elle, se trouve au niveau de chaque roue et est constituée d'un étrier qui allonge ou raccourcit les plaquettes de frein pour faire pression sur le disque de frein ou le tambour de frein, ralentissant ainsi la rotation de la roue et donc la vitesse du véhicule.

Le liquide de frein est donc le lien entre la partie commande et la partie opérative du système de freinage, en transférant la force de freinage de la partie commande vers les étriers de frein de chaque roue.

## I.6. Types de systèmes de freinage

Il existe différents types de systèmes de freinage, mais les deux principaux sont le système de freinage à disque et le système de freinage à tambour.

### I.6.1. Système de freinage à tambour

Les freins à tambours sont des type de système de freinage utilisé principalement dans les voitures, camions et motos, qui utilisent des tambours pour ralentir et arrêter le véhicule. Les freins à tambours sont composés d'un tambour fixé sur la partie tournante de la roue, d'une paire de mâchoires, des ressorts de rappel et un cylindre de roues. Lorsque le conducteur appuie sur la pédale de frein, un liquide hydraulique est transmis aux cylindres de roue situés à l'intérieur des tambours. Ce liquide pousse les mâchoires de frein contre la surface intérieure du tambour, ce qui crée une friction et ralentit ou arrête le véhicule.

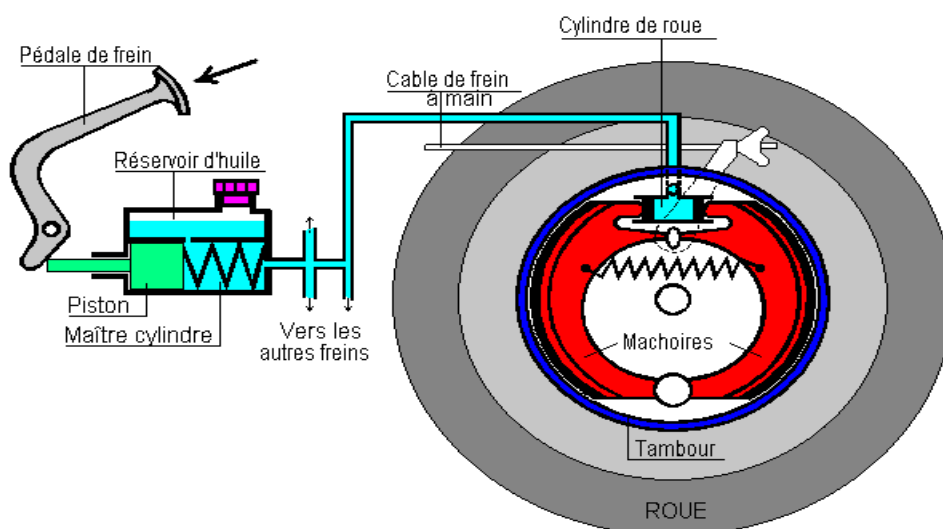


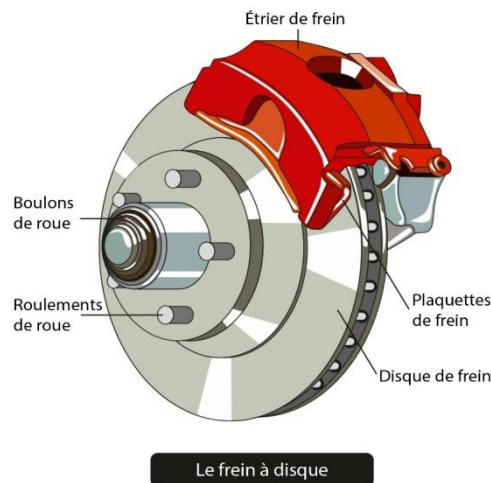
Fig.I.4. Frein à tambour.

Avec l'avancée des technologies de freinage, les freins à disques ont largement remplacé les freins à tambours dans les véhicules modernes. Toutefois, certains modèles plus anciens et certains véhicules utilitaires légers peuvent encore en être équipés.

### I.6.2.Système de freinage à disque

Les freins à disque sont des type de système de freinage utilisé sur les voitures, les motos et les vélos .Ils utilisent un disque rotatif fixé à la roue ou à l'essieu de la machine et des plaquettes de frein qui sont pressées contre le disque pour ralentir la vitesse de rotation.

Le principe de fonctionnement des freins à disque repose sur la conversion de l'énergie cinétique en chaleur par friction. Lorsque les plaquettes de frein sont pressées contre le disque, elles frottent et causent une résistance qui ralentit la rotation de la roue ou de l'essieu.



**Fig.I.5.**Frein à disque.

Les freins à disque offrent des avantages par rapport aux freins à tambour traditionnels en termes d'efficacité de freinage, de refroidissement plus rapide et de moins de risques de surchauffe lors d'un usage intense. C'est pourquoi ils sont de plus en plus utilisés sur les véhicules modernes.

### I.7.Les éléments principaux d'un système de freinage à disque

Les éléments principaux d'un système de freinage à disque sont :

- Le disque
- L'étrier
- les plaquettes

#### I.7.1.Disque de frein

Le disque de frein est un élément clé de système de freinage.il est fixé sur le moyeu, qui fait lui-même un lien entre la roue et le véhicule. La matière la plus fréquemment utilisé pour sa fabrication est la fonte.

Le disque est constitué d'un anneau plein avec deux pistes de frottement (Fig. I.4), d'un bol qui est fixé sur le moyeu et sur lequel est fixée la jante et d'un raccordement entre les pistes et le bol. Ce raccordement est nécessaire car l'anneau et la partie du bol qui est fixée au moyeu ne sont pas sur un même plan pour des questions d'encombrement et de logement des

plaquettes et de l'étrier. La jonction entre le bol et les pistes est souvent usinée en forme de gorge pour limiter le flux de chaleur issu des pistes vers le bol afin d'éviter un échauffement excessif de la jante et du pneumatique.

Les pistes de frottement sont dites extérieures quand elles se situent du côté de la jante et intérieures quand elles se situent du côté de l'essieu.

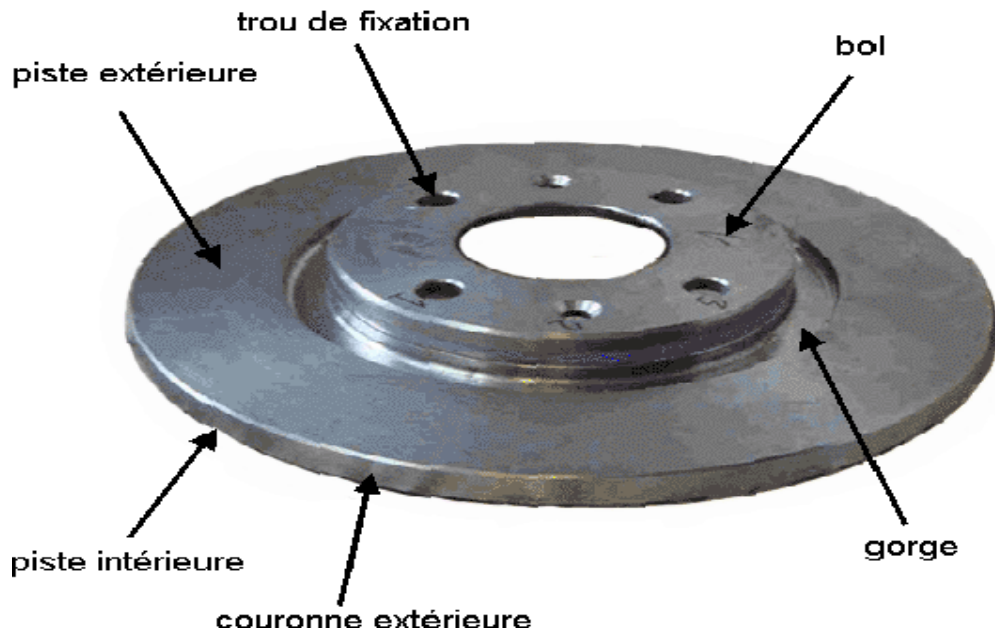
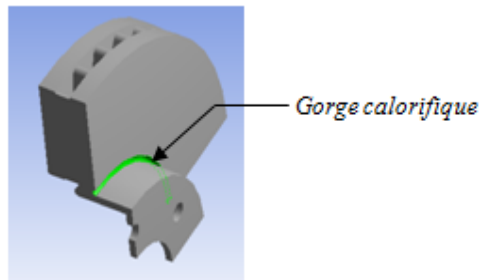


Fig.I.6. Disque plein.

La région de la gorge du bol est aussi très sévèrement sollicitée. En effet, le disque tend à se mettre en cône à cause des dilatations des pistes chaudes, mais ce déplacement est retenu par la présence du bol qui est moins chaud et par celle de l'étrier. De ce fait, de grandes concentrations de contraintes naissent dans cette zone. Lors d'essais très sévères sur banc dynamométrique, on peut parfois voir apparaître une fissure circonférentielle (du côté externe et/ou du côté interne du disque) qui se propage et provoque la rupture brutale du bol. Les gradients dans la gorge du bol s'expliquent de la même manière. En début de freinage, la température du bol est à 20° C tandis que celle des pistes est de quelques centaines de degrés. De plus, dans le but d'éviter que la température du moyeu ne soit trop élevée (ce qui engendrerait des élévations de température du pneu, très critique pour son comportement), la gorge est usinée de manière à ne pas transmettre trop de chaleur au bol. Avec cet usinage, la température du bol baisse effectivement, mais les gradients thermiques augmentent conséquemment dans cette zone. Ceux-ci engendrent des contraintes thermiques qui expliquent les ruptures de bol observées lors d'essais expérimentaux sévères. [3]



**Fig.I.7.**Gorge calorifique

### I.7.1.1.Types de disque de frein

Un disque de frein est de 2 types : ventilé ou plein



**Fig.I.8.**Disque plein



**Fig.I.9.**Disque ventilé.

Un disque plein est ce qu'il y a de plus simple à savoir un disque pur et simple sans aucune particularité. Un disque ventilé ressemble à deux disques pleins superposés avec un espace entre les deux pour améliorer le refroidissement. Généralement, les freins avant sont ventilés et ceux de l'arrière sont pleins pour des raisons de coût (les freins arrière étant moins sollicités, il n'est pas indispensable d'y mettre des disques ventilés).

### I.7.2.L'étrier de frein

L'étrier de frein est l'un des éléments constitutifs du dispositif de freinage et son seul élément mobile. C'est ce dispositif qui va exercer une pression via les plaquettes de frein sur le disque de frein, ce qui va avoir pour conséquence de freiner le véhicule tant qu'une pression est exercée sur le disque, ce qui peut vouloir dire jusqu'à l'arrêt complet de celui-ci.



**Fig.I.10.**étrier de frein.

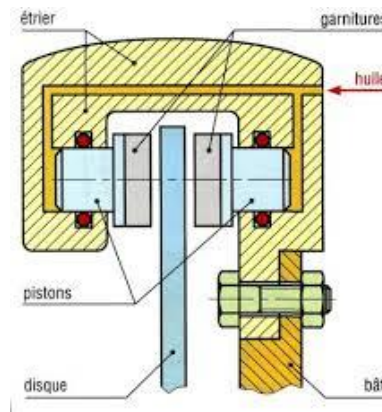
### I.7.2.1.Fonctionnement

Tous les étriers de freins fonctionnent sur une même base, un réseau hydraulique relie la pédale de freins aux étriers présents sur l'ensemble des roues. Lorsque le conducteur appuie sur la pédale de freins, la pression exercée par le pied fait augmenter la pression du liquide de freins dans le système hydraulique. Cette augmentation de la pression va poursuivre sa course jusqu'aux pistons présents au niveau des étriers de frein, qui vont alors bouger de manière à faire entrer en contact les plaquettes de frein et le disque de frein.

### I.7.2.2.Types d'étrier de frein :

Il existe deux types d'étrier de frein « étrier fixe » et « étrier flottant ».

#### I.7.2.2.1.Les étriers de frein fixe



**Fig.I.11.**étrier fixe

Les étriers de freins fixes sont des éléments des dispositifs de freinage installés généralement sur les voitures puissantes et onéreuses, du fait de leur complexité plus importante. En effet, avec ce type de dispositif, des pistons qui se trouvent de chaque côté du disque et vont pousser chacun une plaquette sur le disque de frein suite à l'augmentation de pression subie par le liquide de freinage lorsque le conducteur appuie sur la pédale de frein.

#### I.7.2.2.2.Les étriers de frein flottants

Les étriers flottants ont la particularité de n'appliquer une force qu'à la plaquette entrant en contact avec la face intérieure du disque de frein. En effet, lorsqu'un usager de la route appuie sur sa pédale de frein, l'augmentation de pression du liquide de freinage va passer jusque dans

les pistons des étriers de freins, qui vont pousser la première plaquette contre le disque. Du fait de la configuration en forme de pince de ce dispositif, la seconde plaquette sera alors tirée vers le disque grâce au dispositif qui la relie à la première plaquette de frein.

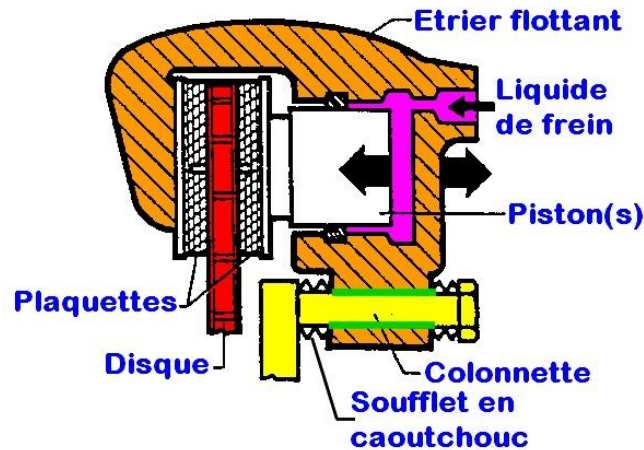
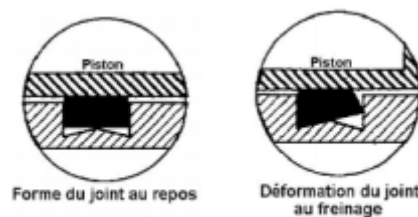


Fig.I.12.étrier flottant.

Au freinage, l'avancée des pistons entraîne la déformation des joints. Lorsque le freinage cesse les joints reprennent leur forme initiale. Les pistons sont ramenés en position repos et le voile de disque participe au retour des plaquettes au repos.[2]



### I.7.3.Les plaquettes de frein

Les plaquettes de frein jouent un rôle crucial dans le système de freinage d'un véhicule en assurant un freinage efficace et sûr, elles ont pour rôle de serrer (frottement) les disques lors du freinage afin de ralentir sa vitesse ou d'immobiliser le véhicule. Ce travail use la plaquette sur la garniture qui est en contact avec le disque. La garniture s'amincit à chaque freinage sous l'effet du frottement et de la chaleur engendrée. L'échauffement est plus rapide quand la garniture n'est pas assez épaisse ; ceci entraîne un freinage inefficace associé à une réaction lente de la pédale. La plaquette de frein doit assurer un freinage constant par tous les temps et sur une grande plage de températures. Elle doit aussi répondre à des exigences strictes de confort, de longévité ou de progressivité de freinage. Ce sont là des contraintes dont il faut tenir compte pour les performances de freinage d'un côté et pour le coût de production de l'autre. Les plaquettes, classées pièces d'usure, sont des éléments importants pour la sécurité du conducteur. L'usage montre qu'elles doivent être remplacées tous les 30 à 40 000 km.



**Fig.I.13.**Plaquettes de frein.

Les clients (constructeurs et équipementiers) imposent un cahier de charges fixant des conditions sévères pour ce qui intéresse le confort et la sécurité exprimée par le coefficient de frottement ( $\rho = 0,3$  à  $0,4$ ), l'adhésion de la plaquette et la résistance à la compression.

### **I.7.3.1. Matériaux de constitution de plaquettes de frein**

Les plaquettes de frein sont généralement composées d'un matériau de friction, tel que le métal fritté, la céramique ou le graphite. Ce matériau résistant à la chaleur et à l'usure permet aux plaquettes de frein de durer plus longtemps et de maintenir un bon niveau de performance dans des conditions de conduite variées.

### **I.7.3.2. Les différents types de matériaux de fabrication des plaquettes**

<b>Matériau</b>	<b>Description</b>
Non-métallique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Divers matériaux composites synthétiques, comme de la cellulose, de l'aramide, du PAN et du verre fritté.</li> <li>- Non agressives pour les disques.</li> <li>- Durée de vie assez courte.</li> </ul>
Semi-métallique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériaux synthétiques mélangés à des métaux broyés.</li> <li>- Plus dures que les plaquettes non-métalliques.</li> <li>- Plus d'usure des disques mais meilleure performance de freinage.</li> </ul>
Tout métallique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisées pour les voitures de course.</li> <li>- Bruyantes et résistantes.</li> <li>- Exigent plus de force que les autres plaquettes pour ralentir le véhicule.</li> </ul>
Céramique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabriquées avec de l'argile et de la porcelaine, agglomérées avec du cuivre.</li> <li>- Bon compromis entre les plaquettes métalliques et naturelles.</li> </ul>

**TAB .I.2.**Différents types de matériaux de fabrication des plaquettes. [1]

### I.7.3.3.Fonction principale des plaquettes de frein

Lorsque le conducteur appuie sur la pédale de frein, le liquide de frein passe par un long et fin tuyau. Ce fluide hydraulique pousse un piston qui se trouve au bout de la conduite de frein, qui à son tour presse la plaquette de frein contre le disque de frein, ralentissant ou stoppant ainsi la voiture en fonction de la force exercée.

Les plaquettes de frein sont pressées contre le disque de frein, créant une friction qui ralentit la rotation des roues. Cette friction génère de la chaleur, ce qui permet de convertir l'énergie cinétique en énergie thermique. Les plaquettes de frein sont conçues pour résister à une température élevée, afin de maintenir leur performance de freinage même lors d'un usage intensif. Elles doivent également être suffisamment résistantes pour supporter les forces générées lors du freinage. En raison de l'usure naturelle qui se produit lors du freinage, les plaquettes de frein doivent être régulièrement inspectées et remplacées si nécessaire. Un mauvais état des plaquettes de frein peut entraîner une diminution de l'efficacité de freinage, une usure prématurée des autres composants du système de freinage, voire une défaillance complète du système de freinage.

### I.7.3.4.Les garnitures

Les garnitures, souvent muni d'un témoin d'usure qui allumera le voyant pour informer le conducteur du changement à prévoir.



Fig.I.14.Garniture de plaquettes frein.

### I.7.3.5.Témoin d'usure de plaquettes de frein

Les plaquettes de frein s'usent au fil du temps. Cependant, le temps nécessaire pour ce faire peut varier considérablement. Les conditions de la route, le style de conduite, la vitesse, la charge du véhicule et le type de plaquettes et de disques ont une incidence sur la rapidité à laquelle cela se produit, ce qui empêche les conducteurs et les techniciens de déterminer à quel moment l'entretien est nécessaire. L'introduction du témoin d'usure élimine cette incertitude en permettant aux conducteurs de savoir quand une plaquette est usée et, dans certaines voitures, même de prédire quand cela se produira. En plus de faciliter la

planification des futures interventions liées au freinage, il garantit également le bon fonctionnement des plaquettes de frein pour une conduite sûre et sous contrôle.



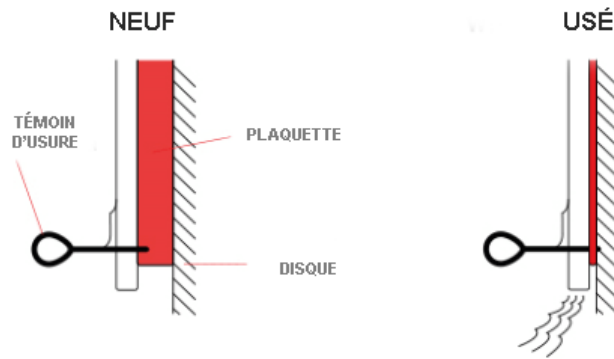
**Fig.15.** Témoignage d'usure de plaquette de frein TRW GIC366.

### **I.7.3.5.1. Fonctionnement des témoins d'usure**

Les témoins de plaquettes de frein actuels représentent une évolution par rapport aux languettes métalliques traditionnelles que l'on retrouve dans de nombreux systèmes de freinage plus anciens. En frottant contre les disques, celles-ci émettent un son strident fort, indiquant au conducteur que les plaquettes ont atteint leur niveau d'usure maximal.

Les témoins d'usure électroniques éliminent les languettes en utilisant un petit capteur : une boucle de fil électrique traversée par un faible courant. Au fur et à mesure qu'une plaquette s'use, la boucle est exposée et établit des contacts avec le rotor ou le disque, créant un circuit ouvert. Cela allume le voyant du tableau de bord, indiquant qu'il est temps de remplacer les plaquettes de frein.

Les témoins les plus récents vont encore plus loin. En plus de signaler aux conducteurs que les plaquettes sont usées, ils peuvent également évaluer le kilométrage restant. Connus sous le nom de témoins à deux niveaux, ils comportent deux circuits de résistance qui fonctionnent en parallèle à différentes hauteurs dans le boîtier du capteur. Lorsque le premier circuit est rompu, la résistance au sein du capteur augmente et le système calcule la durée de vie restante dans la plaquette de frein à l'aide de données telles que la vitesse des roues, le kilométrage, la pression de freinage, la température de freinage et la durée de fonctionnement du frein. Ces informations sont affichées sur le tableau de bord, sous la forme d'un numéro au démarrage du véhicule ou d'un voyant qui change de couleur au fur et à mesure de l'usure de la plaquette. Une fois que le deuxième circuit est rompu, le circuit devient ouvert. Se déclenche alors le voyant qui indique que le moment est venu de faire réparer les freins.[4]



**Fig.I.16.**Exemple de fonctionnement de témoin d'usure.

Bien que de nombreux systèmes d'usure des plaquettes de frein comportent un capteur situé à l'intérieur du véhicule, ce nombre peut varier - entre un et quatre - en fonction de la conception du système de freinage. La position du capteur peut également varier. Les témoins d'usure électroniques les plus courants sont directement intégrés dans le matériau des plaquettes de frein et ne sont donc pas amovibles. D'autres sont montés sur la plaquette de frein elle-même

### **I.7.3.5.2. Remplacement des témoins d'usure**

Les témoins d'usure étant conçus pour rompre, il convient de les remplacer chaque fois que de nouvelles plaquettes sont installées. Il est également conseillé d'inspecter régulièrement les capteurs, entre les changements de plaquettes, et de les remplacer si nécessaire. Au fil du temps, la chaleur dégagée par les freins peut endommager le câblage et les clips. Ils peuvent également être endommagés lors d'autres interventions sur le véhicule, telles que l'installation de nouveaux disques de frein.

## **I.8. Conclusion**

Ce chapitre a permis de décrire les principaux systèmes de freinage, leurs composants essentiels et leur fonction principale. Le système de frein à utiliser les forces de frottements de manière essentiel pour son fonctionnement, c'est ce que on voir au chapitre suivant

## II.1.Introduction

Les frottements sont des forces de résistance qui s'opposent au mouvement relatif entre deux surfaces en contact.

Le frottement est causé par les irrégularités d'une surface. Bien qu'une surface puisse paraître lisse à l'œil nu, des petites aspérités (des irrégularités) sont présentes sur la surface d'un objet lorsqu'on le regarde au microscope.

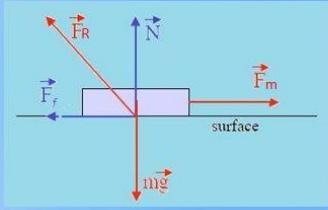
Il existe différents facteurs influençant la force de frottement. Il faut considérer les types de surface qui sont en contact. Des surfaces lisses offrent généralement moins de frottement que des surfaces rugueuses

Il faut également considérer la force normale. Cette force est en lien direct avec la force gravitationnelle, puisqu'elle est généralement en action-réaction. Plus la force normale est grande, plus la force de frottement sera grande.

Puisque la force de frottement est une force qui s'oppose au mouvement d'un objet, elle se calcule en déterminant la différence entre la force motrice et la force résultante

### Force de frottement sec

- Force F exercée par une surface sur un solide
  - composante normale à la surface  $N$  = réaction
  - composante tangentielle à la surface  $F_f$  = force de frottement sec



- Il faut distinguer deux cas:

Lois de Coulomb	si $v = 0$ : $F_f \leq F_{f_{max}} = \mu_s N$	$\mu_s$ = coefficient de frottement statique
	si $v \neq 0$ : $\vec{F}_f = -\mu_c N \frac{\vec{v}}{v}$	

**Fig.II.1.**Schéma des forces appliquée sur un objet posé sur le sol.

La force de frottement se calcule par la formule suivante :

$$F_f = F_m - F_R \quad (1)$$

Où

$F_f$  représente la force de frottement (N)

$F_m$  représente la force motrice (N)

$F_R$  représente la force résultante (N)

Les frottements peuvent être classés en plusieurs catégories, notamment les frottements statiques, cinétiques et visqueux, chacun ayant ses propres caractéristiques et applications. Ils sont régis par les lois de la friction et sont essentiels pour comprendre le comportement des objets en mouvement ou au repos.

