



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة العربي التبسي – تبسة

Université Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des mines

قسم المناجم والجيوتكنولوجيا

Département Mines Et Géotechnologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Contrôle Technique et Maintenance des Véhicules

APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES AVANCÉS D'ASSISTANCE À LA CONDUITE (ADAS) ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

Présenté et soutenu par :

SOUALHIA Aya

Devant le jury :

TALEB Mounia	Président	MCA	Université Larbi Tebessi – Tébessa
AMARA Abderrazak	Encadreur	MCB	Université Larbi Tebessi – Tébessa
ATTIA Moussa	Examineur	MCA	Université Larbi Tebessi – Tébessa

Promotion : 2025/2026

Remerciements

D'abord, je remercie ALLAH Le Tout-Puissant de m'avoir guidée sur ce chemin, et de m'avoir donné la foi, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste projet.

Je tiens à remercier chaleureusement tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, de près ou de loin, que ce soit par un simple geste ou par un soutien plus significatif.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur, Monsieur le **Dr AMMARA ABDERRAZAK**, pour avoir accepté de superviser ce travail, ainsi qu'aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce projet.

Je remercie également tous mes enseignants, collègues et toutes les personnes qui ont contribué au développement de mes compétences tout au long de mon parcours universitaire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma chère amie, **Imene GATTAL**, pour sa présence constante, ses encouragements et son soutien indéfectible.

Un grand merci à tout le personnel et aux professionnels de l'**ETUS** pour leur accueil chaleureux, leur précieux soutien et les conseils partagés durant mon stage.

Enfin, ma profonde reconnaissance va à ma chère famille pour son soutien moral, affectif et inconditionnel, essentiel à l'aboutissement de ce travail

SOUALHIA AYA



Dédicaces

Avec l'expression de reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chers, respectueux et magnifiques membres de ma famille" mon frère et mes sœurs" pour leur appui et leurs encouragements, et en particulier à ma mère pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières tout au long de mes études. À mon cher père décédé, paix à son âme

A tous mes amis sans exception A tous ce qui de loin ou de près n'ont pas cessé de m'apporter leur Soutien, pendant mes années d'études surtout mes chers enseignants. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, Et le fruit de votre soutien infallible.

Je dédié cet humble travail

SOUALHIA AYA



Liste des symboles :

ADAS : Advanced Driver Assistance Systems (Systèmes avancés d'aide à la conduite).

IHM : Interface Homme-Machine.

RVB : Rouge, Vert, Bleu (type d'image de caméra).

LiDAR: Light Detection and Ranging (Télédétection par laser).

RADAR : Radio Détection And Ranging (Détection et télémétrie radio).

UCE / ECU : Unité de Contrôle Électronique (Electronic Control Unit).

CAN: Controller Area Network (Bus de communication).

LIN : Local InterConnect Network (Bus de communication).

FlexRay : Système de communication par bus à haute vitesse.

TDMA : Time-Division Multiple Access (Mécanisme d'accès au bus).

AEB : Automatic Emergency Braking (Système de freinage automatique d'urgence).

FCW : Frontal Collision Warning (Système d'alerte de risque de collision avant).

TTC : Time-to-Collision (Temps avant collision).

CSW / SAVV : Curve Speed Warning / Système d'Alerte de Vitesse excessive en Virage.

ACC : Adaptive Cruise Control (Système de régulateur de vitesse adaptatif).

BSM / BSD: Blind Spot Monitoring / Blind Spot Detection (Surveillance des angles morts).

LKA : Lane Keeping Assist (Système d'aide au maintien dans la voie).

ABS : Système de freinage antiblocage

ASR : Système de régulation de l'entraînement / Antipatinage

ESP / ESC : Electronic Stability Program / Electronic Stability Control (Système de contrôle de la stabilité).

AFU : Aide au Freinage d'Urgence

EBD / EBV : Répartition électronique du freinage



LISTE DE SYMBOLE

BAS : Brake Assist System (Assistance au freinage d'urgence).

OBD / OBD-II : On-Board Diagnostics (Système de diagnostic embarqué).

DTC : Diagnostic Trouble Codes (Codes de diagnostic d'anomalie).

AC : Courant alternatif (utilisé pour le test des capteurs de vitesse).

HCU : Hydraulic Control Unit (Unité de commande hydraulique / Modulateur ABS).

CRC : Cyclic Redundancy Check (Champ de contrôle d'erreur dans une trame CAN).

ACK : Acknowledgment (Champ d'acquittement de réception).