## II.2. Les types de frottement

Il existe deux types de frottements :

- Le frottement statique est la force de frottement empêchant un objet de se mettre en mouvement.
- Le frottement cinétique est la force de frottement présente lorsqu'un objet est en mouvement sur un autre objet.

### II.2.1. Frottements statiques

Les frottements statiques sont une force de résistance qui empêche le mouvement relatif entre deux objets en contact. Ils sont généralement causés par des forces électrostatiques qui maintiennent les surfaces en contact. Pour surmonter les frottements statiques et faire bouger les objets, une force externe doit être appliquée pour vaincre cette résistance initiale.

### II.2.2. Frottements cinétiques (dynamique)

Les frottements cinétiques, également appelés frottements dynamiques, sont une force de résistance qui s'oppose au mouvement relatif entre deux objets qui sont en contact et en mouvement l'un par rapport à l'autre. Contrairement aux frottements statiques, qui empêchent le démarrage du mouvement, les frottements cinétiques agissent une fois que le mouvement a déjà commencé. Cette force de frottement dépend généralement de la nature des surfaces en contact, de la rugosité des surfaces et de la force avec laquelle elles sont pressées l'une contre l'autre. Pour maintenir un objet en mouvement constant, une force externe doit être appliquée pour compenser les frottements cinétiques qui tentent de ralentir ou d'arrêter le mouvement.

### II.3.Relation entre frottements statiques et dynamiques

La relation entre ces deux types de frottement réside dans le fait que le frottement statique doit être surmonté pour initier le mouvement, et une fois que le mouvement a commencé, le frottement devient dynamique. La force de frottement statique est généralement plus grande que la force de frottement dynamique initiale. Une fois que les objets sont en mouvement, la force de frottement dynamique devient plus prédominante.

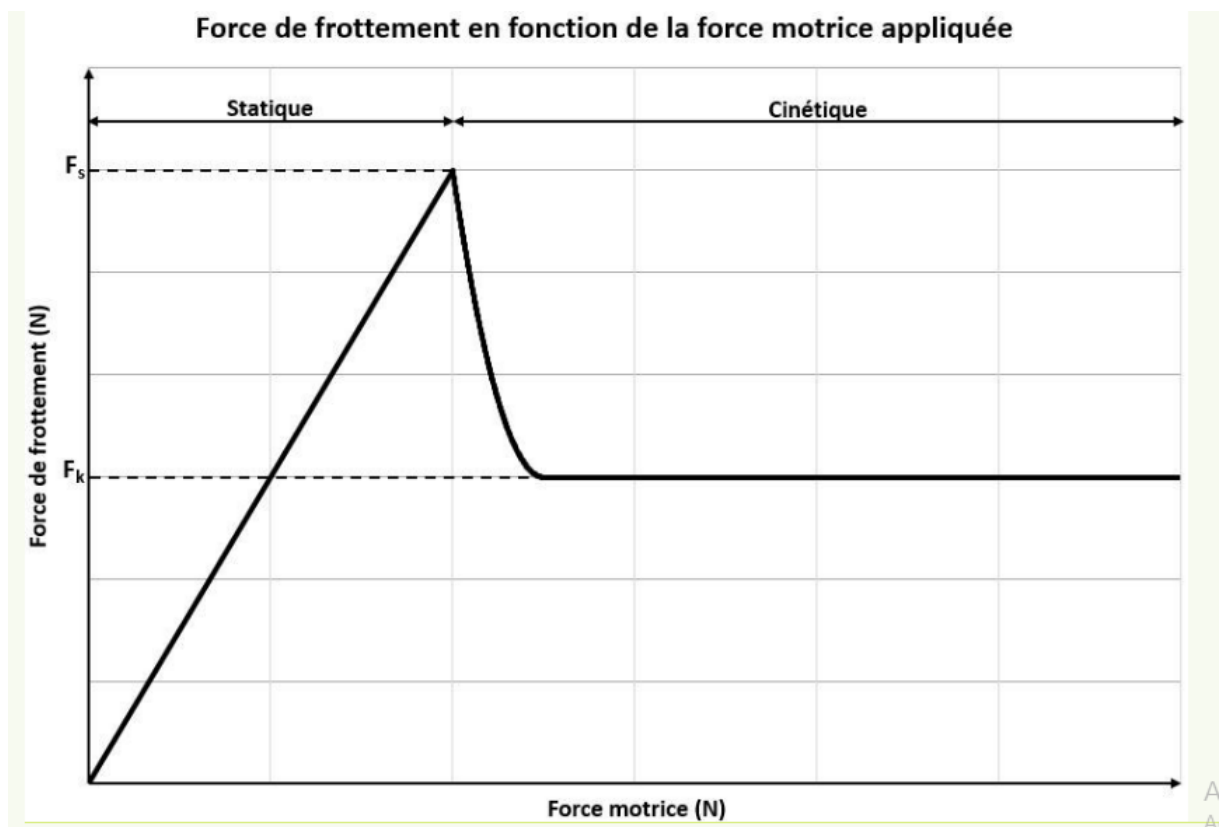


Fig.II.2. force de frottement en fonction de la force motrice appliquée.[6]

Le graphique ci-dessus démontre ce qui se produit lorsqu'un objet immobile est mis en mouvement. Tout d'abord, la force de frottement est statique, car l'objet est immobile. Dès que la force de traction appliquée devient supérieure à la force de frottement statique, l'objet se met en mouvement. La force de frottement diminue rapidement (une phase qu'on appelle glissement adhérent) pour ensuite devenir constante. La force de frottement, maintenant cinétique, est égale à la force de traction appliquée, ce qui permet de conserver l'état de mouvement de l'objet.

**II.4/Les coefficients de frottement**

- Le coefficient de frottement statique est un rapport entre la force de frottement statique d'un objet et la force normale.
- Le coefficient de frottement cinétique est un rapport entre la force de frottement cinétique d'un objet et la force normale.

Les coefficients de frottement sont des valeurs constantes qui ont été établies expérimentalement et ne dépendent que des surfaces en contact. Il existe des tableaux de référence pour déterminer les coefficients statiques et cinétiques des matériaux.

<b>Matériaux</b>	<b>Coefficient statique</b>	<b>Coefficient cinétique</b>
<b>Velcro-Velcro</b>	<b>6,0</b>	<b>5,9</b>
<b>Aluminium-Aluminium</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>
<b>Verre-Verre</b>	<b>1,0</b>	<b>0,40</b>
<b>Caoutchouc-Béton sec</b>	<b>1,0</b>	<b>0,70</b>
<b>Caoutchouc-Béton mouillé</b>	<b>0,60</b>	<b>0,50</b>
<b>Caoutchouc-Asphalte</b>	<b>0,85</b>	<b>0,67</b>
<b>Acier-Acier</b>	<b>0,75</b>	<b>0,57</b>
<b>Cuir-Bois</b>	<b>0,61</b>	<b>0,52</b>
<b>Bois-Bois</b>	<b>0,58</b>	<b>0,40</b>
<b>Cuivre-Acier</b>	<b>0,53</b>	<b>0,36</b>
<b>Ski-Neige</b>	<b>0,14</b>	<b>0,05</b>
<b>Acier-Glace</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>

**Tab.II.1.**Coefficients de frottement statique et cinétique entre diverses surfaces.[6]

L'équation qui permet de calculer une force de frottement est la suivante :

$$F_f = \mu \cdot F_N \quad (2)$$

Où

$F_f$  représente la force de frottement (N)

$\mu$  représente le coefficient de frottement (aucune unité)

$F_N$  représente la force normale (N)

## II.5. Les frottements au freinage d'une voiture

### II.5.1. La force entre la route et la roue

Comme entre deux surfaces quelconques, la force de contact entre la route et la roue a deux composantes :

- une composante perpendiculaire à la surface de contact : N
- une composante tangentielle à la surface de contact (force de frottement) : F

→ Si la roue glisse sur la route, alors  $F = \mu_k \cdot N$ .

→ Si la roue roule, sans glisser, sur la route, alors  $0 \leq F \leq \mu_s \cdot N$ .

→ Dans tous les cas la force F s'oppose au mouvement relatif entre les deux surfaces.

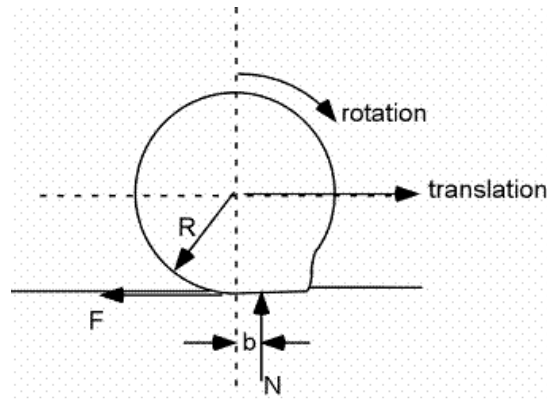
### II.5.2. La résistance au roulement

L'expérience nous dit qu'une roue seule roulant sur une surface horizontale va finir par s'arrêter de rouler. La force F ne peut pas expliquer à elle seule cet effet, puisque son moment contribue à accélérer la rotation de la roue.

En réalité, lors du roulement,

- Le devant de la roue vient appuyer sur le sol. Le sol et la roue se déforment. De l'énergie est donnée aux atomes du sol et de la roue... le roulement entraîne donc une perte d'énergie (l'énergie cinétique devient de l'énergie thermique et est éventuellement dissipée en chaleur).
- Le derrière de la roue se décolle du sol. Ce décollage nécessite également une légère force (le sol « retient » un peu la roue)

Tout ceci peut être modélisé en plaçant la force N à une distance « b » devant le centre de la roue. *Note : la déformation est ici grandement exagérée.*[7]



**Fig.II.3.** Roue soumise à une force de frottement.

Cette distance  $b$  dépend :

- Des matériaux formant la roue et le sol (la résistance est plus grande si on fait du vélo sur le sable mou plutôt que sur l'asphalte!). Un pneu bien gonflé, par exemple, a un plus petit «  $b$  ».
- Un peu de la vitesse.

Souvent on parle d'un coefficient de friction de roulement :  $\mu R = b/R$  où  $R$  est le rayon de la roue. Pour un pneu de caoutchouc sur du béton, les ordres de grandeur mentionnés sont généralement :

- $\mu_r \approx 0.01$
- $\mu_k \approx 0.8$
- $\mu_s \approx 0.9$

En général, on ne peut pas dire que  $F$  vaut  $\mu RN$  lors d'un roulement (sauf cas bien particuliers).[7]

### **II.5.3. La force de frottement entre les plaquettes et le disque**

Le principe du freinage consiste à créer une force s'opposant au mouvement de la roue. Pour cela, on serre fortement le disque de frein entre les deux plaquettes.

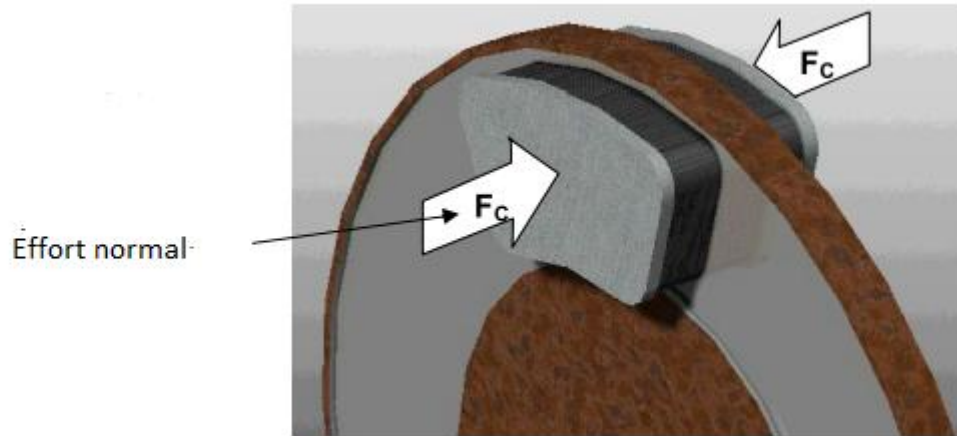


Fig.II.4.Effort exercé sur le disque.

Ce serrage provoque des frottements sur la surface du disque. Ces frottements s'OPPOSENT au mouvement.

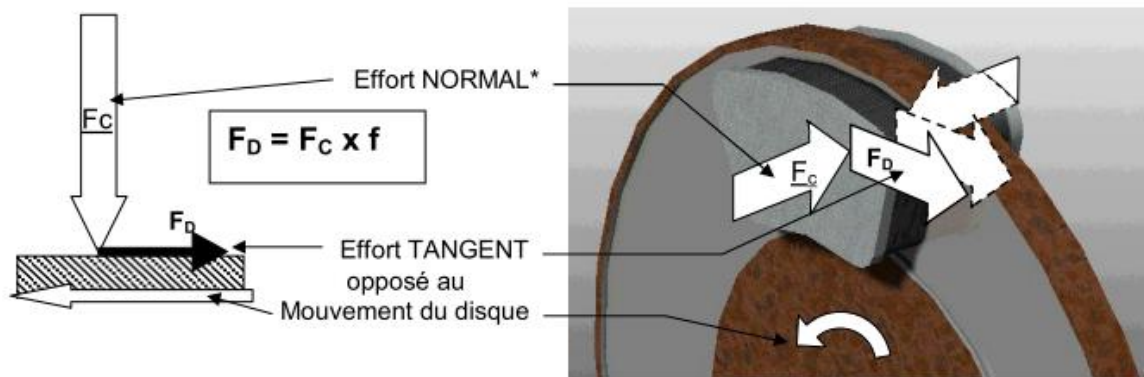


Fig.II.5.Forces créées par le serrage des plaquettes.

L'effort normal  $F_c$  est perpendiculaire à la surface du disque. La valeur de l'effort tangent dépend du coefficient de frottement des matériaux utilisés.[8]

## II.6.Conclusion

Ce chapitre à montrer que Les frottements jouent un rôle crucial dans le système de frein à disque. Ce dernier nécessite plusieurs normes et forces pour son bon fonctionnement, et ce qu'on va traiter dans le prochain chapitre.

### III.1.Introduction

Le freinage est une composante cruciale de la conduite automobile. Il permet de réduire la vitesse d'un véhicule ou de l'arrêter complètement. Dans ce chapitre, on va faire une gestion de forces et de normes essentielles pour assurer un arrêt ou un ralentissement efficace et sécuritaire de véhicule.

### III.2.définition de la force de freinage

La force de freinage est la force exercée sur les freins d'un véhicule pour ralentir ou arrêter son mouvement. Elle est générée par le frottement entre les plaquettes de frein (ou les garnitures) et les disques de frein. Plus la force de freinage est grande, plus le véhicule ralentira rapidement.

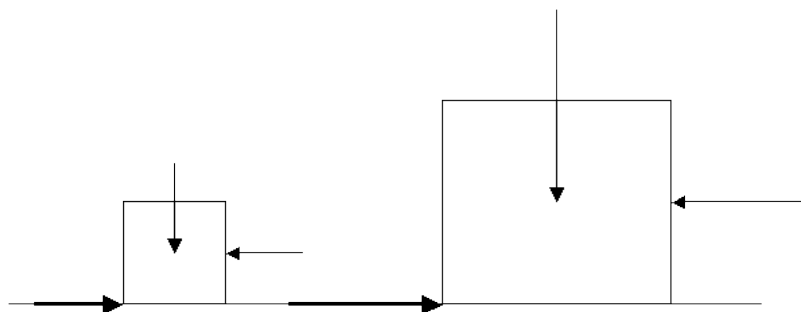
### III.3.Distribution de la force de freinage

Dans de nombreux véhicules, la force de freinage est répartie de manière variable entre les roues avant et arrière pour assurer une meilleure stabilité. Cette répartition dépend de facteurs tels que le poids du véhicule et la situation de conduite.

### III.4.Force de frottement

La force de frottement entre les plaquettes de frein et les disques dépend de la pression appliquée sur les freins et du coefficient de frottement entre les matériaux de freinage. Cette force est ce qui ralentit le véhicule (voir chapitre II).

### III.5.L'adhérence



**Fig.III.1.**Force d'adhérence.

C'est la force A (a) qui s'oppose au déplacement d'un corps par rapport à la surface sur laquelle il repose.[8]

Adhérence = poids de corps x coefficient d'adhérence

$$A = P \times f.ad (3)$$

SI  $A > F$  le corps reste immobile

Si  $F > A$  le corps se déplace

### CHAPITRE III Le freinage.

Sur un véhicule l'adhérence va varier en fonction :

- de la charge
- des pneumatiques
- de la nature du sol

Nature de sol	Goudron à gravier enrobé		Asphalte rugueux		Pavé mosaïque		verglas
	Sec	Mouillé	Sec	Mouillé	Sec	Mouillé	
<b>F</b>	0,9	0,6	0,8	0,5	0,6	0,3	0,1

**Tab.III.1.**Exemple de coefficient d'adhérence entre un pneumatique en bon état et la route.[1]

Une perte d'adhérence entraîne :

- Une diminution de l'efficacité du freinage.
- Un guidage difficile du véhicule
- Une usure irrégulière et rapide des pneumatiques.

Plus l'adhérence est grande, plus la distance d'arrêt est courte.

### **III.6.La force de freinage**

La force de freinage est caractérisée par son coefficient d'adhérence ou de freinage  $\mu_F$ . Ce dernier est défini comme le rapport entre la force de freinage et le poids de la voiture. Dans l'hypothèse d'une décélération constante celui-ci se réduit à :

$$\mu_F = \frac{\gamma}{g} \quad (4)$$

Avec  $g$  : l'accélération gravitationnelle.

$\gamma$  : La décélération constante du véhicule due au freinage.

Le coefficient de freinage est une grandeur sans dimension qui dépend, comme la force de freinage, du taux de glissement. Aussi il est important de rappeler que la force de freinage maximum est obtenue lorsque les pneumatiques sont à la limite de l'adhérence.

### III.6.1. Coefficient de glissement

Le glissement se définit comme l'écart relatif entre la vitesse circonférentielle  $v$  de la roue et la vitesse de translation  $V$  du véhicule. Il est caractérisé par un coefficient de glissement, dit aussi taux de glissement, donné par :

$$\lambda = \frac{V-v}{v} \quad (5)$$

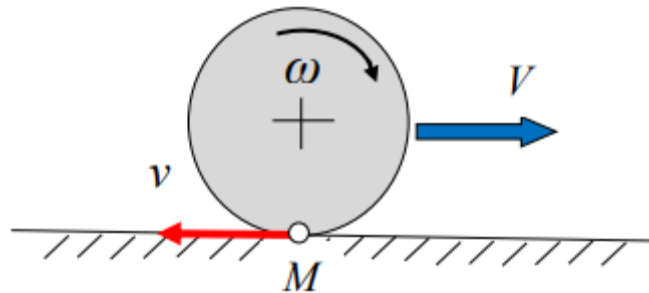
Avec :

$\lambda$  : Coefficient de glissement

$V$  : Vitesse de translation de véhicule, exprimée en  $m.s^{-1}$

$v$  : Vitesse circonférentielle de la roue, exprimée en  $m.s^{-1}$

C'est une grandeur sans dimension qui s'exprime indifféremment par un pourcentage ou un coefficient.

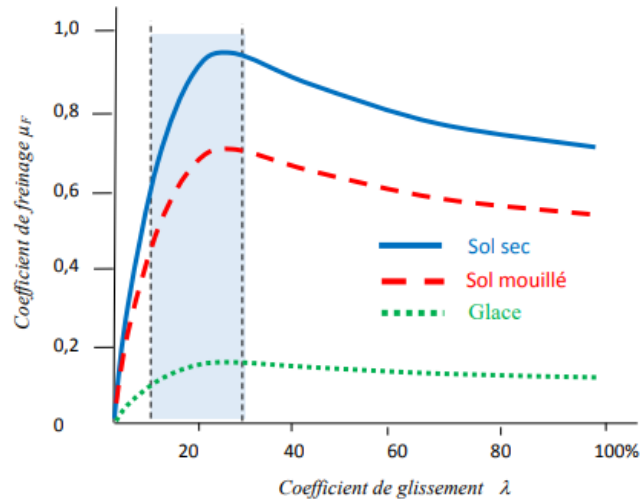


**Fig.III.2.** Cinématique d'une roue en mouvement de rotation et de translation.

Le coefficient de glissement est compris entre 0 et 1. Dans le cas d'un glissement nul ( $\lambda = 0\%$ ), la roue est en parfaite adhérence avec le sol, cela signifie qu'il n'y a pas de différence entre la vitesse de rotation de celle-ci et la vitesse de translation du véhicule. Lorsque le glissement égal à 1 ( $\lambda=100\%$ ) cela signifie qu'il n'y a pas du tout d'adhérence entre la roue et le sol. Dans ce cas, soit la roue est totalement bloquée au freinage, soit elle tourne alors que la véhicule reste immobile.

### III.6.2. Relation entre les coefficients de freinage $\mu_F$ et le glissement $\lambda$

La figure (**Fig.III.3**) ci-dessous montre l'évolution du coefficient de freinage  $\mu_F$  en fonction du glissement  $\lambda$  pour les différentes conditions de chaussées. Sur une couche de glace les valeurs du coefficient de freinage restent très faibles. Il atteint des valeurs très importantes sur des chaussées sèches ou mouillées.

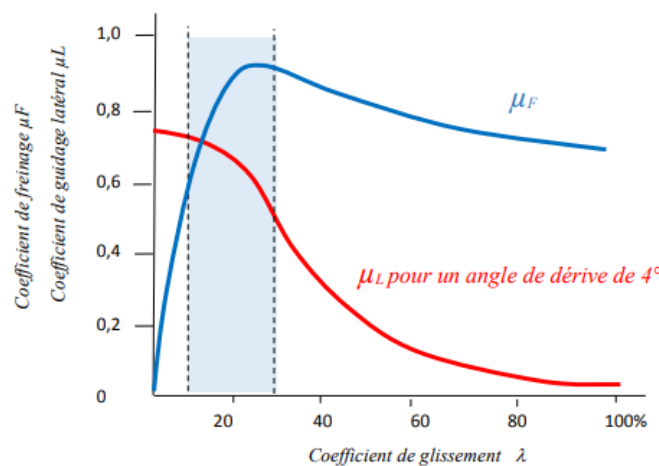


**Fig.III.3.**Relation entre les coefficients de freinage  $\mu_F$  et de glissement  $\lambda$  pour des différentes chaussées.[10]

Dans toutes ces conditions, la valeur maximum du coefficient de freinage est atteinte pour un glissement situé entre 10 et 30 % (zone optimale). Pour des coefficients de glissement inférieurs, le freinage ne présente aucun danger (zone de stabilité). Le coefficient de glissement varie rapidement de 30 à 100% dès qu'il y a un sur-freinage et la roue se bloque (zone d'instabilité). Le dispositif antiblocage dose la force de freinage pour maintenir le glissement des pneumatiques dans la zone optimale ( $\lambda$  compris entre 10 et 30 %).

### III.6.3. Evolution des coefficients de freinage et du guidage latéral en fonction du glissement

La figure (Fig.III.4) ci-dessous montre les variations des coefficients de freinage ou d'adhérence  $\mu_F$  et de guidage latéral  $\mu_L$  en fonction du glissement  $\lambda$ .



**Fig.III.4.**Relation entre les coefficients de freinage  $\mu_F$ , de guidage latéral  $\mu_L$  et de glissement  $\lambda$ .

## CHAPITRE III Le freinage.

Elle montre clairement que l'augmentation importante du glissement jusqu'au blocage des roues (100%) provoque une diminution de l'adhérence longitudinale et une chute très importante du coefficient de guidage latéral. Au niveau du véhicule, ceci se traduit par une perte du pouvoir directionnel et de la stabilité. Afin de remédier à ces inconvénients, il est intéressant de limiter la force de freinage à une valeur correspondant à un glissement optimal du pneu sur le sol qui est de l'ordre de 10 à 30%.

A l'intérieur de cette zone de glissement optimal, les coefficients de guidage latéral  $\mu_L$  et de freinage  $\mu_F$  sont suffisamment élevés pour que les forces de guidage transversales et de freinage soient suffisantes pour maintenir la dirigeabilité et la stabilité du véhicule. C'est la fonction du système ABS.

### **III.7. Force de freinage maximal**

→ La force de freinage est fonction de l'adhérence du pneumatique sur le sol.

→ L'adhérence du poids (elle augmente avec lui) et du coefficient d'adhérence ( $f_{ad}$ ).

→ Le coefficient d'adhérence est maximum quand il est égal au coefficient de frottement ( $f_{frot}$ ).

En considérant que les roues opèrent toutes dans les mêmes conditions, la force de freinage maximum est égale à :

Force de freinage maximal

$$F_{fmax} = P \cdot f_{frot} \quad (6)$$

Avec : P → le poids en newton

$$P = mg$$

m → la masse en (kg)

g → l'accélération de la pesanteur en  $m/s^2$

### **III.8. Couple de freinage**

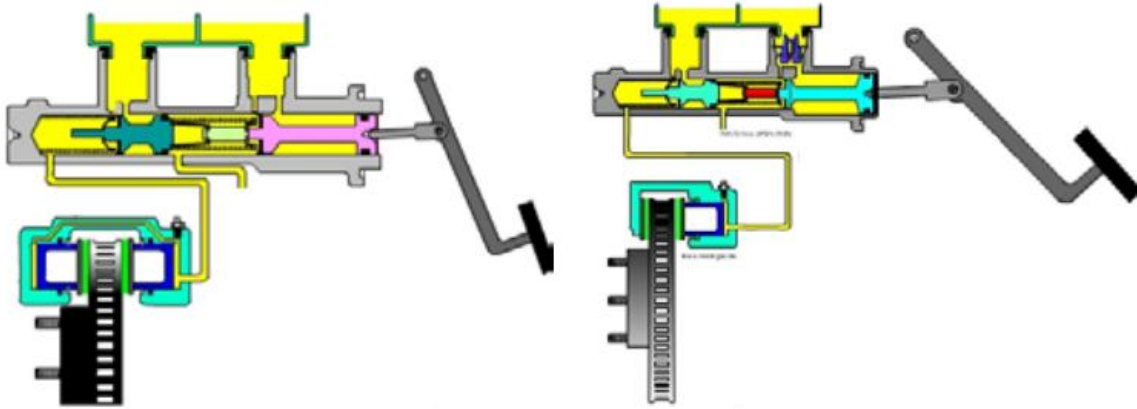
Le couple de freinage est une mesure de la force de freinage exercée par les freins d'un véhicule. Il est généralement exprimé en unités de couple, telles que le Newton-mètre (Nm) ou le pied-livre (lb-ft). Le couple de freinage est généré par la force de frottement entre les plaquettes de frein et le disque lorsque le système de freinage est activé. Plus le couple de freinage est élevé, plus la capacité de freinage est importante, ce qui signifie que le véhicule peut ralentir ou s'arrêter plus rapidement.

Le couple de freinage dépend de plusieurs facteurs, notamment la pression exercée sur les plaquettes de frein, le diamètre du disque, le coefficient de frottement entre les plaquettes et le

## CHAPITRE III Le freinage.

disque, la géométrie des composants, et d'autres variables liées au système de freinage. Les constructeurs automobiles effectuent des calculs et des tests pour déterminer le couple de freinage optimal pour chaque véhicule afin d'assurer un freinage sûr et efficace.

L'action sur la pédale de frein entraîne le piston du maître-cylindre qui comprime le liquide hydraulique de freinage dans la chambre et le circuit aval du maître-cylindre. La pression ainsi créée pousse le ou les pistons de freinage qui plaquent alors les plaquettes sur le disque.



**Fig.III.5.**Frein à disque à étrier fixe ou flottant.

### **III.8.1. Calcul du couple de freinage maximal**

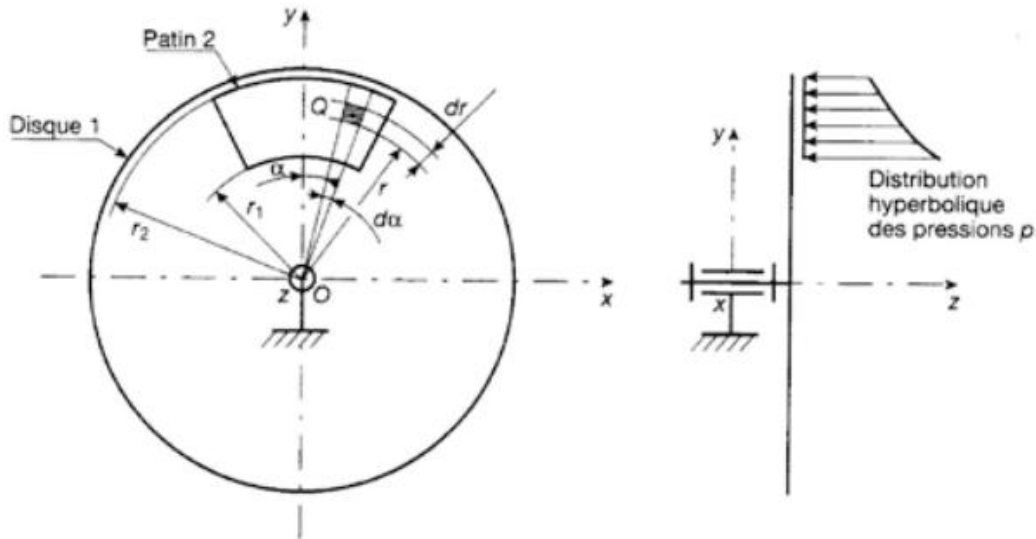
Il est possible de modéliser la pression de contact  $p$  à l'interface entre le disque et la plaquette de deux manières :

- Pression constante, ce qui entraîne une usure inégale,
- Pression variable avec une usure constante.

Dans ce cas, la distribution de pression est hyperbolique sur la surface du disque et telle que :

$$p(r) = p_M \frac{r_1}{r} \quad (7)$$

## CHAPITRE III Le freinage.



Pour passer d'une modélisation locale des actions mécaniques transmissibles par le contact entre les deux disques de friction à une modélisation globale, il faut tout d'abord définir un petit élément de surface :

$$dS = r \cdot dr d\theta$$

On peut donc exprimer l'effort presseur  $N$  exercé par le piston et en déduire la valeur de  $p_M$ :

$$dN = p \cdot dS \rightarrow N = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{r_1}^{r_2} p_M \frac{r_1}{r_2} \cdot r \cdot dr d\theta \rightarrow N = 2p_M \alpha r_1 (r_2 - r_1) \rightarrow p_M = \frac{N}{2\alpha r_1 (r_2 - r_1)} \quad (8)$$

On peut ensuite exprimer le couple maximal de freinage à la limite au glissement :

$$dC = r \cdot dT \rightarrow dC = r f \cdot dN \rightarrow dC = r f p(M) \cdot dS$$

On intègre sur l'ensemble de la surface de friction et on obtient :

$$C = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{r_1}^{r_2} r^2 f p(M) \cdot dr d\theta \rightarrow C = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{r_1}^{r_2} r^2 f p_M \frac{r_1}{r} \cdot dr d\theta \rightarrow C = \alpha f p_M r_1 (r_2^2 - r_1^2) \quad (9)$$

On remplace alors  $p_M$  par sa valeur en fonction de l'effort presseur  $N$  et on trouve :

$$C = \frac{fN(r_2 + r_1)}{2} = fNr_{moy} \quad (10)$$

Le système de freinage par disque est composé de deux plaquettes en forme de portion de disque en contact avec un disque de freinage, dans ce cas, le couple de freinage est le double de celui que nous venons de calculer.[11]

### III.9.L'assistance au freinage d'urgence (AFU)

L'aide au freinage d'urgence, ou AFU, est un système d'assistance électronique. Elle est apparue au début des années 1990 et a été montée pour la première fois sur une voiture de

## CHAPITRE III Le freinage.

série par Mercedes en 1996. Comme son nom l'indique, l'AFU est là pour aider le conducteur lors du freinage d'urgence.

Le but de l'aide au freinage d'urgence est de diminuer la distance de freinage en secondant l'action du conducteur lorsque le système détecte un freinage à pleine puissance. En d'autres termes, l'aide au freinage d'urgence détecte l'action du conducteur qui veut piler et l'aide à s'arrêter rapidement.

L'aide au freinage d'urgence permet ainsi d'éviter l'accident en diminuant la distance de freinage de 20 à 45% selon le modèle de voiture. Bien que couplée à l'ABS, système antiblocage des roues, et l'ESP, contrôle électronique de la trajectoire, elle ne doit pas être confondue avec ces autres assistances.

En effet, le rôle de l'ABS est d'éviter le blocage des roues en cas de freinage d'urgence afin que le conducteur puisse garder le contrôle de sa trajectoire. L'ESP est une autre aide à la conduite qui vise à améliorer l'adhérence et la trajectoire du véhicule ainsi qu'à éviter ses dérapages.

Ces différents systèmes peuvent donc travailler ensemble pour augmenter la sécurité de la voiture sur la route, et bien sûr celle des autres usagers.

### **III.9.1.Principe de fonctionnement**

Au début des années 1990, des études ont montré qu'en situation de freinage d'urgence, les conducteurs ont tendance à ne pas exploiter le plein potentiel de freinage de leur véhicule. Au contraire, sous l'effet de la panique, le conducteur a même tendance à relâcher la pression.

C'est ainsi qu'est née l'idée d'une aide au freinage d'urgence permettant de mobiliser toute la puissance de freinage pour diminuer la distance de freinage et arrêter le véhicule rapidement. L'AFU a ainsi été créée.

Le fonctionnement de l'aide au freinage d'urgence se fait grâce à différents éléments :

- Un capteur situé au niveau du pédalier ;
- Un calculateur électrique ;
- Le servofrein ;
- Les feux de détresse.

Le capteur détecte le passage brutal de la pédale d'accélérateur à celle de frein, synonyme d'un freinage d'urgence. Il transmet cette information au calculateur, qui se substitue alors au conducteur pour utiliser toute la puissance de freinage de la voiture.

Généralement, cela passe par le servofrein du véhicule, qui permet de démultiplier l'effort de freinage. Le système fonctionne alors comme une seconde pédale de frein et se couple à l'ABS et à l'ESP qui permettent d'éviter le blocage des roues et la perte de contrôle de la voiture.

## CHAPITRE III Le freinage.

Enfin, le système d'aide au freinage d'urgence fonctionne parfois avec les feux clignotants de détresse. Lorsque l'AFU est activée, les feux de détresse se mettent automatiquement en route afin d'avertir les autres automobilistes.

### **III.9.2. Défaillance de système d'assistance au freinage d'urgence**

L'aide au freinage d'urgence est là pour assister le conducteur en cas de freinage brutal afin d'éviter une collision. Une panne du système est donc naturellement dangereuse. Elle peut survenir en cas de défaillance du calculateur et se traduit alors par les symptômes suivants :

- Les feux de détresse ne s'activent pas : cela ne concerne cependant que les voitures dont les feux de détresse sont couplés avec l'aide au freinage d'urgence et doivent donc s'allumer lorsque l'AFU est utilisée ;
- Les distances de freinage sont allongées ;
- Le freinage est moins puissant.

Une panne de l'aide au freinage d'urgence est assez rare et surtout difficile à diagnostiquer. En effet, elle se traduit surtout par un freinage allongé, la voiture mettant plus de temps à s'arrêter faute d'assistance.

### **III.9.3. Réparation de système d'assistance au freinage d'urgence**

En cas de panne du calculateur, l'aide au freinage d'urgence peut devenir défectueuse, rallongeant vos distances de freinage et vous privant de son assistance en cas de besoin. Il est difficile de se rendre compte que le système est défaillant.

Cela ne peut passer que par un diagnostic auto, qui se fait à l'aide d'un outil spécial. Ce diagnostic fait normalement partie de la révision annuelle de votre voiture et permettra ainsi de se rendre compte d'un problème lié à l'aide au freinage d'urgence.

En cas de code d'erreur lié à l'AFU, le garagiste pourra intervenir en fonction de la signification de ce code. Il faudra peut-être remplacer le calculateur.

## **III.10. Techniques de freinage**

Le freinage en douceur et progressif est préférable pour maintenir la stabilité du véhicule. En cas de freinage d'urgence, il est important de presser fermement la pédale de frein tout en maintenant le contrôle directionnel.

## **III.11. ABS (Système antiblocage des freins)**

L'ABS est conçu pour éviter le blocage des roues pendant le freinage, ce qui permet au conducteur de garder le contrôle de la voiture, de réduire les distances d'arrêt et d'améliorer la sécurité lors de situations d'urgence ou de freinage sur chaussées glissantes. Son fonctionnement est basé sur :

- **Capteurs de vitesse des roues :** Chaque roue est équipée d'un capteur de vitesse. Ces capteurs mesurent en permanence la vitesse de rotation de chaque roue.

## CHAPITRE III Le freinage.

- **Unité de commande** : Il y a une unité de commande de l'ABS qui reçoit en temps réel les informations des capteurs de vitesse des roues. Cette unité analyse ces données pour détecter si une ou plusieurs roues sont sur le point de se bloquer lors d'un freinage.
- **Pompe hydraulique** : Lorsque le système détecte qu'une roue est sur le point de se bloquer, il commande une pompe hydraulique. Cette pompe peut moduler la pression de freinage de manière indépendante sur chaque roue, en relâchant puis en appliquant à nouveau la pression de freinage plusieurs fois par seconde.
- **Réduction de pression** : La pompe hydraulique réduit la pression sur la roue qui risque de se bloquer. Cela empêche le blocage complet de la roue et permet au conducteur de maintenir le contrôle de la direction, même en cas de freinage brusque.
- **Maintien de la direction** : L'ABS permet au conducteur de maintenir la direction tout en freinant fort. Cela est particulièrement important dans des situations d'urgence, où une manœuvre d'évitement pourrait être nécessaire.
- **Rétablissement de la pression** : Une fois que la roue ne risque plus de se bloquer, l'ABS rétablit progressivement la pression de freinage sur cette roue.

De nombreux véhicules modernes sont équipés du système antiblocage des freins (ABS) c'est une technologie de sécurité automobile essentielle qui a fait ses preuves.

### **III.12. Défaillance des systèmes de freinage**

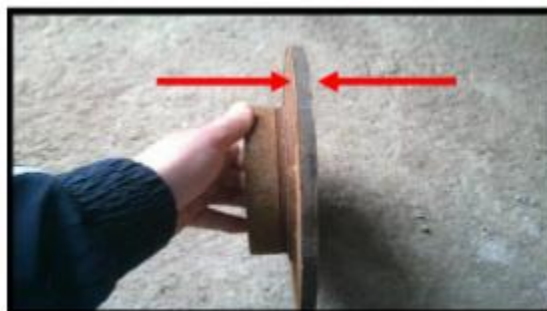
Il existe plusieurs types de défaillance dans les systèmes de freinages mais nous intéressons les défaillances de disque et les plaquettes de frein.

#### **III.12.1. Défaillances de disques de freins**

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

##### **III.12.1.1. Le disque a atteint son épaisseur minimale**

Chaque disque de frein a une cote d'épaisseur minimum prédéfinie, en dessous de laquelle il doit être remplacé obligatoirement. Cette cote minimum d'usure est inscrite dans la fiche descriptive du disque. Si la cote du disque de frein est égale ou inférieure à la cote minimum indiquée, le remplacement s'impose.



**Fig.III.6.**Disque à l'usure très visible.

### III.12.1.2. Les plaquettes trop usées ont légèrement attaqué la tôle du disque

Le disque semble presque intact sauf quelques marques de raclage à l'extérieur ou à l'intérieur du disque.



**Fig.III.7.**Disque endommagé par le fer d'une plaquette.

### III.12.1.3. Le disque fissuré ou cassé

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



**Fig.III.8.**Disque fissurés.

### III.12.1.4. Les disques sont striés

Des stries et rainures se sont formées sur les surfaces de frottement du disque de frein à cause de :

- Corps étranger entre le disque et la plaquette du frein (saleté, sel de déneigement etc.)
- Corrosion
- Disques de frein trop mous
- Matériau bas de gamme de la plaquette
- Surcharge du système de freinage

Les stries peuvent prendre des formes très différentes, de fines à très grossières. Il est donc difficile de dire d'une façon générale si l'état est encore tolérable. Grâce à son expérience, seul le spécialiste peut prendre la bonne décision. Si certaines limites sont respectées, la présence de stries ne compromettra pas l'effet de freinage, il est toutefois nécessaire de rectifier les disques ou de les changer lorsqu'on change les plaquettes. (Voir **Fig.III.9**).



**Fig.III.9.**Disque strié.

### III.12.2. Défaillances des plaquettes de frein

#### III.12.2.1. Plaquette Fuselées

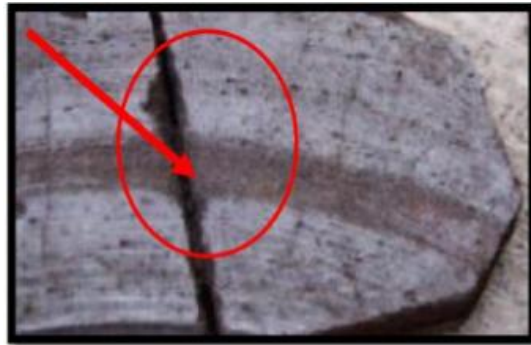
Une plaquette fuselée présente une épaisseur différente sur une extrémité de la plaquette et cause une pression de freinage non-uniforme et du bruit. Ceci est habituellement dû à un étrier déformé, un étrier collant ou un jeu trop important au niveau de l'étrier. Les plaquettes doivent être remplacées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



**Fig.III.10.**Plaquette Fuselées.

### **III.12.2.2. Usure non-uniforme**

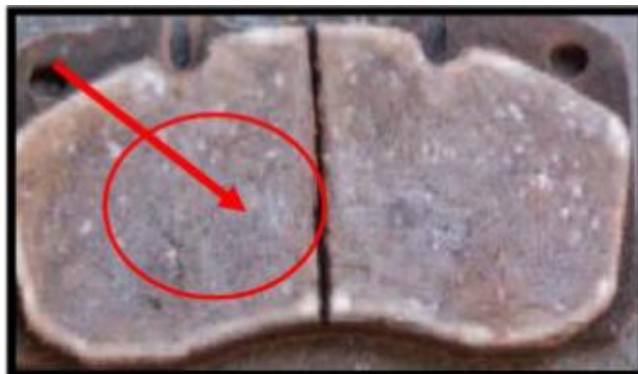
On observe des cannelures profondes sur une plaquette présentant une usure non-uniforme le long de sa surface (**fig.III.11**). Cela entraînera généralement des grincements et le broutage des freins.



**Fig.III.11.**Usure non-uniforme sur une plaquette.

### **III.12.2.3. Dénaturation**

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



**Fig.III.12.**Plaquette dénaturée.

### **III.12.2.4. Contamination de surface**

La plaquette de frein a été contaminée par de la graisse, de l'huile ou d'autres substances étrangères à cause de travaux d'entretien insuffisants, joints de l'arbre de transmission défectueux ou à cause d'une fuite du système de freinage hydraulique. Cela peut entraîner une importante réduction de la performance de freinage, il faut immédiatement changer les plaquettes.



**Fig.III.13.**Plaquette contaminé.

### **III.12.2.5.Plaquettes endommagée**

Une plaquette est généralement endommagée du fait d'une chaleur excessive qui rend le matériau de friction fragile et celui-ci commence à se casser (**Fig. .III.14**). Si ce problème survient, il est important d'identifier la cause de la chaleur excessive. Elle résulte généralement d'un système de freinage mal équilibré ou d'un étrier défectueux.



**Fig.III.14.**Plaquette endommagée.

### **III.12.2.6.Plaquettes Fissurées**

Petites fissures au centre des plaquettes, ceci est généralement causé par le grippement de l'étrier et lorsque le piston appuie sur le support de plaquette et le plie, ce qui entraîne des fissures au niveau du matériau de friction.Si ce problème survient, il est important d'effectuer des travaux de maintenance au niveau de l'étrier et de remplacer les plaquettes.



**Fig.III.15.**Plaquette Fissurée.

### III.12.2.7. Aspect vitreux

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



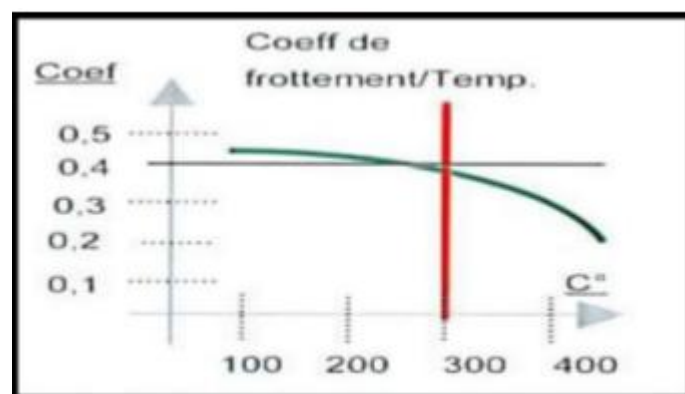
**Fig.III.16.**Plaquette vitreuse.

### III.13. Les causes des défaillances

L'une des principales causes de défaillance des disques de frein est la surchauffe. En cas de surchauffe, le disque de frein atteint une température critique, les plaquettes commencent à glisser et l'efficacité du freinage est réduite.

#### III.13.1. La Chaleur

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



**Fig.III.17.**Coefficient de frottement en fonction de température [18]

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

## CHAPITRE III Le freinage.

La chaleur cause une modification de l'état de surface du disque parce que ce dernier est altéré par une surchauffe, il est alors « glacé » et prend une couleur légèrement bleutée. Cette réaction à une chaleur excessive peut être comparée à une trempe ou à un traitement thermique, comme il est fréquent d'en voir dans les industries métallurgiques. Le mordant au freinage devient faible, la voiture semble vouloir glisser sans s'arrêter, alors qu'on est en train d'écraser la pédale. Il est tout à fait possible que ce phénomène touche également les plaquettes. Elles sont même généralement touchées avant le disque, car leur surface d'échange thermique est très faible. Une mauvaise utilisation lors du rodage de plaquettes neuves amène par exemple très souvent à un glaçage de ces dernières.[16]

### **III.14. Éviter la surchauffe des disques de frein**

Pour éviter une usure prématurée des disques de frein et assurer une excellente efficacité de freinage, il est recommandée de :

- remplacer les disques et les plaquettes de frein comme recommandé par le constructeur ;
- installer des pièces de bonne qualité ;
- remplacer les deux disques de frein d'un même essieu pour garder un freinage équilibré ;
- utiliser le frein moteur lors des descentes prolongées ;
- surveiller l'épaisseur des disques de frein.
- faire confiance à un garage pour faire les réparations ;
- surveiller l'épaisseur des disques de frein.

La durée de vie des disques de frein avant est de 30 000 à 40 000 km, et celle des disques de frein arrière est de 40 000 à 50 000 km. Cette durée de vie dépend du style de conduite. Une conduite agressive avec des accélérations et des freinages brutaux réduit la durée de vie des disques de frein.

### **III.15. Choix des matériaux**

Par rapport à l'acier, la céramique ou le carbone résistent beaucoup mieux à l'échauffement, et permettent donc un freinage performant et endurant. Ces matériaux sont cependant extrêmement chers, et le ressens à la pédale de frein est parfois déstabilisant, avec une sensation de mordant qui paraît être moins bonne que sur les modèles classiques en acier. Lorsque les disques sont froids, cette sensation est encore plus présente. Les systèmes carbone/céramique ont de plus la fâcheuse tendance à couiner et grincer très fort lorsqu'ils sont usés.

### **III.16. Normes sur le freinage de véhicule léger**

Une norme est un ensemble de règles, de spécifications ou de critères établis de manière consensuelle par des experts, des organismes de normalisation ou des autorités compétentes. Ces normes sont conçues pour assurer la qualité, la sécurité, la compatibilité ou la performance des produits, services ou processus dans divers domaines tels que l'industrie, la

## CHAPITRE III Le freinage.

technologie, la santé, l'environnement, et bien d'autres. Elles servent de référence pour garantir la conformité et la cohérence dans des secteurs variés.

### **III.16.1. La Norme ECE R90 (pour les pièces de rechange)**

Pendant de nombreuses années, les pièces de rechange pour les systèmes de freinage n'étaient soumises à aucune norme de qualité minimale. Or, les produits bon marché en provenance d'Extrême-Orient ne répondent parfois pas aux exigences élevées du marché européen. C'est pourquoi la norme ECE R90 a été adoptée il y a plus de 20 ans. Elle définit des critères de qualité très proches de ceux des pièces d'origine. Dans cet article, vous apprendrez à quelles exigences les disques et tambours de frein doivent répondre et comment reconnaître les pièces de rechange certifiées.

#### **III.16.1.1. Évolution de la norme ECE R90**

Le 1er avril 2001, la Commission Economique pour l'Europe (CEE) a introduit la norme R90. Celle-ci définit des exigences minimales concernant la fabrication de pièces de rechange pour freins. Les plaquettes et mâchoires de frein certifiées doivent présenter les mêmes performances que les pièces d'origine du constructeur automobile. L'efficacité du freinage et la résistance à la chaleur sont des critères importants. En novembre 2016, la norme ECE R90 a été étendue. Depuis, les exigences de qualité s'étendent également aux disques et aux tambours de frein.

La norme ECE R90 vise à améliorer la sécurité des consommateurs. Lorsque vous achetez des pièces de rechange pour vos freins, la certification vous permet de savoir immédiatement quels produits sont fiables pour une utilisation en Europe.

#### **III.16.1.2. Exigences de qualité relatives aux pièces de rechange pour freins selon la norme ECE**

Pour que les fabricants obtiennent la certification ECE R90 pour leurs produits, ils doivent non seulement prouver le respect des exigences minimales mais également soumettre leurs produits à des tests permanents. Les plaquettes et les patins de frein doivent par exemple répondre à ces exigences :

- Coefficient de frottement équivalent à celui de la pièce d'origine
- Capacité de charge mécanique, résistance à la pression et au cisaillement équivalent.
- Utilisation de matériaux exempts d'amiante
- Emballage scellé du produit
- Indication du numéro de contrôle ECE sur l'emballage et la pièce de rechange

Les disques et tambours de frein doivent passer différents contrôles et tests. Un test pratique sur banc d'essai exécute 70 freinages consécutifs de 80 à 10 km/h. Ce n'est que si les disques et tambours de frein passent ce test sans fissures, cassures ou autres dommages qu'ils obtiennent la certification. De même, il faut que l'effet de freinage soit maintenu à long terme.

## CHAPITRE III Le freinage.

À cela s'ajoutent d'autres tests, par exemple sur les coefficients de frottement des pièces de rechange.

Une fois la certification obtenue, les revendeurs doivent régulièrement faire effectuer des contrôles par des organismes de contrôle indépendants. Ceux-ci vérifient si les critères sont toujours remplis. Dans le cas contraire, ils retirent la certification au fabricant.

### **III.16.1.3. Trouver des pièces de rechange homologuées ECE R90**

Dans le commerce, on peut facilement reconnaître les pièces de rechange certifiées pour les freins grâce au code d'homologation. Celui-ci est figure sur l'emballage du produit et visible sur les pièces elles-mêmes. On peut ainsi facilement distinguer dans le magasin les pièces de rechange qui répondent aux normes européennes. Il existe un grand choix de pièces de rechange conformes à la norme ECE R90. De nombreux fabricants ont fait certifier une grande partie de leur offre.

Opter pour des pièces certifiées nous apporte plusieurs avantages :

- trouver sans difficulté des pièces de rechange adaptées et de haute qualité.
- Comparer les prix est un jeu d'enfant : les pièces certifiées sont faciles à comparer.

### **III.16.1.4. L'obligation de la norme ECE**

Il n'y a aucune obligation pour les fabricants de faire certifier leurs pièces à la norme ECE R90. Et on n'est pas obligé de recourir à des pièces de rechange certifiées. Il existe toutefois une exception à cette règle : si le lancement d'un modèle de véhicule a eu lieu après le 1er novembre 2016, seuls les disques et tambours de frein conformes à la norme ECE R90 peuvent être montés. En revanche, si votre véhicule est plus ancien, vous pouvez utiliser n'importe quel composant, qu'il soit certifié ou non. [14]

## **III.16.2. La norme n° 13-H**

### **III.16.2.1. Domaine d'application**

Le présent Règlement s'applique au freinage des véhicules des catégories M1 et N11. 1.2 Le domaine d'application du présent Règlement ne couvre pas:

- Les véhicules dont, par construction, la vitesse ne peut dépasser 25 km/h;
- Les véhicules aménagés pour être conduits par des invalides.

### **III.16.2.2. Demande d'homologation**

La demande d'homologation d'un type de véhicule en ce qui concerne le freinage est présenté par le constructeur du véhicule ou son représentant dûment accrédité.

## CHAPITRE III Le freinage.

Elle est accompagnée des documents mentionnés ci-après, en triple exemplaire, et des indications suivantes:

- Description du type de véhicule. Les numéros et/ou les symboles caractérisant le type du véhicule et le type de moteur doivent être indiqués;
- Bordereau des éléments, dûment identifiés, formant l'équipement de freinage;
- Schéma de l'ensemble de l'équipement de freinage et indication de la position de ses éléments sur le véhicule;
- Dessins détaillés relatifs à chaque élément afin de permettre facilement leur repérage et leur identification.
- Un véhicule, représentatif du type de véhicule à homologuer, doit être présenté au service technique chargé des essais d'homologation.

### III.16.2.3.Équipement de freinage

L'équipement de freinage doit être conçu, construit et monté de telle façon que, dans des conditions normales d'utilisation et en dépit des vibrations auxquelles il peut être soumis, le véhicule puisse satisfaire aux prescriptions du présent Règlement.

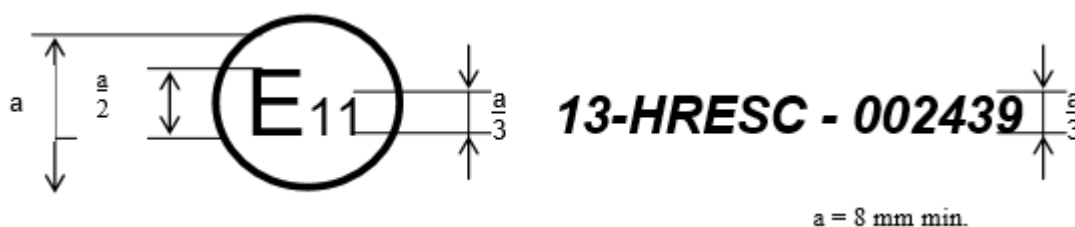
En particulier, l'équipement de freinage doit être conçu, construit et monté de façon à résister aux phénomènes de corrosion et de vieillissement auxquels il est exposé.

L'efficacité de l'équipement de freinage ne doit pas être entamée par des champs magnétiques ou électriques.

Un signal de détection de défaillance peut interrompre momentanément (<10 ms) le signal de demande de la transmission de commande, à condition que l'efficacité du freinage n'en soit pas altérée.

### III.16.2.4.Exemples de marque d'homologation

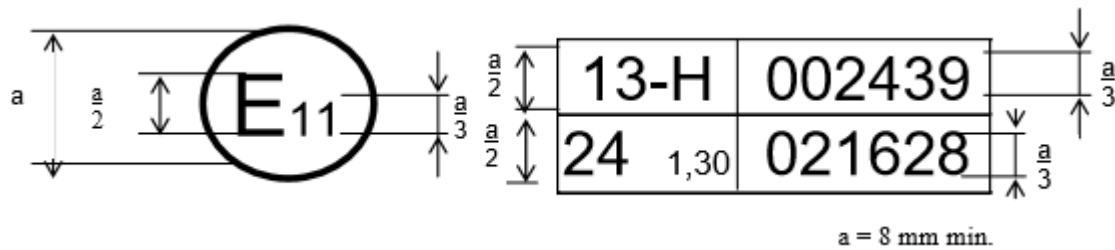
Model A :



La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un véhicule, indique que le type de ce véhicule a été homologué au Royaume-Uni (E11), en ce qui concerne le dispositif de freinage, en application du Règlement no 13-H, sous le numéro d'homologation 002439. Les deux premiers chiffres du numéro d'homologation indiquent que l'homologation a été délivrée conformément aux prescriptions du Règlement no 13-H sous sa forme originale. La marque supplémentaire «ESC» indique que le véhicule satisfait aux prescriptions en matière de contrôle électronique de stabilité et de système d'aide au freinage.

## CHAPITRE III Le freinage.

Model B :



La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un véhicule, indique que le type de ce véhicule a été homologué au Royaume-Uni (E11), en application des Règlements nos 13-H et 241. (Dans le cas de ce dernier Règlement, la valeur corrigée du coefficient d'absorption est 1,30 m-1.) Les numéros d'homologation signifient qu'aux dates de délivrance des homologations respectives le Règlement no 13-H existaient sous sa forme originale et que le Règlement no 24 comprenait la série 02 d'amendements.[15]

### **III.16.3.La norme ISO 6310:2001**

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

La Norme internationale ISO 6310 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 22, Véhicules routiers, sous-comité SC 2, Systèmes de freinage et équipements.

#### **III.16.3.1.Domaine d'application**

La Norme internationale **ISO 6310** spécifie une méthode d'essai et de mesure de la compressibilité des garnitures de frein. Elle est applicable aux plaquettes de freins à disque, aux segments de freins à tambour ainsi qu'aux matériaux de friction sans support, utilisés dans les véhicules routiers.[13]

### **III.17.Conclusion**

Ce chapitre a permis de décrire les principales forces appliquées lors de freinage et de montrer les différentes technologies de freinage. Finalement nous a donné des structures pour éviter les défaillances des pièces de rechange (plaquettes, disques) et quelques normes internationales sur le freinage. Des essais de freinage ont été effectués par des experts et des outils dans des situations différentes afin d'obtenir ces normes, c'est ce qu'on va étudier dans le chapitre suivant

## **. IV.1.Introduction**

Les essais de freinage sont des procédures conçues pour évaluer la performance et l'efficacité des systèmes de freinage d'un véhicule, tels que les freins à disque et les freins à tambour. C'est un élément crucial de la sécurité automobile. Dans un monde où la sécurité routière est une préoccupation majeure, comprendre et améliorer les capacités de freinage des automobiles est essentiel. Cette étude explorera les différentes méthodes d'essai de freinage, leur importance pour la sécurité des conducteurs et des passagers, ainsi que les technologies innovantes qui contribuent à l'amélioration constante de cette composante fondamentale de nos véhicules.

## **IV.2.Importance des essais de freinage**

L'importance des essais de freinage réside dans plusieurs aspects :

- **Sécurité routière** : Les essais de freinage sont essentiels pour garantir que les véhicules peuvent s'arrêter de manière sûre et rapide en cas d'urgence. Cela contribue directement à la sécurité des conducteurs, des passagers et des autres usagers de la route.
- **Conformité aux normes** : Les véhicules doivent respecter des normes de sécurité strictes. Les essais de freinage sont nécessaires pour s'assurer que les freins d'un véhicule répondent à ces normes et aux réglementations gouvernementales.
- **Performance du véhicule** : Des freins efficaces améliorent la maniabilité et le contrôle du véhicule, ce qui est essentiel pour éviter les accidents. Les essais de freinage permettent de mesurer la performance des freins dans différentes conditions de conduite.
- **Durabilité et fiabilité** : Les essais de freinage aident à évaluer la durabilité des composants de freinage et leur résistance à l'usure. Cela permet de prévenir les défaillances potentielles et de prolonger la durée de vie des freins.
- **Innovation technologique** : Les essais de freinage sont également essentiels pour le développement de nouvelles technologies, telles que les systèmes de freinage antiblocage (ABS) et les systèmes de freinage automatique d'urgence (AEB), qui améliorent la sécurité routière.

## **IV.3.Conditions d'essais de freinage générales**

Tout véhicule doit satisfaire aux exigences d'efficacité dans les conditions suivantes et conformément aux méthodes et à l'ordre des essais prescrits. Si plusieurs conditions sont stipulées, le véhicule doit pouvoir satisfaire aux exigences dans toutes ces conditions.

### **IV.3.1.Conditions ambiantes**

- **Température ambiante** : La température ambiante doit être comprise entre 0°C (32°F) et 40°C (104°F).
- **Vitesse du vent** : La vitesse du vent ne doit pas être supérieure à 5 m/s (11,2 mi/h).

### IV.3.2. Surface d'essai de la chaussée

- **Friction de la chaussée** : À moins d'indication contraire, la surface de la chaussée doit avoir un coefficient maximal de friction équivalant à 0,9 lorsque mesuré au moyen d'un pneu d'essai qui répond aux exigences de la norme E1136-93 de l'ASTM (approuvée de nouveau en 2003).
- **Pente** : Sauf pour les essais d'immobilisation en pente à l'aide du frein de stationnement, la surface d'essai ne doit pas avoir une pente supérieure à 1 % dans la direction de l'essai, ni supérieure à 2 % dans le sens perpendiculaire à la direction de l'essai.
- **Largeur de la chaussée** : Les essais routiers doivent être exécutés sur une chaussée dont la largeur est de 3,5 m (11,5 pi).

### IV.3.3. État du véhicule :

- **Masse de véhicule** : Pour les essais au PNBV, le véhicule doit être chargé à son PNBV de sorte que le poids sur chaque essieu, mesuré au point de contact pneu-sol, soit proportionnel au PNBE du véhicule, le réservoir de carburant étant plein.

Pour les essais à la masse avec charge légère, le véhicule doit être à sa masse avec charge légère, de sorte que la charge supplémentaire soit répartie dans la zone du siège du passager avant du véhicule.

- **Remplissage du réservoir de carburant** : Au début de l'essai, le réservoir de carburant doit être plein et il doit toujours être rempli à au moins 75 % de sa capacité à tout moment de l'essai.
- **Préparation des garnitures de frein** : Au cours des préparatifs en vue des essais routiers, les freins du véhicule doivent être dans le même état qu'au moment de la fabrication du véhicule. Aucun rodage ni autre préparatif n'est autorisé, à moins que les véhicules vendus aux particuliers soient préparés de la même façon dans le cadre de leur construction.
- **Réglages et réparations** : Les exigences doivent être satisfaites sans qu'on ait à remplacer une partie quelconque du système de freinage. Si les freins doivent être réglés, y compris les freins de stationnement, conformément aux recommandations du fabricant. Aucun réglage des freins n'est autorisé pendant ni entre les essais prescrits.
- **Attrapeurs automatiques d'usure des garnitures** : Les attrapeurs d'usure des garnitures doivent fonctionner tout au long des essais. Les attrapeurs peuvent être réglés manuellement ou par d'autres moyens, selon les recommandations du fabricant, seulement au début de l'essai routier.
- **Dispositif de frein antiblocage (ABS)** : Si le véhicule est muni de freins ABS, ces freins doivent fonctionner correctement au cours de tous les essais, sauf lorsque prescrit autrement dans les sections suivantes.

## CHAPITRE IV Essais de freinages.

- **Soupape du compensateur de freinage** : Si le véhicule est muni d'un compensateur de freinage, la soupape de compensation doit fonctionner correctement au cours de tous les essais, sauf dans le cas de l'essai avec compensateur de freinage défectueux.
- **Pression de gonflage des pneus** : La pression de gonflage des pneus doit être la pression recommandée par le fabricant pour le PNBV du véhicule.
- **Moteur** : Les réglages de l'allumage et de la vitesse de ralenti du moteur doivent correspondre à ceux recommandés par le fabricant. Si le véhicule est muni d'un régulateur de régime du moteur réglable, le réglage doit être celui qui est recommandé par le fabricant.
- **Ouvertures du véhicule** : Toutes les ouvertures du véhicule (portes, glaces, capot, coffre à bagages, toit ouvrant, ouvertures de chargement, etc.) doivent être fermées, sauf celles requises pour l'installation d'instruments.
- **État de charge des batteries de véhicules électriques** : L'état de charge des batteries de propulsion est déterminé conformément aux exigences de la pratique recommandée J227a (1976) de la SAE.
- **État de charge des batteries des freins de service électriques** : Les véhicules équipés de freins de service électriques doivent aussi être assujettis à la série d'essais.
- **Véhicules électriques** : Dans le cas des véhicules électriques équipés d'un système RBS qui fait partie du système de frein de service, le RBS doit fonctionner pendant la séance de rodage et tous les essais, sauf celui qui exige que le RBS soit hors service.

### **IV.4. Instruments**

#### **IV.4.1. Mesure de la température aux freins**

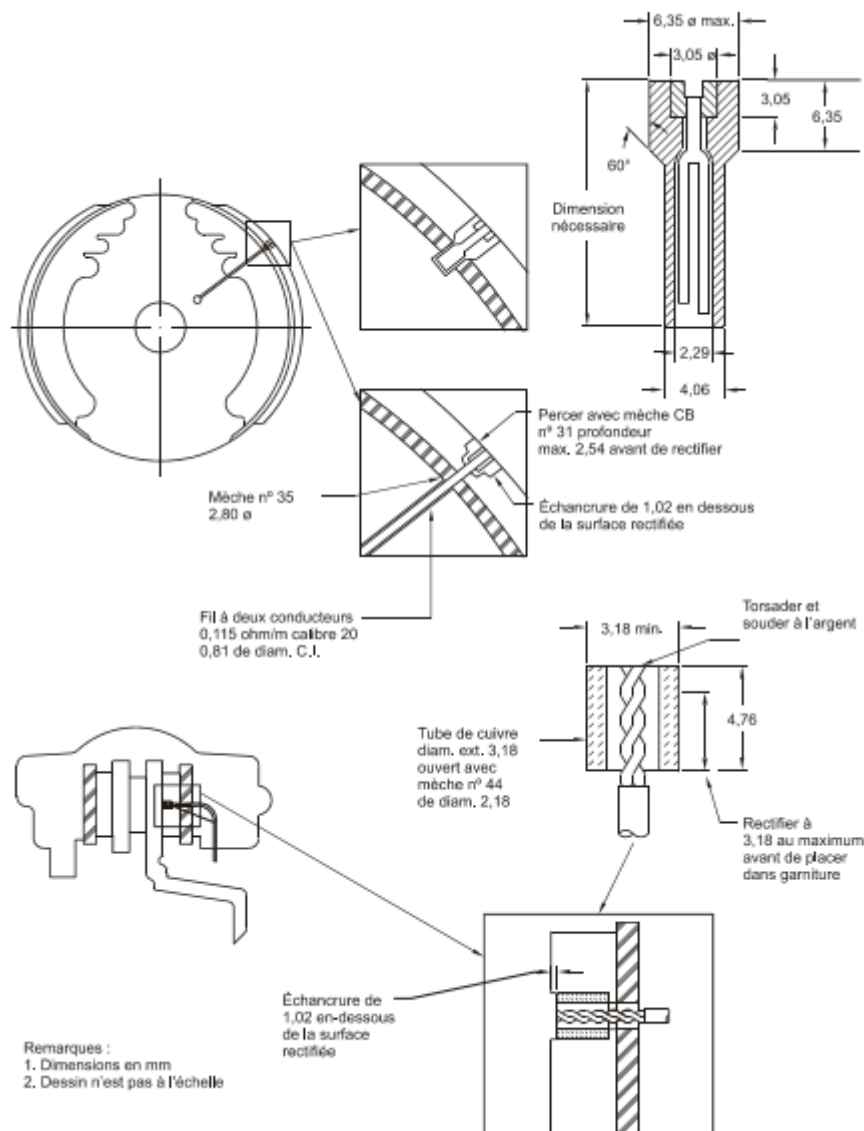
On mesure la température aux freins au moyen de thermocouples enfichables montés à peu près au centre de la longueur et de la largeur de la garniture du disque ou du segment de frein le plus fortement chargé, un par frein, comme le montre la figure 1. Un deuxième thermocouple peut être monté au début de l'essai au cas où l'usure de la garniture soit suffisante pour que le premier thermocouple entre en contact avec la surface métallique de frottement d'un tambour ou d'un disque. Dans le cas des garnitures munies d'une rainure centrale, les thermocouples sont montés à une distance comprise entre 3 mm (0,12 po) et 6 mm (0,24 po) de la rainure, aussi près que possible du centre.

#### **IV.4.2. Mesure de la pression dans la conduite de frein en vue de l'essai avec roue de mesure**

Chaque circuit hydraulique du véhicule doit être muni de transducteurs de pression. Sur les circuits hydrauliques compensés, le transducteur de pression doit se trouver en aval de la soupape de compensation en service.

### IV.4.3. Mesure du couple de freinage en vue de l'essai avec roue de mesure

Chaque roue du véhicule doit être munie d'une roue de mesure, y compris de bagues collectrices et d'indicateurs de vitesse de la roue, permettant de détecter tout blocage d'une roue donnée.



**Fig.IV.1.** Installations typiques de thermocouples enfichables.

Le deuxième thermocouple doit être installé à une profondeur de 2,03 mm (0,08 po) à 25,4 mm (1 po) ou moins d'un côté ou l'autre (dans le sens de la circonférence) du thermocouple installé à une profondeur de 1,02 mm (0,04 po).

### IV.5. Procédures et conditions

- **Commande de frein :** Toutes les exigences d'efficacité du système de frein de service, relativement au système de frein partiel, doivent être satisfaites uniquement avec l'emploi de la commande des freins de service.

## CHAPITRE IV Essais de freinages.

- **Vitesses d'essai** : Si un véhicule ne peut atteindre la vitesse d'essai prescrite, il doit être soumis aux essais à une vitesse égale à un multiple de 5 km/h (3,1 mi/h) qui est de 4 à 8 km/h (2,5 à 5,0 mi/h) inférieure à sa vitesse maximale et il doit pouvoir s'arrêter sur la distance d'arrêt exprimée par la formule prévue pour cette exigence.
- **Distance d'arrêt** : Pour calculer l'efficacité de freinage d'un véhicule, il faut en mesurer la distance d'arrêt à une vitesse initiale donnée.
- **Commande de la boîte de vitesses** Pendant les essais lorsque la commande de la boîte de vitesses est placée au point mort, tout arrêt ou ralentissement doit s'effectuer conformément aux méthodes suivantes :
  - Dépasser la vitesse d'essai de 6 à 12 km/h (3,7 à 7,5 mi/h).
  - Fermer la commande des gaz et laisser rouler le véhicule alors que la commande de la boîte de vitesses est en prise jusqu'à environ 3 km/h (1,9 mi/h) au-dessus de la vitesse d'essai.
  - Mettre la commande de la boîte de vitesses au point mort (« N »).
  - Lorsque la vitesse d'essai est atteinte, serrer les freins.
- **Température initiale des freins** : Au premier arrêt de l'essai de freinage (autre que l'essai de maintien du frein de stationnement en pente), si la température initiale minimale au frein n'est pas atteinte, il faut réchauffer les freins à leur température initiale en les serrant une ou plusieurs fois à 50 km/h (31,1 mi/h), la décélération n'étant pas supérieure à 3 m/s<sup>2</sup> (9,8 pi/s<sup>2</sup>).

### **IV.6. Procédures d'essais routiers et exigences relatives à l'efficacité**

Tout véhicule doit satisfaire à toutes les exigences pertinentes de la présente section, s'il subit des essais conformément aux conditions et aux méthodes établies ci-après, selon la séquence prescrite au tableau (**Tab.IV.1**) :

Ordre des essais
<b>Véhicule à son PNBV</b> 1 Rodage 2 Blocage des roues
<b>Véhicule à sa masse avec charge légère</b> 3 Blocage des roues 4 Efficacité des freins 5 Roue de mesure
<b>Véhicule à son PNBV</b> 6 Roue de mesure 7 Efficacité à froid 8 Efficacité à haute vitesse 9 Arrêts avec moteur coupé
<b>Véhicule à sa masse son poids avec charge légère</b> 10 Efficacité à froid 11 Efficacité à haute vitesse 12 Défaillance du système ABS 13 Défaillance de la soupape de compensation 14 Défaillance partielle
<b>Véhicule à son PNBV</b> 15 Défaillance partielle 16 Défaillance du système ABS 17 Défaillance de la soupape de compensation 18 Défaillance d'une unité de servofrein 19 Frein de stationnement 20 Ralentissements de réchauffage 21 Efficacité à chaud 22 Refroidissement des freins 23 Efficacité en récupération 24 Inspection finale.

**Tab.IV.1.**Calendrier des essais routiers.[15]

### **IV.6.1.Rodage**

Toute vérification des instruments avant les essais doit s'effectuer dans le cadre du rodage, y compris la contre-vérification après les réparations, les remplacements ou les réglages nécessaires.

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : en prise.

### **IV.6.2. Blocage des roues**

Cet essai vise à s'assurer que le blocage des roues avant se produit soit simultanément avec le blocage des roues arrière, soit avec une décélération inférieure à celle des roues arrière, quand le véhicule subit un essai sur une surface dont l'adhérence permet le blocage du premier essieu lorsque le taux de freinage est compris entre 0,15 et 0,80 inclusivement.

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV et masse avec charge légère.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

### **IV.6.3. Efficacité du système ABS**

La série d'essais comprend les essais suivants, qui peuvent être exécutés dans un ordre quelconque :

a) Freinage sur revêtement à forte adhérence
b) Freinage sur revêtement à faible adhérence
c) Contrôle du blocage des roues sur revêtement à forte adhérence et à faible adhérence
d) Contrôle du blocage des roues lors du passage d'un revêtement à forte adhérence à un revêtement à faible adhérence
e) Contrôle du blocage des roues lors du passage d'un revêtement à faible adhérence à un revêtement à forte adhérence
f) Freinage avec défaillance électrique de l'ABS

#### **Conditions concernant le véhicule :**

- État légèrement chargé
- Moteur débrayé.

### **IV.6.4. Utilisation de l'adhérence (méthode avec roue de mesure)**

Cet essai vise les véhicules sans freins ABS. Il est destiné à calculer l'utilisation de l'adhérence d'un véhicule.

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV et masse avec charge légère.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).
- Pneus : aux fins de l'essai, un jeu de pneus distincts.

## CHAPITRE IV Essais de freinages.

### **Exigences relatives à l'efficacité :**

Pour tous les taux de freinage compris entre 0,15 et 0,80, chaque diagramme d'adhérence d'un essieu arrière doit se trouver sous la ligne définie par  $z = 0,9 k$ , où  $z$  représente le taux de freinage et  $k$ , le coefficient maximal de friction.

### **IV.6.5.Efficacité à froid**

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV et masse avec charge légère.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

#### **Exigences relatives à l'efficacité :**

- Distance d'arrêt à 100 km/h (62,1 mi/h) :  $\leq 70$  m (230 pi).
- Distance d'arrêt à vitesse réduite :  $S \leq 0,10V + 0,0060V^2$ .

### **IV.6.6.Efficacité à haute vitesse**

Cet essai n'a pas lieu si la vitesse maximale du véhicule est égale ou inférieure à 125 km/h (77,7 mi/h).

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV et masse avec charge légère.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : en prise.

#### **Exigences relatives à l'efficacité :**

Distance d'arrêt :  $S \leq 0,10V + 0,0067V^2$ .

### **IV.6.7.Arrêts avec moteur coupé**

Cet essai s'applique aux véhicules munis d'une ou de plusieurs unités de servofrein ou d'une ou de plusieurs unités d'assistance de frein. Cet essai s'applique aussi aux véhicules électriques.

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : au point mort (« N »).
- Moteur du véhicule : coupé (arrêté).

## CHAPITRE IV Essais de freinages.

- Position de la clé de contact : la clé peut être ramenée à la position « on » une fois le moteur coupé ou un dispositif de coupure du moteur peut être employé alors que la clé de contact demeure à la position « on ».

### **Exigences relatives à l'efficacité :**

- Distance d'arrêt à 100 km/h (62,1 mi/h) :  $\leq 70$  m (230 pi).
- Distance d'arrêt à vitesse réduite :  $S \leq 0,10V + 0,0060V^2$ .

### **IV.6.8. Défaillance de fonctionnement du dispositif de frein antiblocage**

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV et masse avec charge légère.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

#### **Exigences relatives à l'efficacité :**

- Distance d'arrêt à 100 km/h (62,1 mi/h) :  $\leq 85$  m (279 pi).
- Distance d'arrêt à vitesse réduite :  $S \leq 0,10V + 0,0075V^2$ .

### **IV.6.9. Défaillance de fonctionnement du compensateur de freinage**

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV et masse avec charge légère.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

#### **Exigences relatives à l'efficacité**

- Distance d'arrêt à 100 km/h (62,1 mi/h) :  $\leq 110$  m (361 pi).
- Distance d'arrêt à vitesse réduite :  $S \leq 0,10V + 0,0100V^2$ .

### **IV.6.10. Défaillance partielle**

Cet essai s'applique aux véhicules munis ou non d'un système de frein de service partagé.

#### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV et masse avec charge légère.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

#### **Exigences relatives à l'efficacité**

- Distance d'arrêt à 100 km/h (62,1 mi/h) :  $\leq 168$  m (551 pi).
- Distance d'arrêt à vitesse réduite :  $S \leq 0,10V + 0,0158V^2$ .

#### **IV.6.11. Unité de servofrein ou unité d'assistance de frein inopérante (système privé de sa capacité de freinage)**

Cet essai s'applique aux véhicules munis d'une ou de plusieurs unités de servofrein ou d'une ou de plusieurs unités d'assistance de frein.

##### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

##### **Exigences relatives à l'efficacité**

Distance d'arrêt à 100 km/h (62,1 mi/h) :  $\leq 168$  m (551 pi).

Distance d'arrêt à vitesse réduite :  $S \leq 0,10V + 0,0158V^2$ .

#### **IV.6.12. Frein de stationnement**

##### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

##### **Exigences relatives à l'efficacité :**

Le système de frein de stationnement doit maintenir le véhicule immobile pendant 5 minutes sur une pente, tant en direction avant qu'en direction arrière.

#### **IV.6.13. Ralentissements de réchauffage**

Les ralentissements visent à réchauffer les freins en vue de l'essai d'efficacité à chaud.

##### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : en prise.

#### **IV.6.14. Essai d'efficacité à chaud**

L'essai d'efficacité à chaud doit s'effectuer immédiatement après le quinzième ralentissement de réchauffage.

##### **Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

#### **IV.6.15. Arrêts de refroidissement des freins**

**Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : en prise.

#### **IV.6.16. Essai d'efficacité en récupération**

L'essai d'efficacité en récupération doit s'effectuer immédiatement après les arrêts de refroidissement des freins.

**Conditions visant le véhicule :**

- Charge du véhicule : PNBV seulement.
- Position de la commande de la boîte de vitesses : point mort (« N »).

#### **IV.6.17. Inspection finale**

- Le système de frein de service pour s'assurer qu'il n'y a pas séparation ou rupture des éléments comme des ressorts et des segments de frein ou des garnitures de plaquettes de frein à disque;
- La surface de friction des freins, le couvercle du réservoir du maître-cylindre ou de l'unité de servofrein, le joint et les orifices de remplissage pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuite de liquide ou de lubrifiant;
- Le réservoir du maître-cylindre ou de l'unité de servofrein pour s'assurer qu'il est conforme aux exigences en matière de volume et d'étiquetage ;
- Les indicateurs de fonctionnement du système de freinage pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement selon les positions de la clé de contact, et que la couleur de leur lentille, les étiquettes et leur emplacement sont conformes aux exigences .

#### **IV.7. Conclusion**

Les essais de freinage fournissent une base solide pour assurer la sécurité sur la route et encouragent une maintenance préventive rigoureuse

## V.1-Introduction

La conception est le processus de création, de planification et de développement d'un produit, d'un système ou d'une solution. Elle implique la génération d'idées, la prise en compte des contraintes et des besoins, et la création de modèles ou de schémas pour représenter le produit final.

La simulation, quant à elle, est une technique utilisée pour modéliser et analyser le comportement d'un système ou d'un processus. Elle permet de simuler des conditions réelles ou hypothétiques afin d'évaluer les performances, d'optimiser les paramètres et de prendre des décisions éclairées.

En résumé, la conception est le processus créatif de développement d'un produit, tandis que la simulation est l'outil utilisé pour évaluer et analyser son comportement avant sa réalisation concrète.

## V.2.La conception assistée par ordinateur (CAO) :

### V.2.1-Historique :

La CAO décolle dans les années 75-90, lorsque le coût de mise en place d'un poste se rapprocha du coût annuel d'un dessinateur.

Lorsque les premiers systèmes de CAO ont été développés pour aider les ingénieurs à concevoir et à modéliser des pièces et des assemblages. Au fil des décennies, la CAO a connu une évolution rapide, avec l'introduction de fonctionnalités avancées, de meilleures performances et une intégration plus étroite avec d'autres technologies telles que la simulation et la fabrication assistée par ordinateur (FAO). Aujourd'hui, la CAO est devenue une partie essentielle du processus de conception dans de nombreux domaines, de l'architecture à l'ingénierie mécanique.

### V.2.2-Définition :

La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) est une méthode qui utilise des logiciels spécialisés pour créer, modifier et optimiser des modèles en 2D ou en 3D. Elle permet aux concepteurs et aux ingénieurs de concevoir et de visualiser des produits de manière virtuelle avant de les fabriquer physiquement.

**V.2.3-L'informatique et l'aide à la conception :** L'informatique a joué un rôle essentiel dans l'aide à la conception, en particulier avec l'avènement de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Les logiciels de CAO utilisent des algorithmes et des modèles mathématiques pour faciliter la création, la modification et l'optimisation de dessins et de modèles en 2D ou en 3D. Grâce à l'informatique, les concepteurs et les ingénieurs peuvent utiliser des outils de CAO pour réaliser des tâches qui étaient autrefois longues et laborieuses, telles que la création de dessins précis, la simulation de comportements, la détection d'erreurs et la gestion des données techniques. Les logiciels de CAO offrent également des fonctionnalités avancées telles que la visualisation en 3D, l'analyse de résistance et la génération automatique de rapports.

**V.2.4-Domains connexes :**

Dans le domaine de la conception assistée par ordinateur (CAO), il existe plusieurs domaines connexes tels que la modélisation 3D, la simulation numérique, la fabrication assistée par ordinateur (FAO), l'impression 3D et la réalité virtuelle. Ces domaines complémentaires permettent d'explorer et d'optimiser davantage le processus de conception.

**V.2.5-La CAO et la mécanique :**

La CAO et la mécanique sont étroitement liées ! La CAO permet aux ingénieurs mécaniques de concevoir et de modéliser des pièces, des assemblages et des systèmes mécaniques de manière précise et efficace. Cela facilite la visualisation, l'analyse et la simulation de ces conceptions avant leur fabrication. C'est un outil essentiel pour l'innovation et l'amélioration des produits mécaniques. Les logiciels modernes permettent une conception directe en trois dimensions et sont surtout intéressants pour les fonctionnalités proposées. Ces progrès fonctionnels et ergonomiques sont notamment dus aux évolutions des modèles produit/processus sous-jacents, selon la progression temporelle suivante [Année des systèmes pionniers - Année des systèmes totalement vulgarisés] :

[1950-1970] 1<sup>re</sup> génération de CAO 2D : Graphic-based (ex. : système graphique AutoCAD);

[1960-1980] 2<sup>e</sup> génération de CAO 2,5D : Depth-based (ex. : systèmes de génie civil MicroStation, Cadwork),

[1970-1990] 3<sup>e</sup> génération de CAO 3D : Geometry-based (ex. : système de CSG Euclid),

[1980-2000] 4<sup>e</sup> génération de CAO 3,5D : Feature-based (ex. : système paramétrique Pro/Engineer), et de manière récente :

[1990-2010] 5<sup>e</sup> génération de CAO 4D 1,2 : Rule-based (ex. : système à base de déductions KADviser)

[2000-2020] 6<sup>e</sup> génération de CAO 5D : Induction-based (ex. : système à base d'inductions KAD-Office).

Ces logiciels aident non seulement à la création des pièces mécaniques, ou à la mise en œuvre de leur fabrication, mais aussi à la simulation de leur comportement, et donc à la validation des solutions retenues.

Une fois la création terminée, l'exécution automatique de plans, respectant les conventions de représentation et visuellement corrects est facile

Le passage en mode 2D n'est plus ressort du dessinateur à la différence avec le dessin assisté par ordinateur qui demande de maîtriser à la fois, et en même temps, le fond (ce qu'on veut représenter) et la forme (le trait sur le plan), notions qui sont indépendantes pour le logiciel. La réalisation de plans techniques permettant la compréhension du fonctionnement reste toujours plus laborieuse.

La cotation fonctionnelle, et la cotation sur le principe de l'indépendance sont désormais plus faciles avec les outils logiciels en conception paramétrique. Ce qui a été pensé lors de la conception de la pièce est répercuté à la bonne cote lors de la mise en plan. [19]

## V.2.6-Logiciel utilisé

### V.2.6.1.SOLIDWORKS

SOLIDWORKS est un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) largement utilisé dans le domaine de l'ingénierie mécanique. Il permet de concevoir, modéliser et simuler des pièces, des assemblages et des systèmes mécaniques en 3D. SolidWorks offre des fonctionnalités avancées pour la création de dessins techniques, l'analyse de contraintes, la gestion des données et bien plus encore.



**Fig.V.1:** Logo SOLIDWORKS.

### V.2.6.2.Historique :

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes<sup>3</sup>.

Parmi les plus grandes organisations utilisant SolidWorks, on peut citer Franckie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, MegaBlocs, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud, Lorenz Baumer<sup>4</sup>, l'Opéra de Paris<sup>4</sup>, Jtekt<sup>4</sup>, GTT<sup>4</sup> et le Ministère de l'Éducation nationale français.

### V.2.6.3-Fonctionnement :

Le fonctionnement de SolidWorks est basé sur une interface conviviale et des outils intuitifs. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan, vous pouvez commencer par créer des esquisses en 2D, puis les extruder pour créer des solides en 3D. En utilisant des fonctionnalités telles que les contraintes, les relations et les dimensions, vous pouvez précisément définir la géométrie de vos modèles.

SolidWorks offre également des fonctionnalités avancées telles que l'analyse de contraintes, la simulation de mouvement et la génération de dessins techniques. C'est un logiciel polyvalent et puissant pour la conception mécanique.

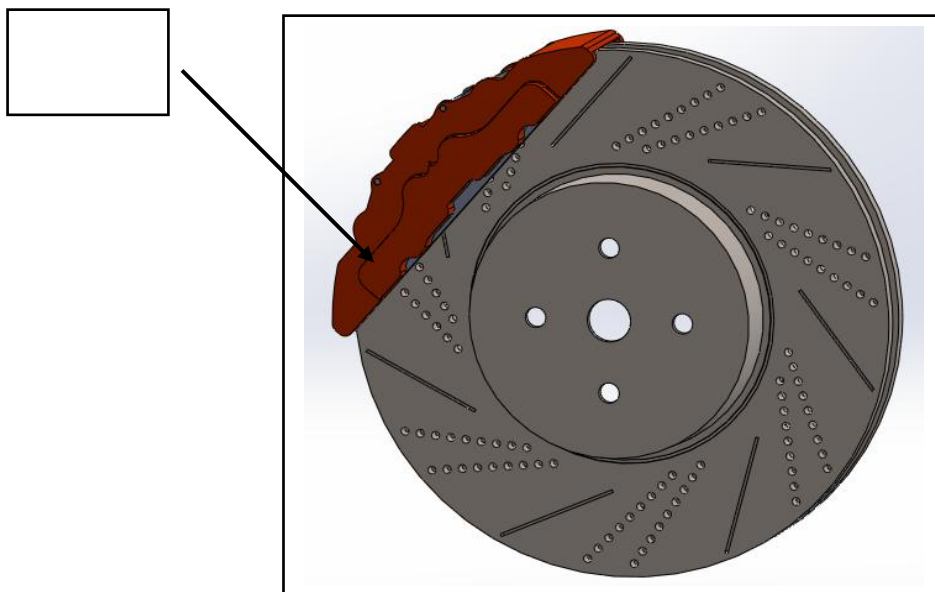
<b>Développé par</b>	Dassault Systèmes SE
<b>Première version</b>	21 mars 1995
<b>Version utilisé pour ma conception</b>	SOLIDWORKS 2016 x64 Edition
<b>Écrit-en</b>	Visual Basic
<b>Système d'exploitation</b>	Microsoft Windows
<b>Langues</b>	Multilingue
<b>Type</b>	Logiciel de conception assistée par ordinateur
<b>Licence</b>	Licence de logiciel propriétaire
<b>Site web</b>	<a href="http://www.solidworks.com">www.solidworks.com</a>

**Tab.V.1:** Information sur le logiciel utilisé pour la conception.

### V.3. Conception des composants du système de frein disque

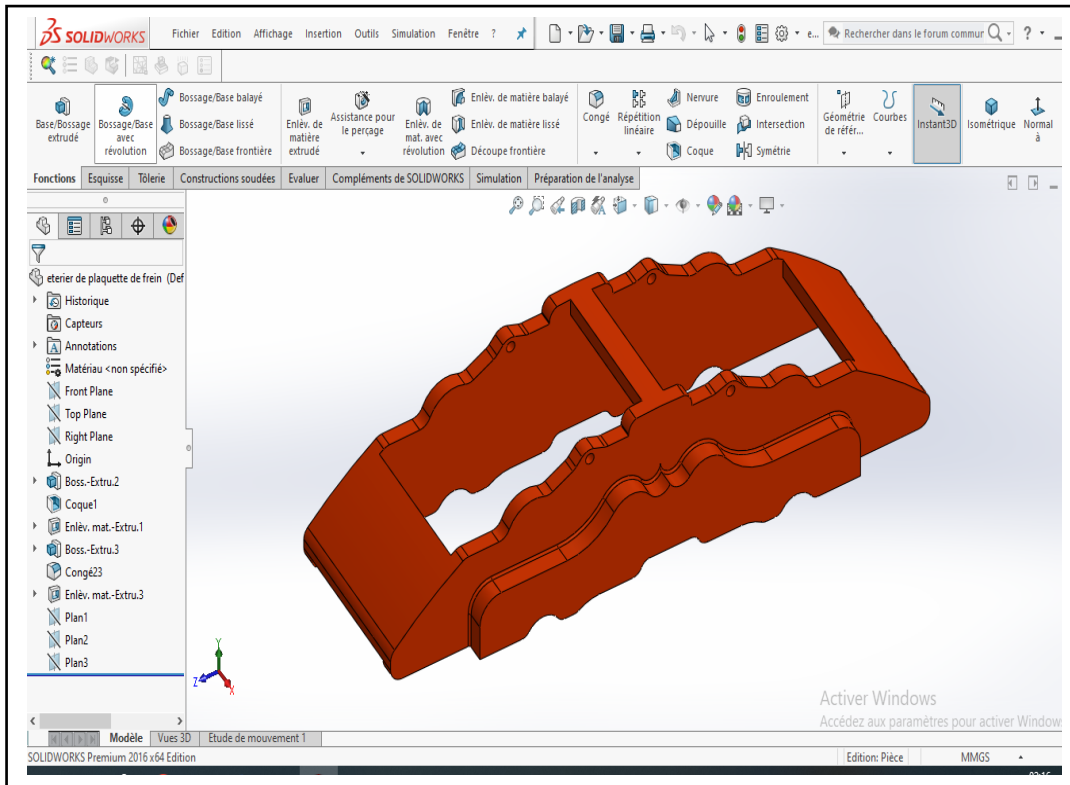
#### V.3.1-L'étrier

L'étrier de frein est une pièce mécanique faisant partie intégrante du système de freinage. Il exerce une pression sur les plaquettes contre le disque afin de ralentir la roue



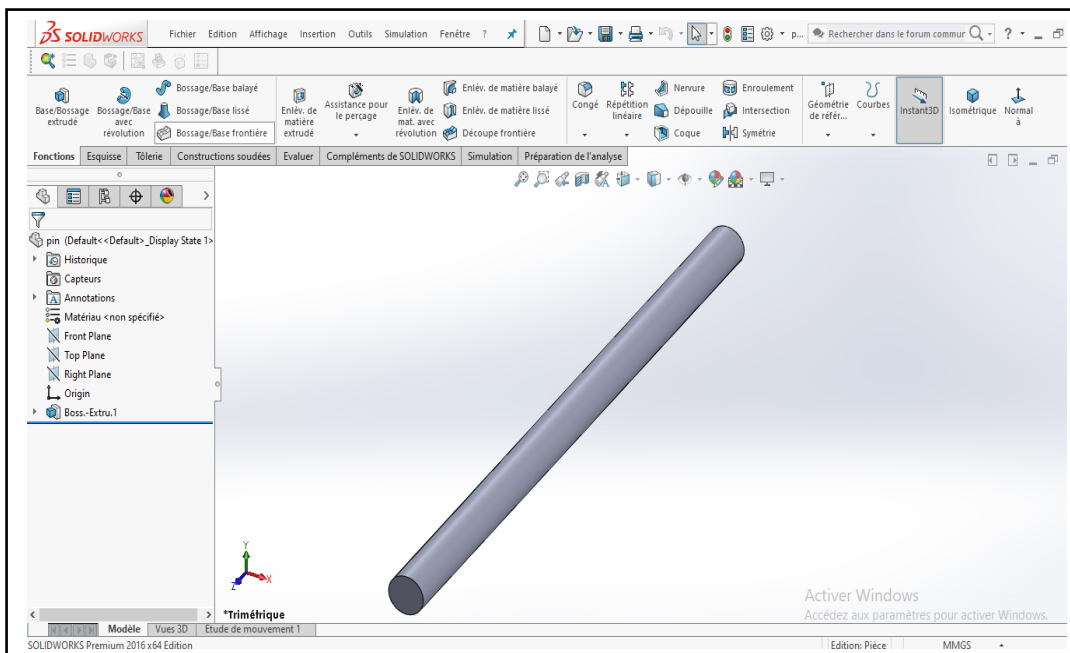
**Fig.V.2 :** La position de l'étrier de frein dans le mécanisme en 3D.

**V.3.1.1. Présentation de l'étrier en 3D sous Solidworks :**



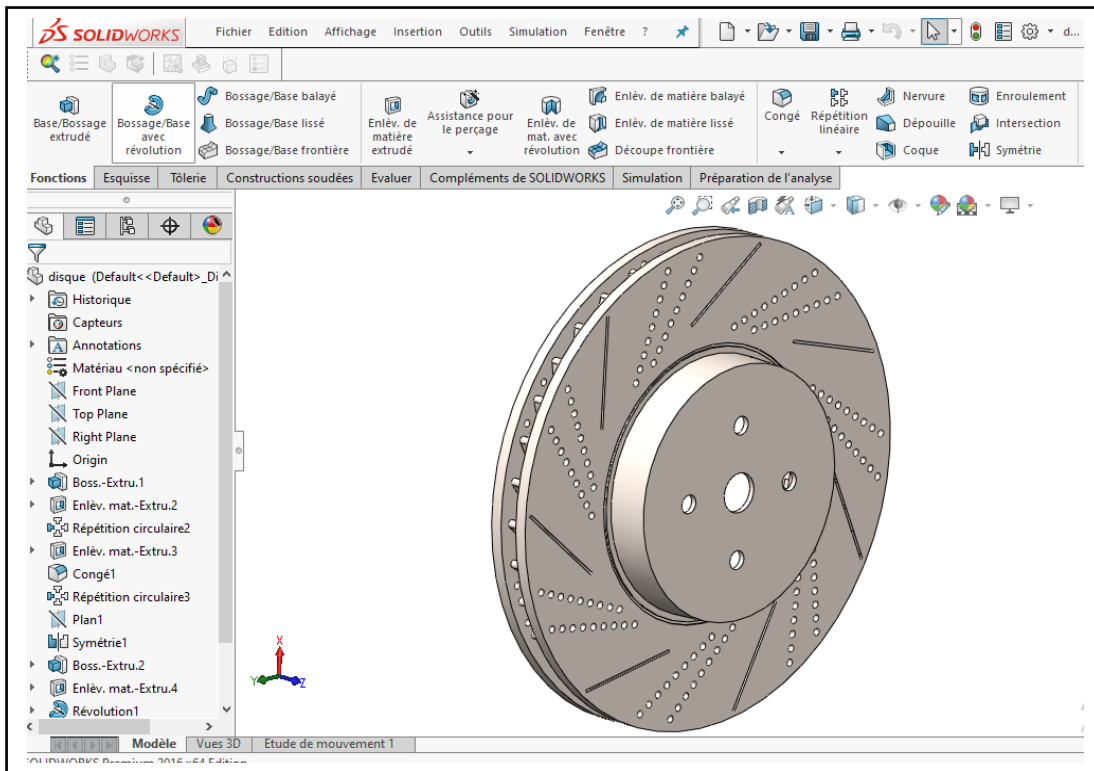
**Fig.V.3:** Modèle 3D de l'Etrier de frein sous SolidWork.

**V.3.2. Présentation des Pins de la plaquette en 3D sous SolidWorks**



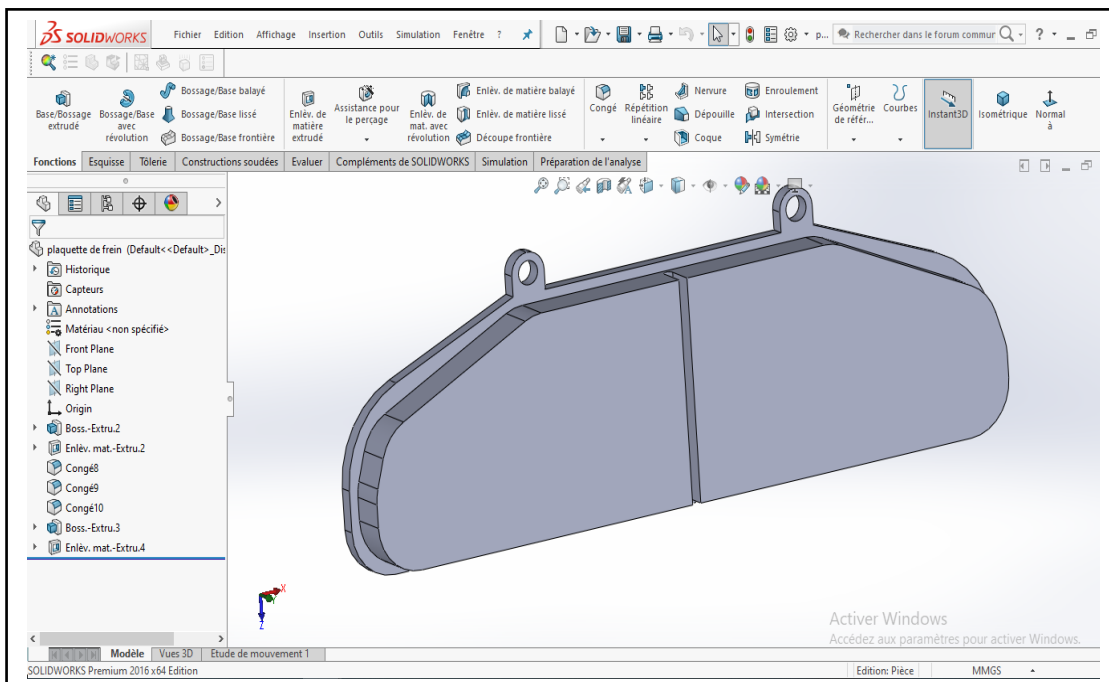
**Fig.V.4 :** Modèle 3D des Pins de la plaquette sous-SolidWork.

**V.3.3-Présentation de disque de freinen 3D sous-Solidworks :**

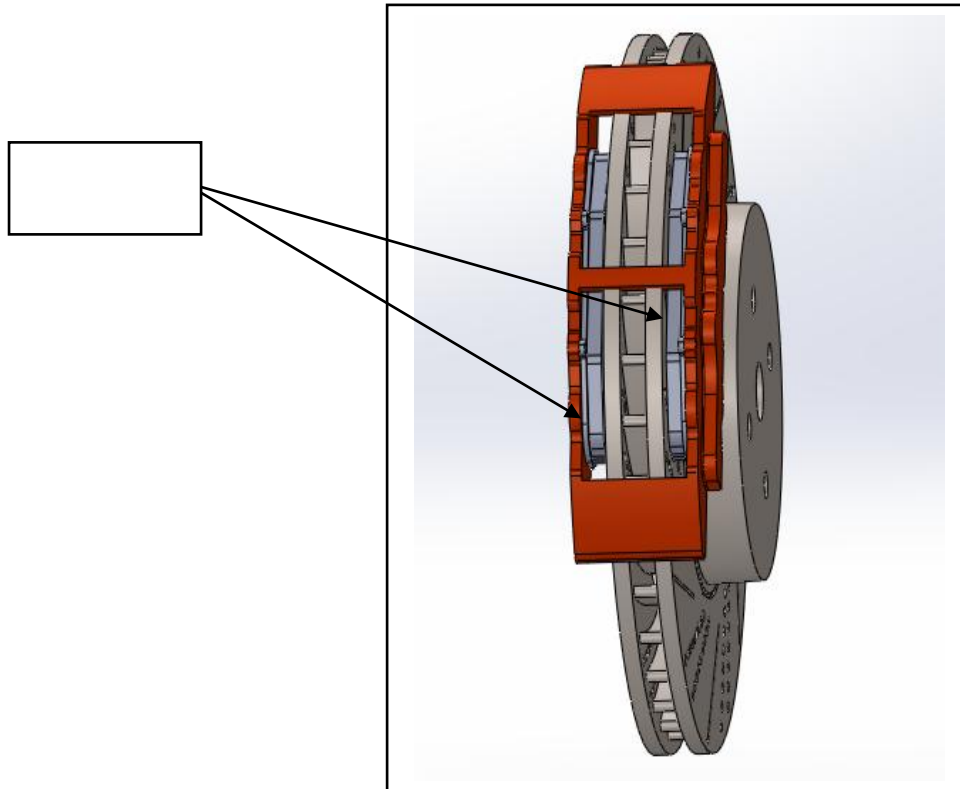


**Fig.V.5** Modèle 3D des Pins de disque de frein sous SOLIDWORKS.

**V.3.4-Présentation de plaquette de freinen 3D sous SOLIDWORKS :**



**Fig.V.6 :** Modèle 3D de plaquette de frein sous SOLIDWORKS.



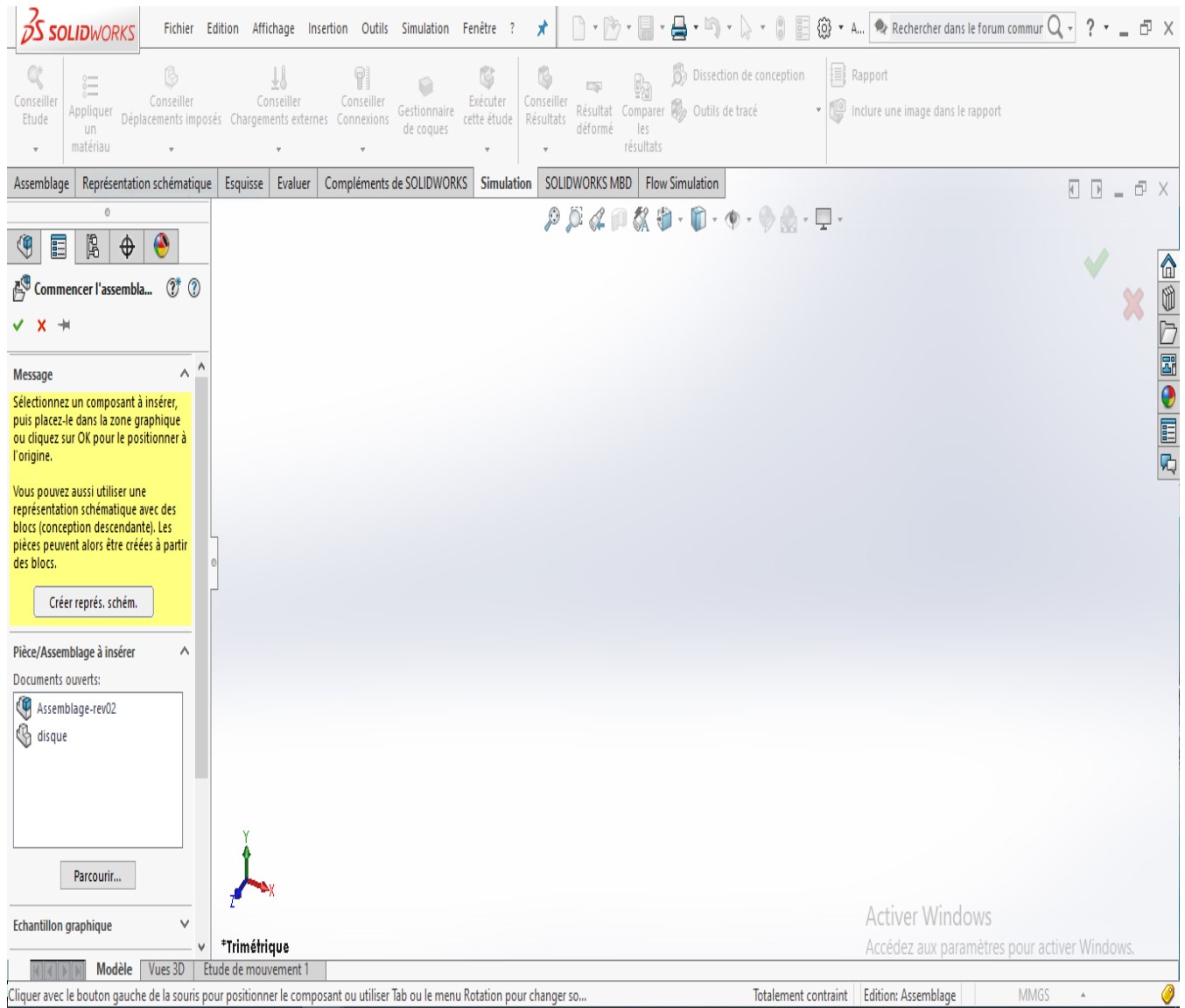
**Fig.V.7** : La position des Plaquette de frein dans le mécanisme en 3D.

### V.3.5-Assemblage des composants

Les différentes étapes d'assemblage sont présentées comme suite :

➤ Ouvrir l'interface d'assemblage du logiciel SOLIDWORKS :

Afin de parcourir les pièces on clique sur (parcourir), une fenêtre s'ouvre pour nous permettre de choisir les éléments nécessaires.



**Fig.V.8 :** Interface d'assemblage.

➤ Ouvrir le dossier à assembler les différentes pièces :

SOLIDWORKS nous permet de choisir plusieurs pièces en même temps afin de faire leur assemblage

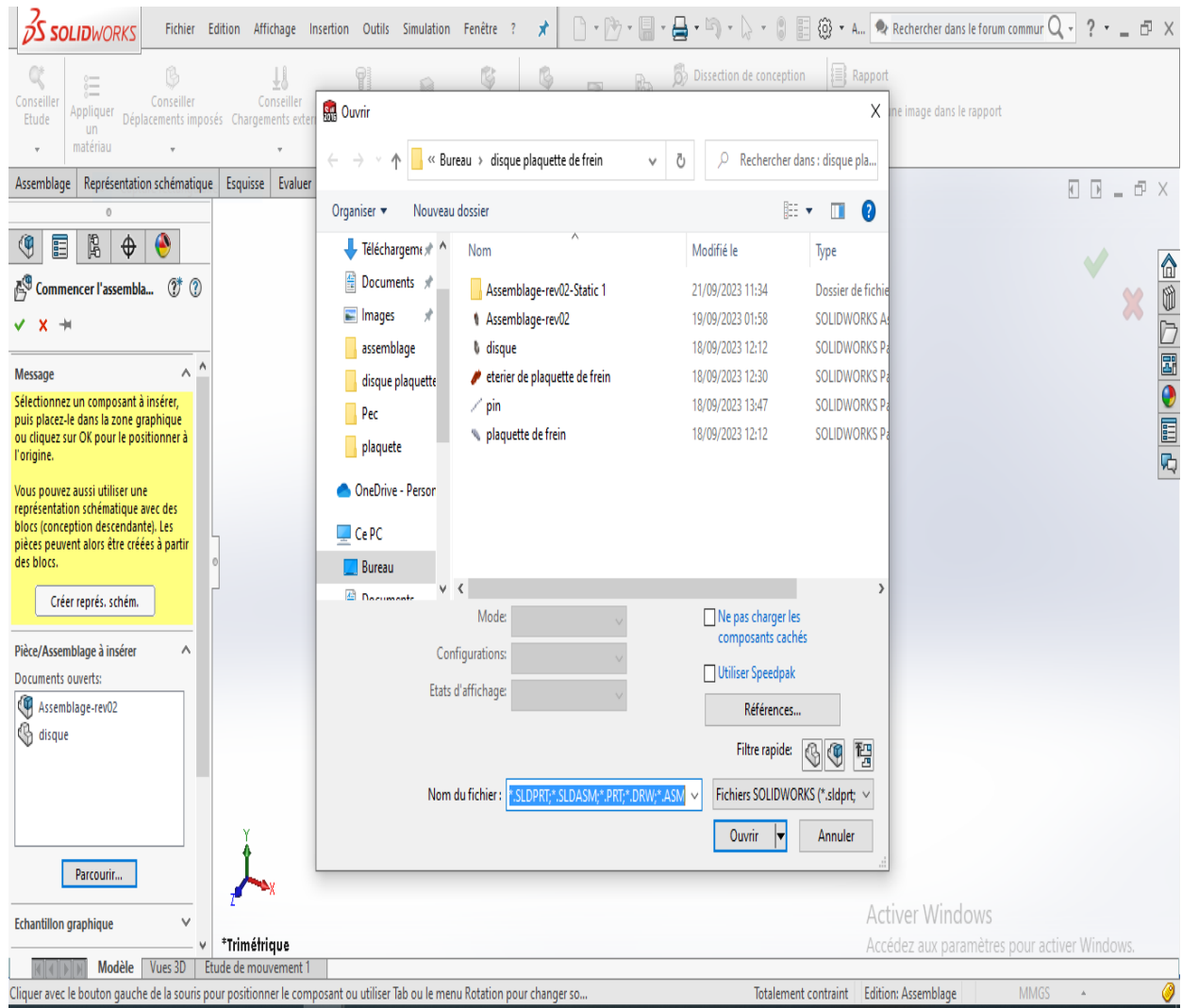
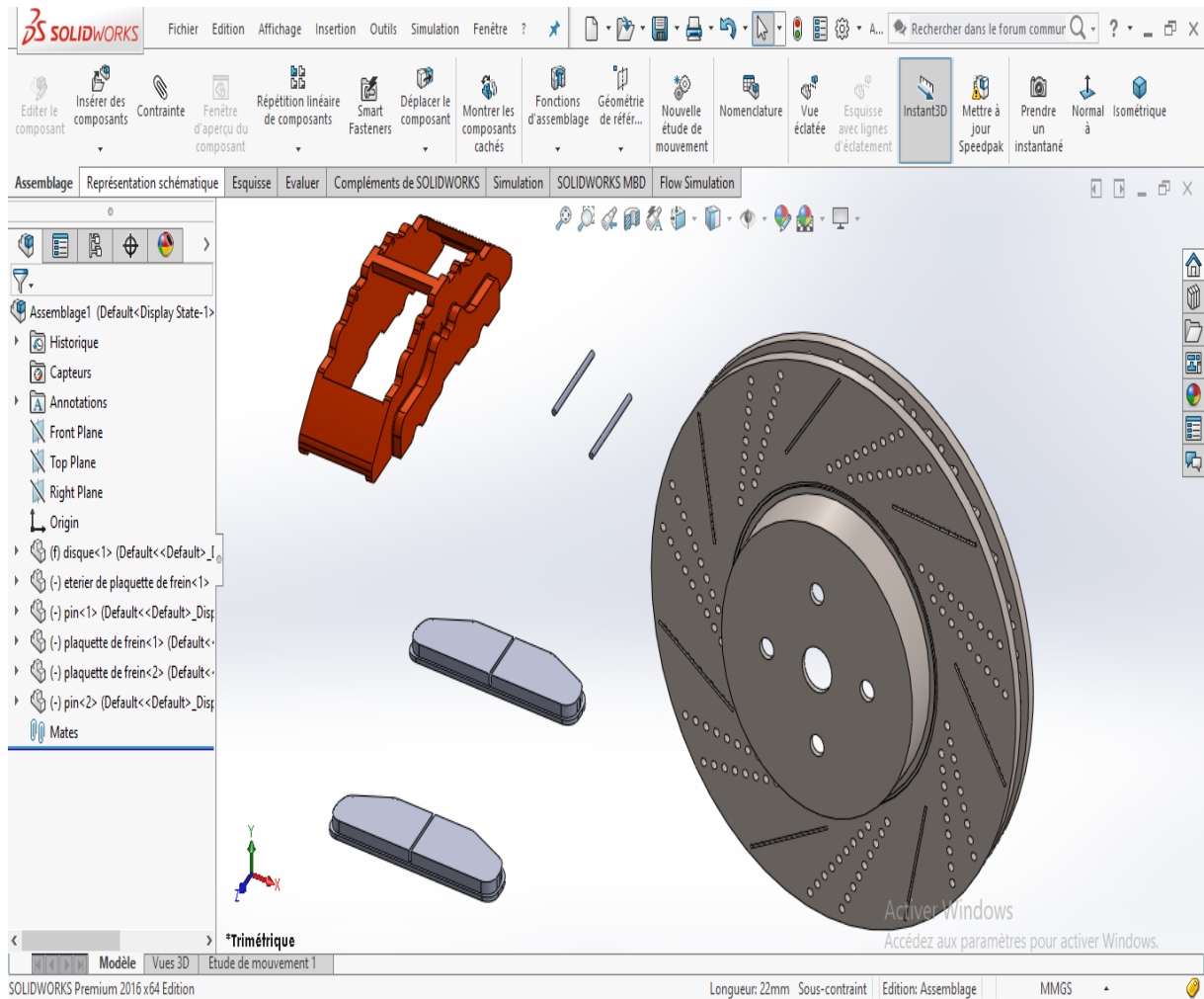


Fig.V.9:Parcourir le dossier des composants.

➤ Parcourir et insérer tous les composants:



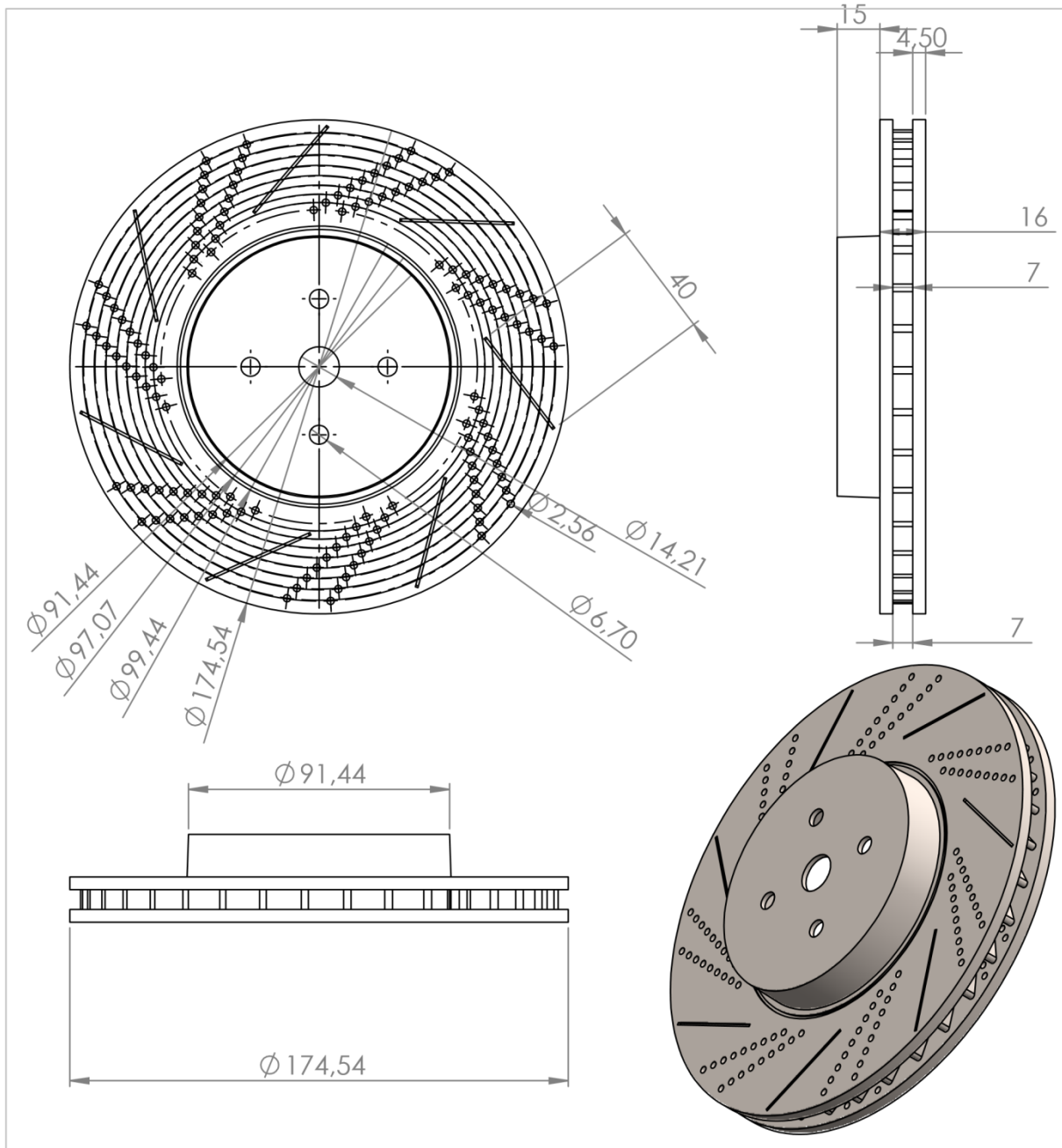
**Fig.V.10:** Les composants avant l'assemblage.

➤ Pour compléter l'assemblage du système il faut :

- Choisir les surfaces ou bien les arrêtes en contact dans les éléments.
- Sélectionner les deux surfaces ou surface et arrête.
- Choisir les Contraintes.
- Valider et faire rapprocher.
- Valider.

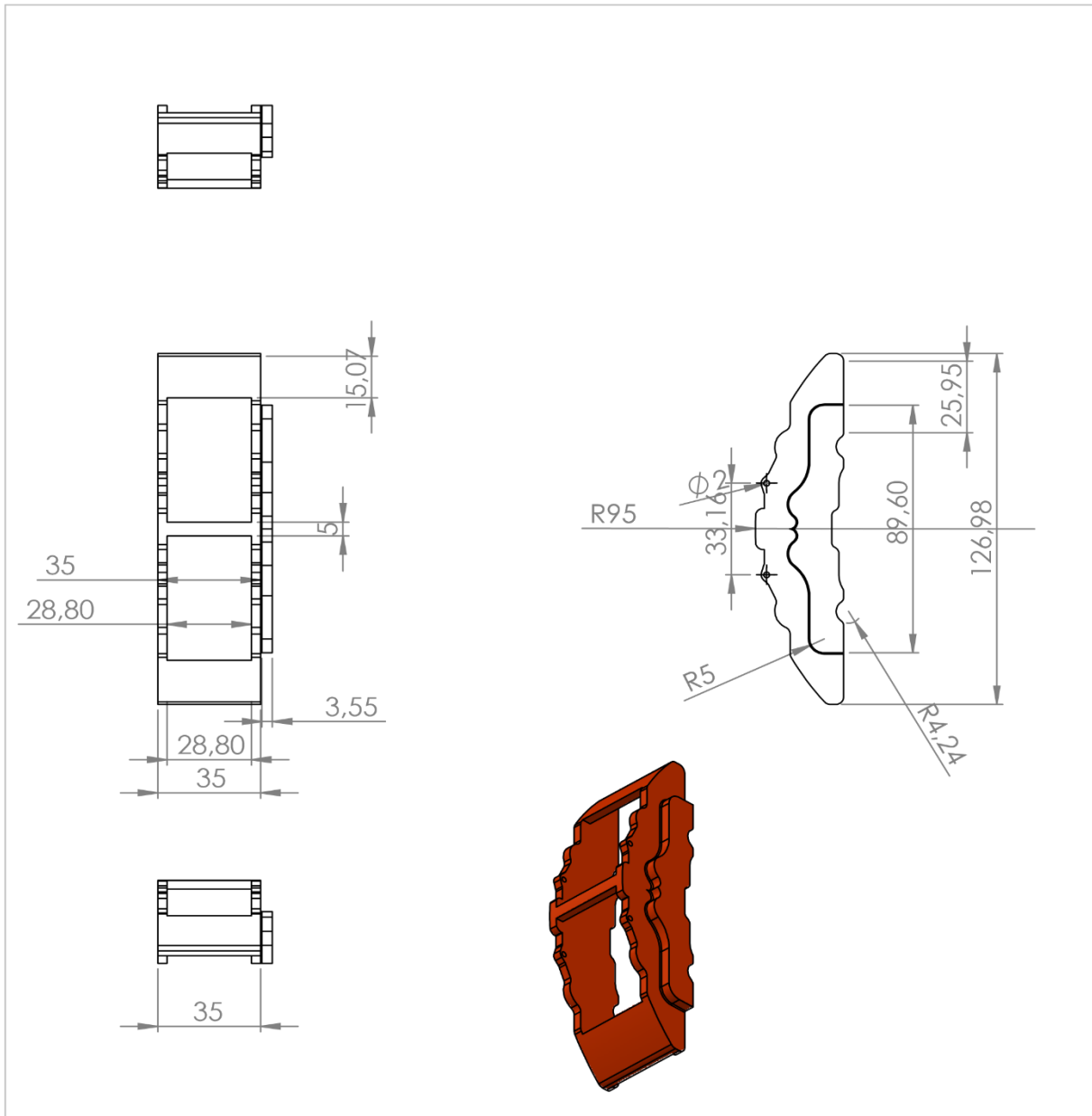
**V.4. Les dessins ci-dessous représentent la mise en plan de chaque pièce :**

V.4.1.Mise en plan de disque de frein



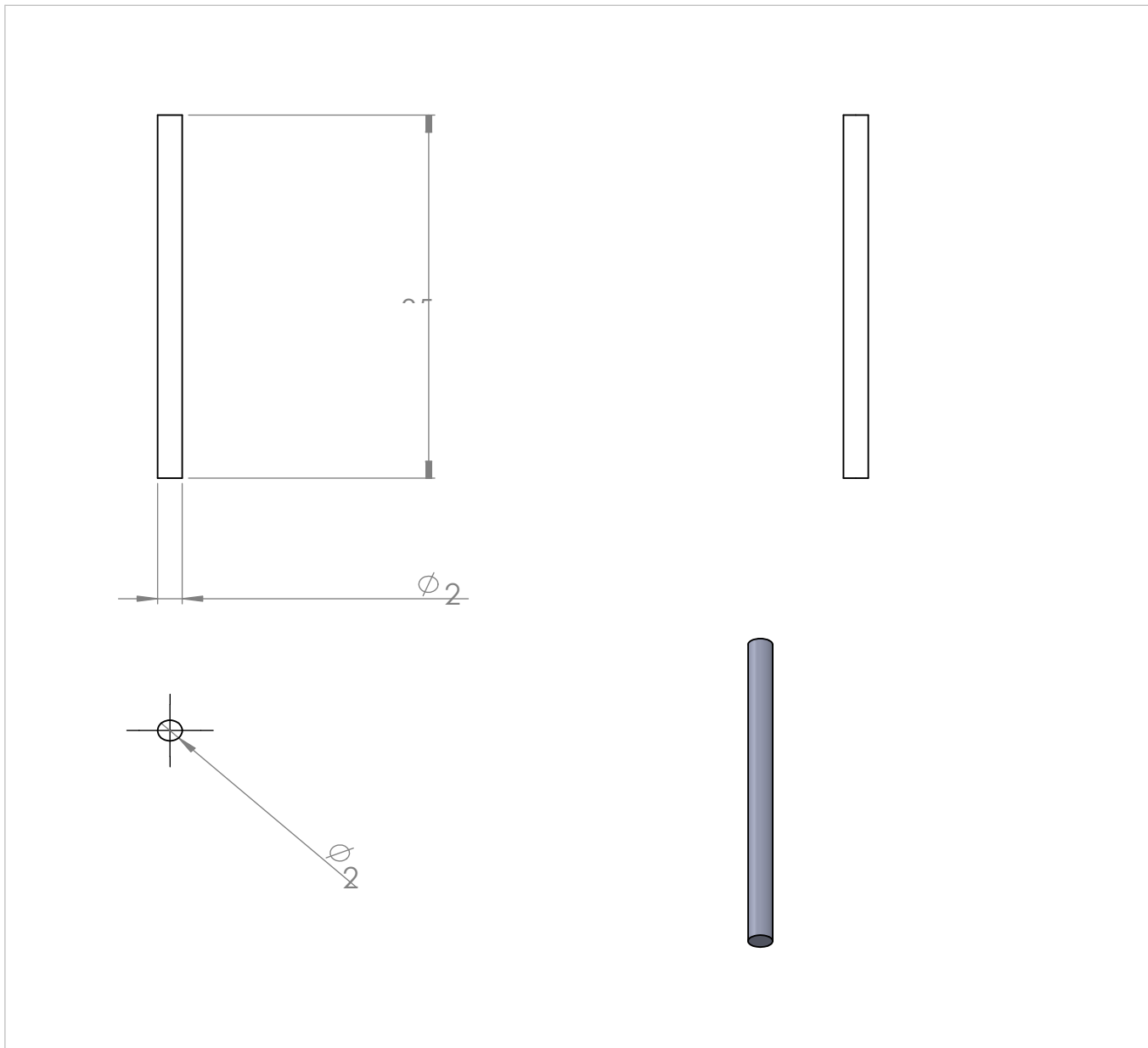
Rep	Num	Matière	Observation
2	1	Acie allié	Usinage
Echelle : 1/1	UMMTO		Le: 20/09/2023
	<b>Disque de frein</b>		Bendif Aziz larbi messipssa
Format :A4			Master2 Maintenance industriel

V.4.2- Mise en plan de l'étrier de frein



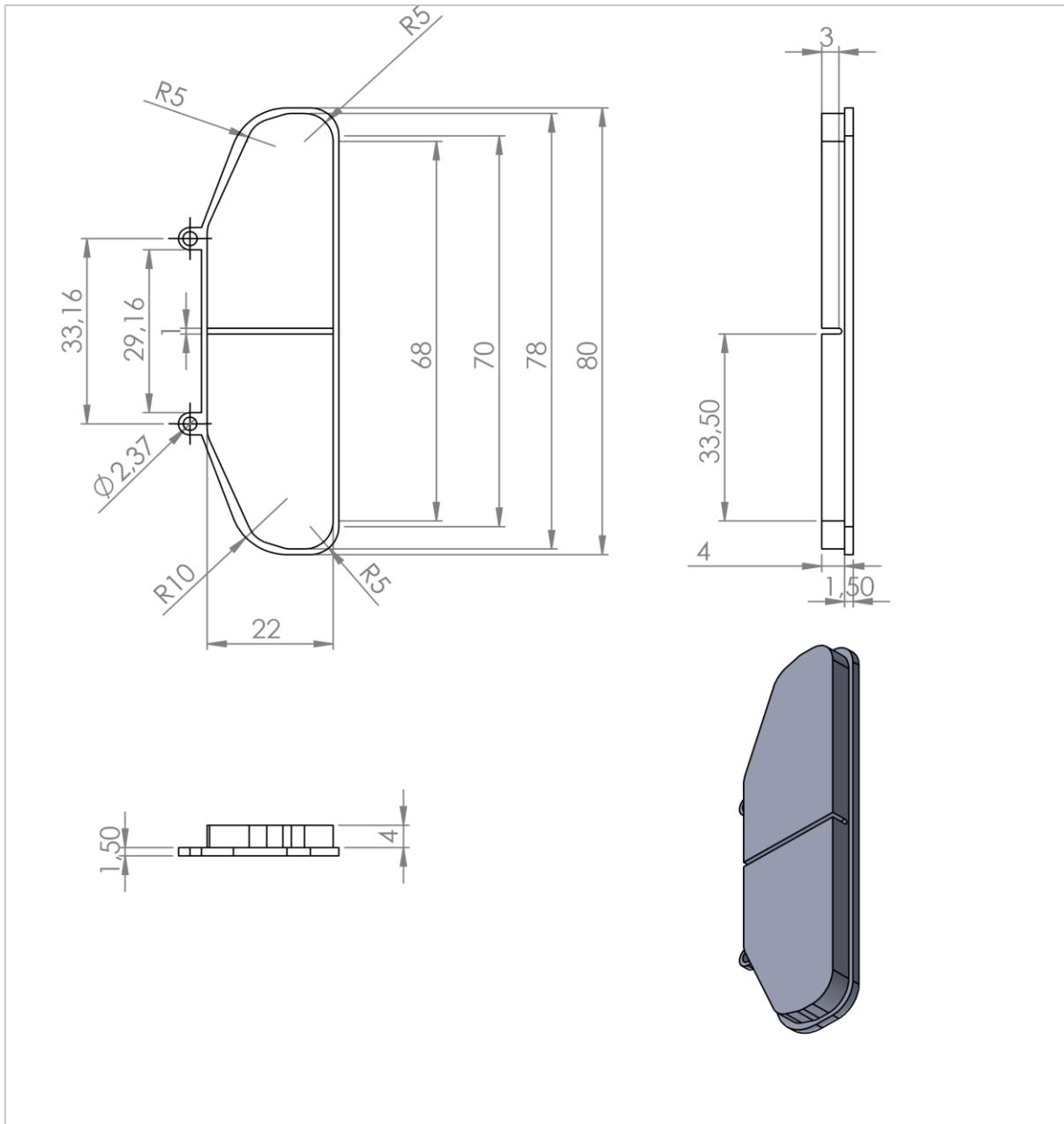
Rep	Num	Matière	Observation
1	2	Acie allié	Usinage par commande numérique
Echelle : 1/1	UMMTO		Le: 20/09/2023
	<b>étrier de frein</b>		Bendif Aziz larbi messipssa
Format :A4			Master2 Maintenance industriel


V.4.3-Mise en plan de pin de plaquette



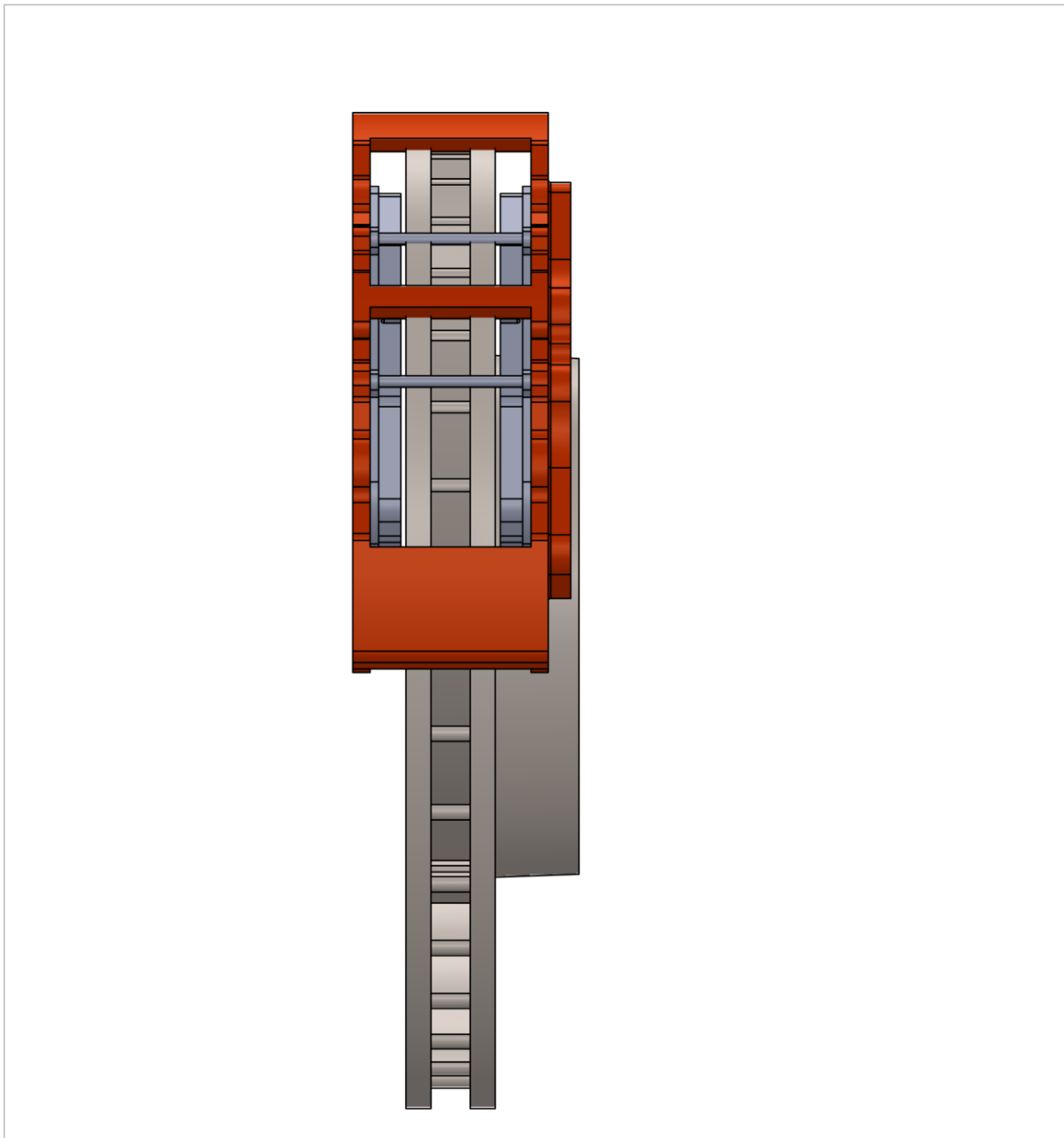
Rep	Num	Matière	Observation
2	4	Acier inoxydable	Usinage
Echelle : 1/1	UMMTO		Le: 20/09/2023
	<b>Pin de plaquette</b>		Bendif Aziz Larbi messibssa
Format : A4			Master2 Maintenance Industriel


V.4.4-Mise en plan de plaquette de frein



Rep	Num	Matière	Observation
2	3	porcelaine céramique	Usinage
Echelle : 1/1	UMMTO		Le: 20/09/2023
	<b>Plaquette de frein</b>		Bendif Aziz larbi messipssa
Format :A4			Master2 Maintenance industriel

V.4.5.Assemblage de frein à disque



numéro de la pièce	Nombre de la pièce	Désignation	Matière	Observation
1	1	disque de frein	acier allié	Usinage
2	1	étréier de frein	acier allié	Usinage
3	2	pin de plaquette	acier allié	Usinage
4	2	plaquette de frein	porcelaine céramique	Usinage
Echelle : 1/1	<b>UMMTO</b>			Le: 20/09/2023
	<b>Assemblage de frein disque</b>			Bendif Aziz larbi messipssa
Format :A4				Master2 Maintenance industriel

## V.5.Simulation disque-plaquettes sur SOLIDWORKS

Les solutions de simulation pour SOLIDWORKS, constituent un portefeuille facile à utiliser d'outils d'analyse, permettant de prédire le comportement physique réel d'un produit, en testant virtuellement des modèles CAO.

Les fonctionnalités exceptionnelles de SOLIDWORKS Simulation, répondent à toutes les préoccupations que peut avoir un concepteur ; la rapidité de mise en œuvre, la puissance et la précision de ces analyses vous permettant d'améliorer la qualité, la fiabilité et la performance de vos produits.

On peut ainsi en mesure de résoudre vos problématiques d'ingénierie, grâce à des scénarios de chargement complexes et de nombreux tests physiques, tout en bénéficiant d'un large éventail de paramètres : réponse linéaire, non linéaire statique et dynamique, comportement thermique, fatigue, mais également l'analyse de chargement dynamique et de matériaux.

SOLIDWORKS Simulation garantit la robustesse de notre produit, tout en limitant considérablement les coûts liés au prototypage et aux différents tests physiques.

## V.6-Simulation de problème mécanique

### V.6.1-Coix des matières

- Disque : Acier allié
- Plaquettes : Porcelaine céramique

### V.6.2-Choix de maillage

Une fois l'assemblage est effectué, on a fait le maillage. Il s'agit d'un maillage progressif. Le modèle disque-plaquette a été maillé par des éléments volumiques tétraédriques et quadratiques SOLIDWORKS effectue un maillage automatique lorsque on lance la simulation.

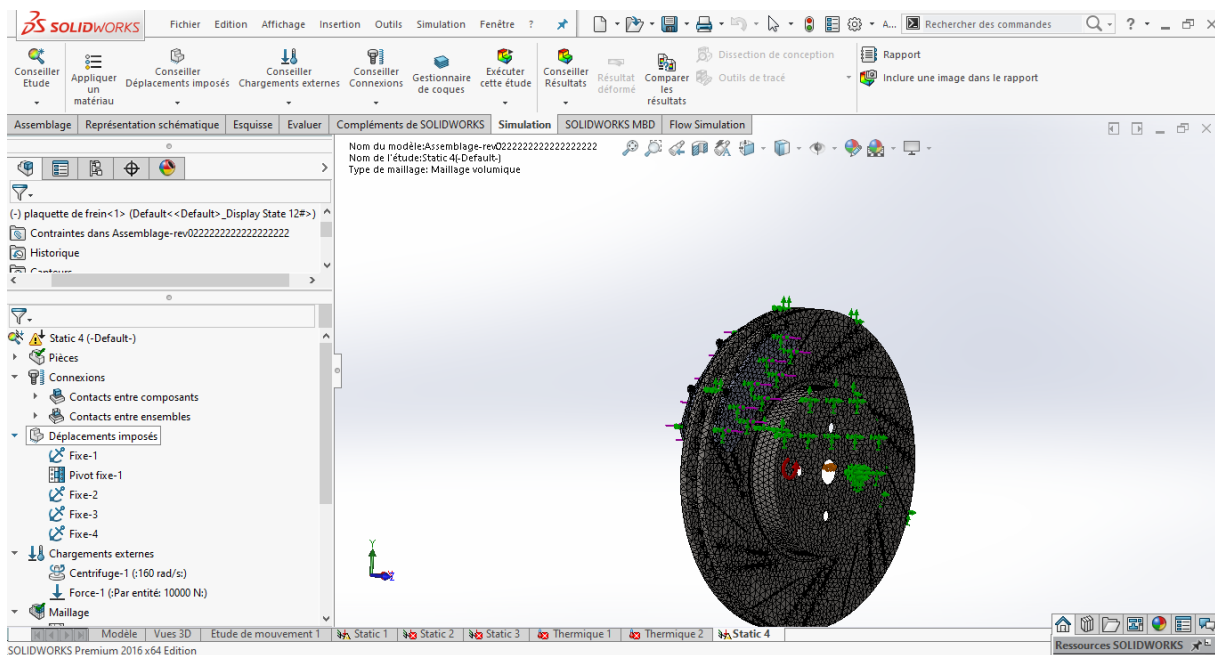


Fig.V.11.Maillage volumique de disque-plaquette.

### V.6.3-Conditions aux limites

#### V.6.3.1-Le disque

Le disque est bloqué suivant toutes les directions.

Le disque est encastré par sa surface inférieure suivant la direction axiale.

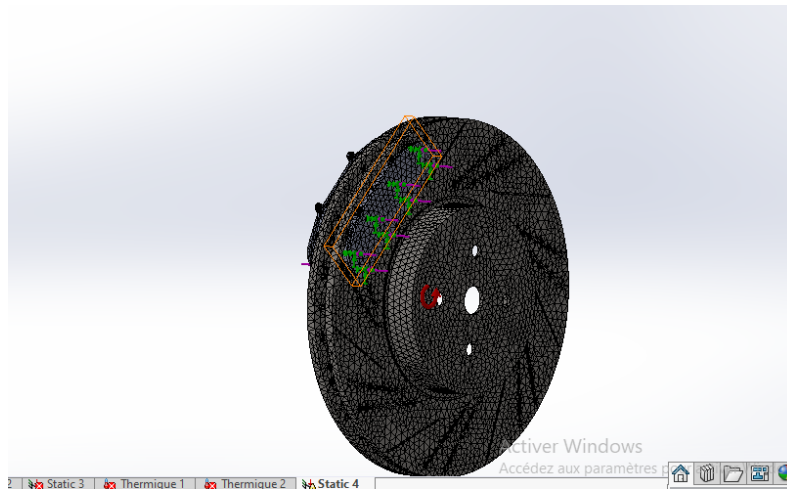
Une force centrifuge est appliquée au centre de disque avec une vitesse de 160rad/s.

#### V.6.3.2-Les plaquettes

La plaquette est encastrée sur ses bords dans le plan orthogonal à la surface de contact, autorisant ainsi un mouvement de corps rigide dans la direction normale au contact. Le chargement mécanique est représenté par la plaquette qui vient presser le disque.

L'effort de serrage des plaquettes provient de la pression d'un piston hydraulique cylindrique sur la plaquette où on a seulement une condition de chargement :

Une force de 10000N est appliquée sur chacune des plaquettes. [16]



**Fig.V.12.**Conditions aux limites des plaquettes.

Sans oublier la création des interactions de contact (f) entre les deux pièces. On introduit un contact sec. Pour des raisons de simplicité, le coefficient de frottement est pris constant et égal à  $\mu = 0,3$  dans les calculs.

### V.7-Simulation de problème thermique

Vue la difficulté des problèmes d'échauffement de disque de frein et pour le but de la simulation thermique nous avons utilisé le logiciel solidworks simulation.

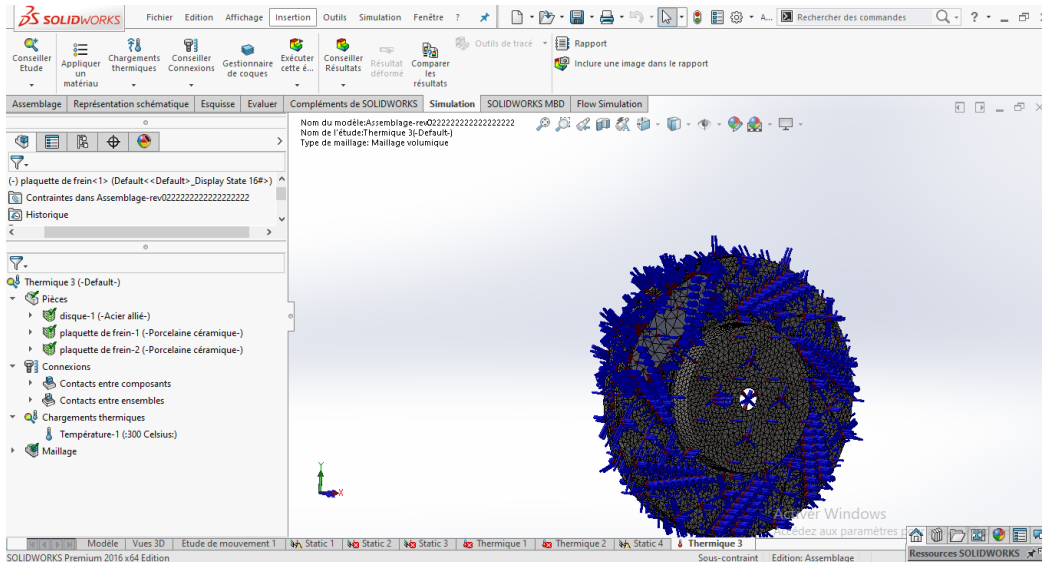


Fig.V.13. Application des charges thermique.

On a appliqué une charge thermique sur toutes les faces de l'ensemble.

## V.8-Les résultats de la simulation

### V.8.1-Contraintes équivalentes de Von mises :

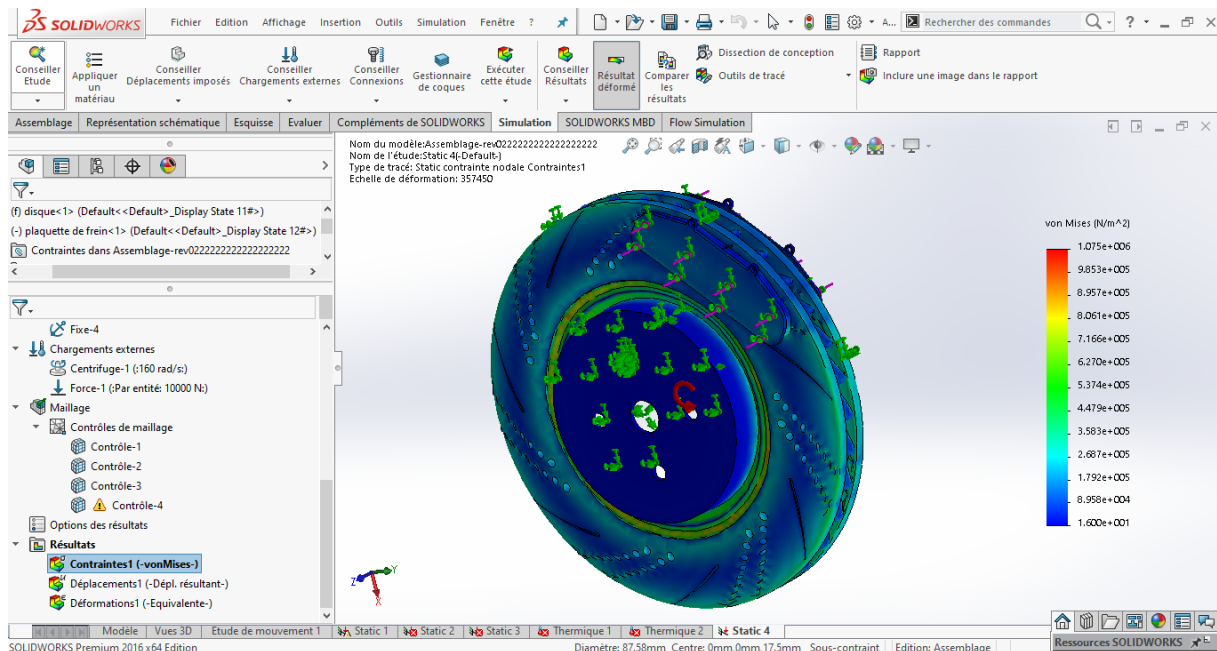


Fig.V.14. Contraintes équivalentes de Von mises.

#### Commentaires

La figure (Fig.V.14) présente la répartition et l'augmentation de la contrainte équivalente de Von Mises. Les valeurs de la contrainte équivalente de Von Mises varient de 0 N/m<sup>2</sup> à 1,075e+006 N/m<sup>2</sup>

### V.8.2-Déformation de la plaquette

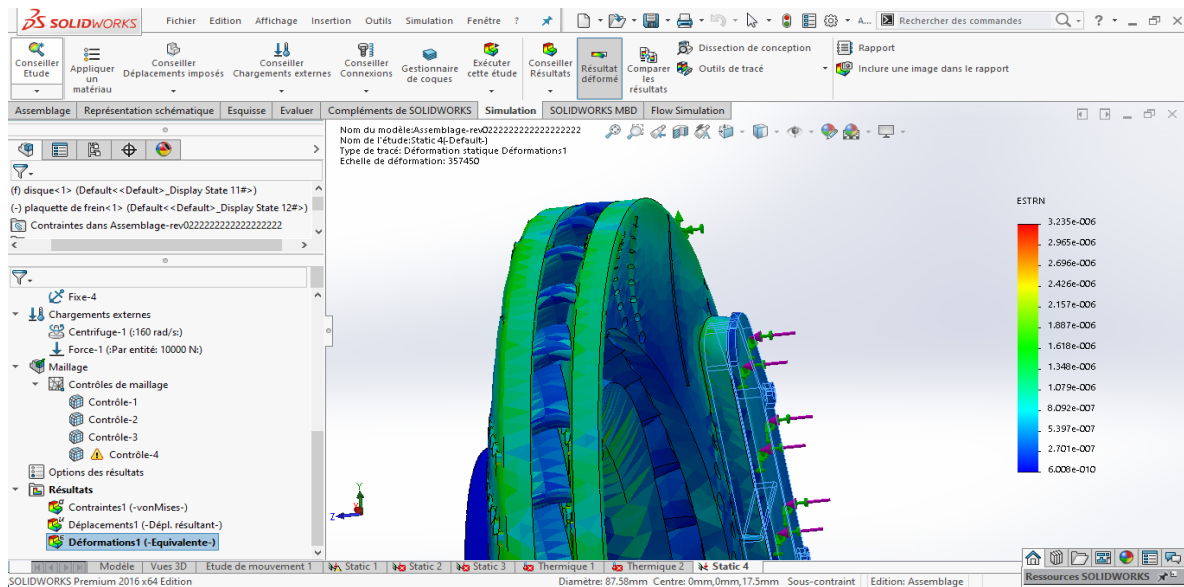


Fig.V.15 : Déformation de la plaquette.

La figure ci-dessus montre une déformation plastique, le disque n’est plus dans le domaine élastique, la valeur de Von mises est toujours dans la zone de sécurité (zone bleu) ce qui explique que le matériau choisi ou les dimensions de la pièce sont largement grandes et résistantes en toutes contraintes appliquées sur le disque.

### V.8.3-Le déplacement (déplacement résultant)

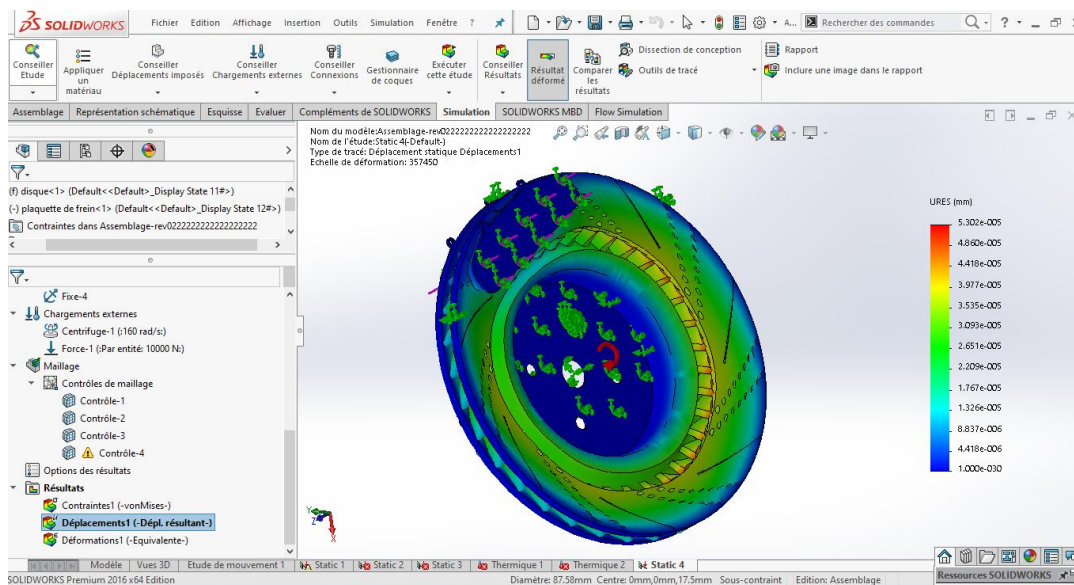


Fig.V.16 : Résultats obtenue du déplacement

### Interprétation :

La figure ci-dessus montre le résultat obtenu du déplacement, nous avons remarqué que la forme du disque a changé mais il est toujours dans la zone de sécurité (zone verte), ce qui permet de déduire que le matériau (acier allié) peut résister aux efforts appliqués et le déplacement est rassuré, donc loin de la valeur limite.

## V.9-Simulation de l'étude thermique

Pendant l'essai de simulation on choisit la température à 300 °.

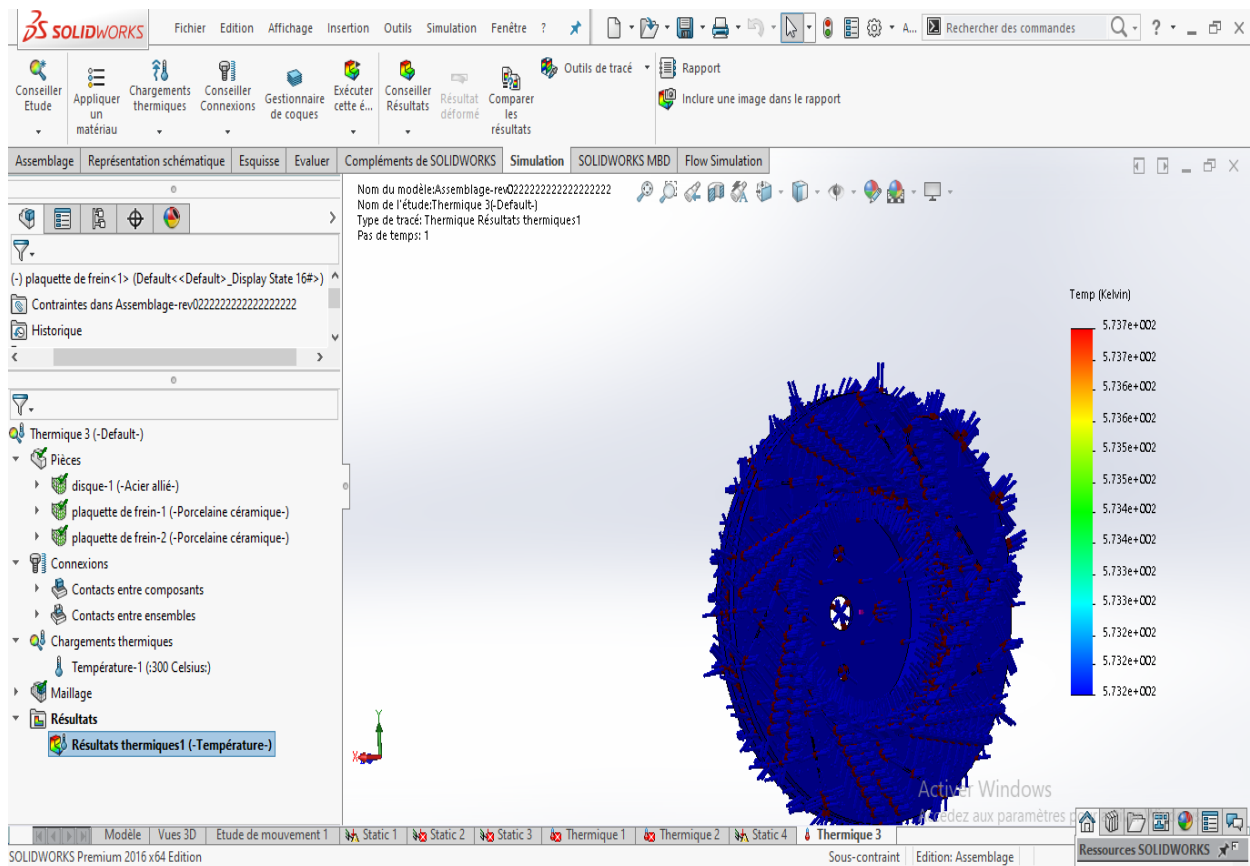


Fig.V.17:Résultats obtenue de simulation.

### Interprétation :

La figure ci-dessus montre que le disque a subi une température au point d'application de chaleur, cette chaleur sont toujours dans la zone de sécurité (zone bleu) mais le corps (disque) résiste toujours en toutes sécurité, ce qui valide notre choix du matériau (acier allié) qui as pour valeurs thermique plus large, donc il résiste bien à la température.

**V.10-Conclusion**

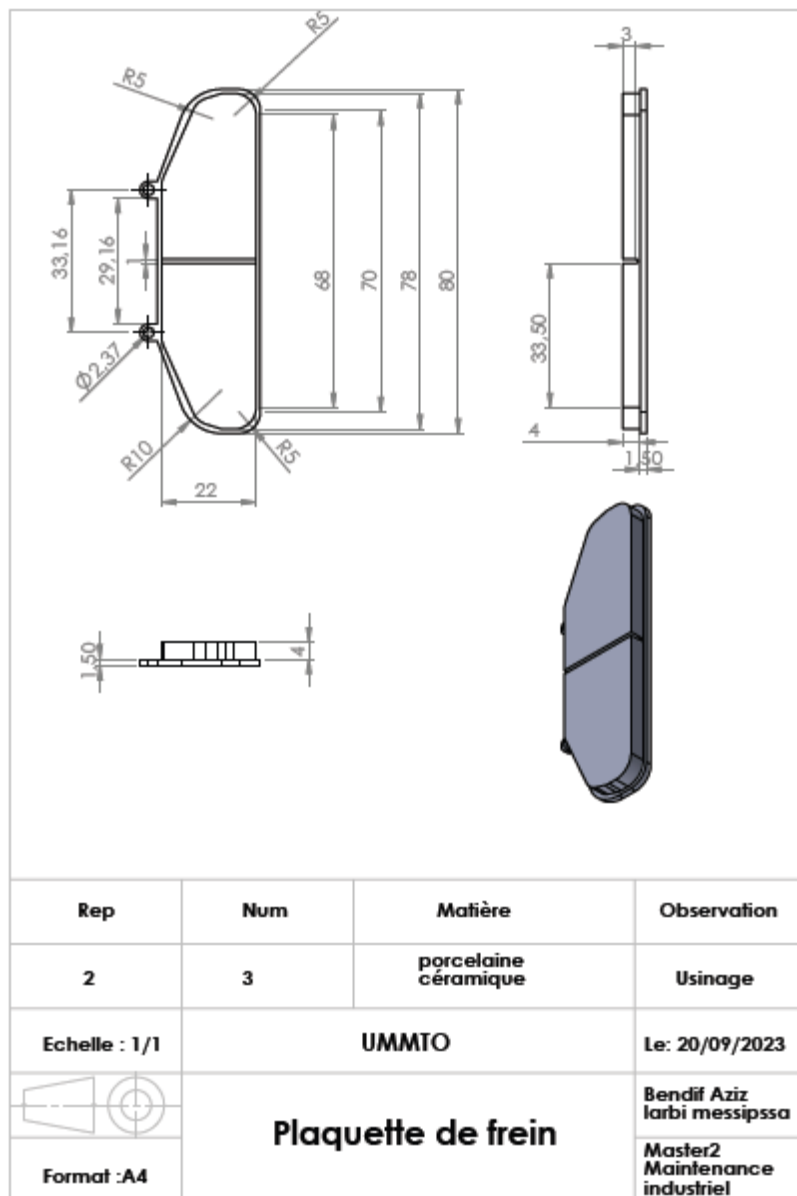
La simulation avec SOLIDWORKS a permis de vérifier le matériau choisi et sa résistance, aussi de tester plusieurs coefficients de sécurité, de savoir plusieurs résultats sans faire des essais expérimentaux et aboutir à sa destruction, donc perte de matière, perte de temps ce qui influe sur le cout et le prix de reviens de la pièce intégrée. L'objectif de la simulation est de faire plusieurs tests sur différents matériaux afin de choisir le plus adéquat à une conception plus ou moins judicieuse et économique.

## VI.1.Introduction

La fabrication des plaquettes de frein est un processus complexe et méticuleux, visant à produire des pièces de haute qualité capables de résister à des conditions de conduite variées tout en assurant des performances de freinage fiables.

Ce chapitre se penchera sur les différentes étapes du processus de fabrication des plaquettes de frein, en décomposant chaque phase pour fournir une compréhension approfondie du sujet. De la préparation des matériaux à l'inspection finale

## VI.2.Dessin de fabrication de la plaquette.



**Fig.VI.1.**Dessin technique de fabrication d'une plaquette.

VI.3. Tableau des contraintes dimensionnelles et géométriques

		SYMBOLES CARACTÉRISTIQUES	
Tolérance de forme	Éléments isolés	Rectitude	
		Planéité	
		Circularité	
		Cylindricité	
	Éléments isolés ou associés	Forme d'une ligne	
		Forme d'une surface	
	Éléments associés	Inclinaison	
		Perpendicularité	
		Parallélisme	
		Localisation	
Concentricité et coaxialité			
Symétrie			
Tolérance de battement		Révolution	
		Totale	
SYMBOLES SUPPLÉMENTAIRES			
MMA	Maximum de matière admissible		
SRC	Sans rapport avec la cote		
DIA	Diamètre		

#### **VI.4.Equipements**

Matériel de production sélectionné pour le cas où l'entreprise procède elle-même à la production des supports métalliques.

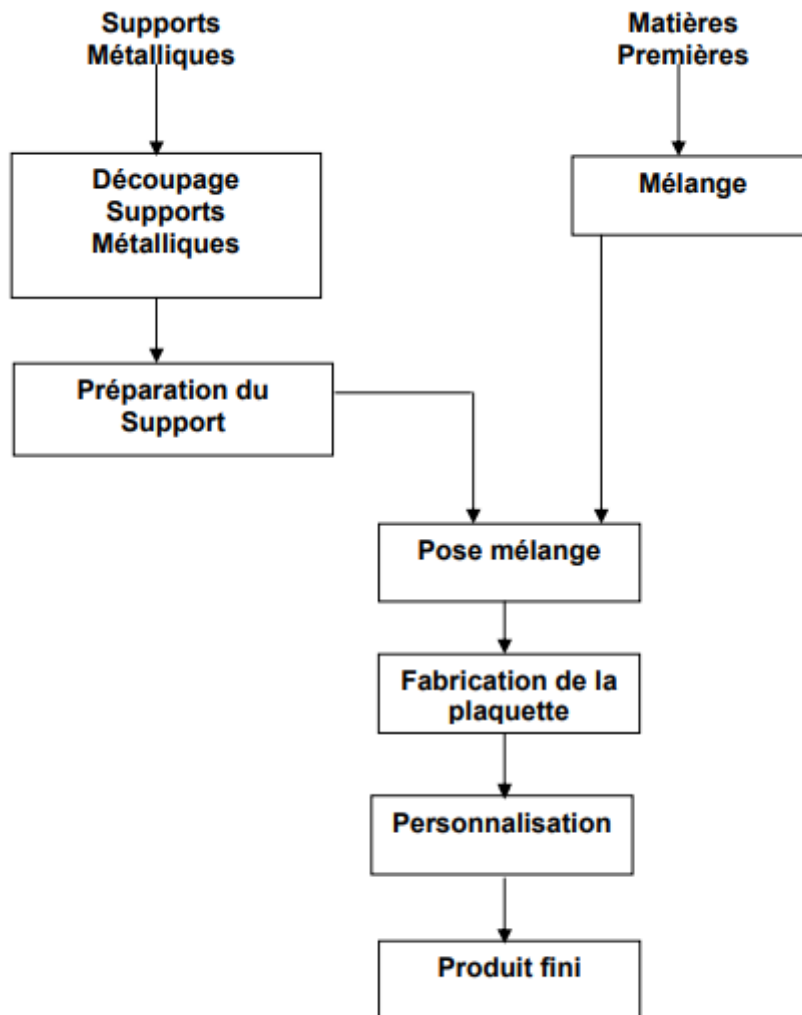
Equipement	nombre	caractéristiques
Presses hydrauliques	2	400 tonnes à 2 étages
	4	50 tonnes pour préformage
Presses mécaniques	1	150 t
	2	50 tonnes
Guillotine	1	A 2 têtes
	1	Petite
Rectifieuses	2	
Etuves	1	
Grenailleuses	2	
Perceuses	1	
Mélangeurs	Jeux	Moules à étages et compartiments pour 60 types de plaquettes + outils de découpage supports
Outillages		
Laboratoire+pesage+essai+marquage		

**Tab.VI.1.matériel de production. [20]**

La capacité d'une telle installation atteint la norme de production de 250 à 300 plaquettes / h soit 65 jeux par heure ou 130 000 jeux par an et par équipe. Pour doubler la production, il suffit de doubler le nombre de presses hydrauliques.

## **VI.5.Processus de fabrication**

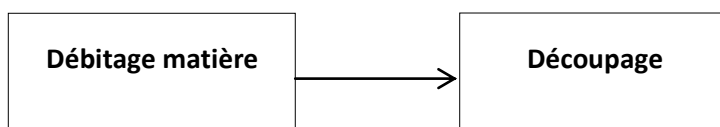
La fabrication de la plaquette s'effectue sur 2 lignes parallèles :



**Fig.VI.2.**Schéma des principales étapes de fabrication de la plaquette.[20]

Le détail de chacune de ces opérations se présente comme suit :

### **VI.5.1.Découpage support métallique**

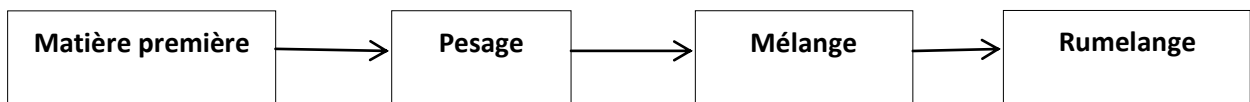


Dans cette étape se fera le débitage de la matière et puis découpage du support métallique.



**Fig.VI.3.**Support métallique bien découpé.

### **VI.5.2.Mélange**

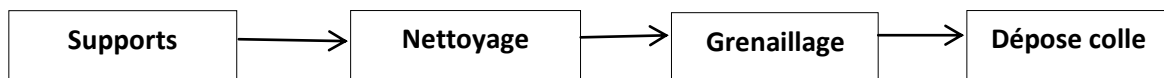


La matière première représente Les matériaux de base, tels que la poudre de métal, la fibre de verre et les agents liants. Ces matériaux sont pesés puis sont mélangés pour créer la composition appropriée de la garniture.



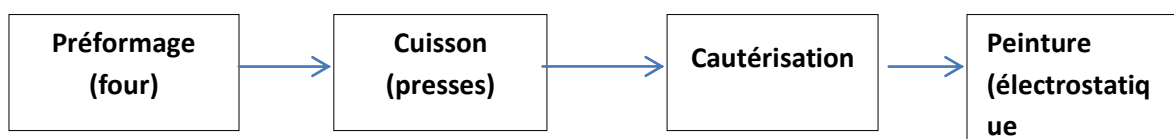
**Fig.VI.4.**Pesage et mélange des matériaux de base.

### **VI.5.3.Préparation supports**



Le support métallique est nettoyé et grenillé, puis une colle est posée sur une de ses faces.

### **VI.5.4.Fabrication de la plaquette**





**Fig.VI.5.**Assemblage de matière et support.

La matière première et le support métallique sont assemblés dans un moule chauffant à 160 °C, puis pressés.

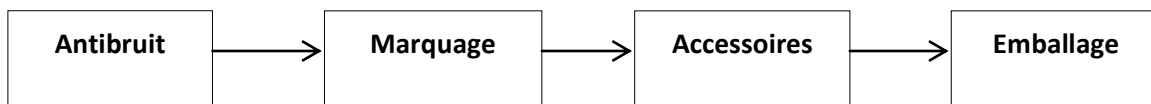
### **VI.5.5.Inspection et contrôle de qualité**

Chaque plaquette est inspectée visuellement et soumise à des tests de qualité pour garantir qu'elle répond aux normes de performance et de sécurité.



**Fig.VI.6.**Inspection d'une plaquette.

### **VI.5.6.Personnalisation de la plaquette**



Les plaquettes de frein sont emballées et étiquetées avant d'être expédiées aux distributeurs ou aux fabricants d'équipement d'origine (OEM). Les plaquettes sont emballées et prêtes à être expédiées aux distributeurs et aux ateliers de réparation automobile.



**Fig.VI.7.**Marquage et emballage des plaquettes.

## **VI.6.Nouvelles techniques**

On assiste à un développement continu dans la conception et la fabrication des plaquettes de frein dans le monde. De nouvelles générations de plaquettes sont à l'étude ; il s'agit par exemple des contre-matériaux à géométrie particulière ou des freins à contact intégral. L'entreprise doit organiser une veille technologique pour l'amélioration continue de ses méthodes et de ses produits.

Actuellement, certaines nouvelles conceptions retiennent particulièrement l'attention; nous citons :

- le frein à contact intégral sur 360 degrés qui autorise une surface de frottement six fois supérieure à celle des freins traditionnels. Il en résulte une plus grande dispersion de l'énergie, ce qui diminue considérablement la température des matériaux, favorise une évacuation rapide de la chaleur et réduit le risque d'une perte de contrôle lors du freinage. Il comporte en outre un système de contrôle IBS (Intelligent Braking System),
- les plaquettes en céramique, nouveau procédé de fabrication (au stade d'essais) de plaquettes avec des rainures de refroidissement et des chanfreins dans des matériaux spéciaux, permettant une meilleure dispersion de la chaleur et améliorant ainsi l'efficacité de freinage. Parmi les caractéristiques de cette nouvelle technique, l'élimination du grincement au niveau des disques.

Ces innovations sont encore au stade d'expérimentation au laboratoire. Dans le domaine des plaquettes de frein, les constructeurs affirment que cinq années sont nécessaires pour mettre sur le marché un nouveau type de plaquette de frein à partir du début de sa conception.

## **VI.7.Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail les différentes étapes cruciales qui permettent de produire les plaquettes de frein. Nous avons constaté que la fabrication de plaquettes de frein est un processus complexe qui requiert une précision extrême pour garantir des performances fiables et sécuritaires sur la route. Chaque étape, de la sélection des matières premières à l'emballage final, joue un rôle crucial dans la qualité du produit final

## **Conclusion générale**

Pour les raisons de la sécurité des passagers, la construction optimale des plaquettes de frein est actuellement l'objet de nombreuses études. Le contact disque-plaquette engendre de nombreux phénomènes, tels que l'augmentation de la température, les déformations des pièces.

Vu que les essais expérimentaux, bien qu'indispensables avant toute production en série d'un système de freinage, sont relativement coûteux et lents à mettre en place, lors de la phase de conception, les constructeurs font appel à la simulation numérique.

Dans ce mémoire, on a représenté une modélisation numérique du contact disque – plaquettes en utilisant le logiciel SOLIDWORKS pour modéliser, calculer et analyser le comportement sous l'aspect thermomécanique.

Dans la première partie de ce travail on a commencé par définir le modèle géométrique adéquat actuellement adopté dans la voiture. Cette première partie a été développée en utilisant le logiciel SOLID WORKS, très développé pour ce type de sketch (CAE). Cette géométrie qui présente les alvéoles permettant un meilleur refroidissement du disque est prise pour base de calcul des contraintes mécaniques générées par la pression hybride (pneumatique et hydraulique) agissant sur la plaquette. Les résultats de simulations pour le calcul par éléments finis ont été faits à l'aide du logiciel intégré dans le logiciel SOLIDWORKS qui s'appelle COSMOS. De l'analyse des contraintes et de déformations, on peut remarquer que les parties à forte concentration de contraintes dans le disque se trouvent généralement aux extrémités de disque où se produit la friction avec les plaquettes lors de freinage. Quant à la plaquette, elle présente des concentrations de contraintes sur les côtés de la plaquette inférieure. Ces effets (contraintes et déformations) à des niveaux critiques, associées au mouvement de la roue, peuvent être la cause des phénomènes nuisibles au bon fonctionnement tels les déformations élevées, usure, fissures et ruptures mêmes, ...etc.).

Dans la deuxième partie du travail, Un calcul de température et de contraintes correspondantes a été effectué avec le même logiciel (COSMOS) en choisissant l'étude thermique. Les températures qui constituent le résultat d'analyse montrent que les plaquettes et le disque résistent bien aux hautes températures cela due aux matériaux appliqués sur les dispositifs (allié céramique).

## **Bibliographie**

- [1]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Frein\\_à\\_disque](https://fr.wikipedia.org/wiki/Frein_à_disque).
- [2]. Cours académie de Versailles (maintenance automobile).
- [3]. Mémoire LAICHE.L BOUZID.S [ETUDE D'UN SYSTEME DE FREIN A DISQUE].
- [4]. <https://www.delphiautoparts.com/fr-fr/centre-de-documentation/article/ce-qu'il-faut-savoir-sur-les-t%C3%A9moins-d-usure-des-plaquettes-de-frein>
- [5]. Cours 5 Forces de frottement université catholique de Louvain.
- [6]. <https://www.alloprof.qc.ca/fr/elevés/bv/physique/la-force-de-frottement-p1018>
- [7]. La roue - A. Hénault 2010.
- [8]. Cours mécanique Lycée François Villon.
- [9]. [www.adilca.com/FORCE\\_DE\\_FREINAGE.pdf](http://www.adilca.com/FORCE_DE_FREINAGE.pdf).
- [10]. Mémoire Asli Nacim Etude et conception d'un système de freinage pour l'autocar SAFIR
- [11]. Lycée Jules Garnier, transmission de puissance par adhérence :  
<http://cpgeptljg.free.fr/wp-content/uploads/Transmission%20adherence.pdf>
- [12]. Thèse GUENAD Amin [Etude de défaillance des systèmes de freinage des véhicules routiers].
- [13]. La norme international ISO 6310 Deuxième édition 2001-02-15.
- [14]. DOCUMENT DE NORMES TECHNIQUES No 135, révision 3, Systèmes de freinage de véhicules légers.
- [15]. Norme ECE Règlement no 13-H.
- [16]. TMD Friction Services GmbH-TEXTAR-Analyse des dommages sur-plaquettes de frein à disque et disques VL -Informations techniques.
- [17]. P. Dufrenoy, Etude du comportement mécanique des disques de frein vis avis des risques de défaillances, Thèse de doctorat, Université de Lille, France, 1995.
- [18]. Mémoire TAHAR SELMA [Etude du comportement thermomécanique du contact disque-plaquette de frein].
- [19]. Mémoire REBBAH Abderaouf étude et conception et simulation sous solidworks d'un système de freinage à disque.
- [20]. [www.tunisieindustrie.nat.tn/fr/download/fichesPro/IME/01.pdf](http://www.tunisieindustrie.nat.tn/fr/download/fichesPro/IME/01.pdf)
- [21]. <https://www.avatacar.com/blog/mecanique-auto/comment-fonctionnent-vos-freins/>