Psi: Pound per square inch

GPS: Global Positioning System

IAT: Intake Air Temperature

VSS: Vehicle Speed Sensor

ETUS : Établissement Public de Transport Urbain et Suburbain.

VL : Véhicules Légers

PL : Véhicules Lourds

VIN : Numéro d'identification du véhicule (Véhicule Identification Number)

PTAC : Poids Total Autorisé en Charge

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

GNV : Gaz Naturel pour Véhicules

CO : Monoxyde de carbone

CO₂ : Dioxyde de carbone

HC : Hydrocarbures

DaN : Décanewton

Liste des figures :

Figure 1: Architecture générale des systèmes ADAS	7
Figure 2: Le capteur de vision (CAMERA)	7
Figure 3: Exemple de détection d'objet par les cameras utilisées dans les ADAS (Camera monoculaire, stéréoscopique et thermique).....	8
Figure 4: Le capteur de LIDAR.....	8
Figure 5: Le capteur de RADAR	9
Figure 6: Un capteur ultrasonique.....	9
Figure 7: L'unité de commande électroniques	10
Figure 8: Architecture des réseaux de communication embarque dans un véhicule moderne (CAN, LIN, FlexRay)	11
Figure 9: Architecture et rôle des algorithmes de fusion de données dans les systèmes ADAS	11
Figure 10: Illustration du fonctionnement des systèmes ADAS	12
Figure 11: le système de freinage d'urgence automatique (AEB)	13
Figure 12: le système d'alerte de risque de collision avant (FCW).....	13
Figure 13: Le système d'alerte de vitesse excessive en virage (CSW)	14
Figure 14: le système de régulateur de vitesse adaptif (ACC).....	14
Figure 15: Le système de surveillance des angles morts (BSM).....	15
Figure 16: Le système d'aide au maintien dans la voie (LKA)	15
Figure 17: Schémas de système de freinage.....	18
Figure 18: Fonction globale de système freinage	19
Figure 19: Le système de freinage Antiblocage (ABS)	20
Figure 20: Le système Anti patinage ASR	20
Figure 21: Architecture mécanique de la fonction ESP (a) et son effet sur le conduite lors d'un survirage.....	21
Figure 22: Fonction d'aide au freinage d'urgence (AFU).....	21
Figure 23: Principe de fonctionnement du répartiteur électronique de freinage (EBD) selon la charge du véhicule et en virage.	22
Figure 24: situation de fonctionnement AEB et ABS cordonnée	23
Figure 25: Schéma fonctionnel du système ACC	24
Figure 26: Capteur de vitesse de roue.....	24
Figure 27: Dépendance des ADAS au système de freinage.....	25



LISTE DES FIGURES

Figure 28: Les défaillances du système de freinage et leurs conséquences sur les performances des ADAS.....	26
Figure 29: Impact des défaillances mécanique et logicielles sur les systèmes ADAS et le Protocol de sécurité.....	27
Figure 30: Appareil de diagnostic OBD- II.....	30
Figure 31: Connecteur OBD-II.....	30
Figure 32: Oscilloscope automobile	31
Figure 33: Oscilloscope analogique et numérique	31
Figure 34: Le Multimètre	32
Figure 35: Analyse des codes défauts OBD- II.....	34
Figure 36: Analyse des défauts en temps réel	34
Figure 37: Format de trames de donnée et d'erreur.....	35
Figure 38: Calibration de camera.....	36
Figure 39: Calibration de Radar automobile.....	36
Figure 40: Analyse des codes DTC et regroupement des pannes selon la dynamique du véhicule	38
Figure 41: Etapes de test des capteurs de vitesse de roue	39
Figure 42: Procédure d'inspection du système hydraulique.....	39
Figure 43: Test de pression de circuit hydraulique	40
Figure 44: Vérification du modulateur ABS (HCU).....	41
Figure 45: Test dynamique du freinage sur route.....	41
Figure 46: Façade principale du centre technique de l'ETUS Tébessa.....	44
Figure 47: Aperçu de la flotte d'autobus opérationnelle de l'ETUS Tébessa.....	45
Figure 48: Accès à la ligne de control technique dédiée aux véhicules légers et lourds	46
Figure 49: Plaque de ripage encastrée pour la mesure de la dérive	46
Figure 50: Banc combine de suspension	47
Figure 51: : freinomètre a rouleaux	47
Figure 52: Fosse d'inspection équipée de bordures de sécurité et d'un système d'éclairage intègre pour l'expertise des organes inferieur	47
Figure 53: Réglo-phare de précision monté sur rails	48
Figure 54: Analyseur de gaz de type VMAG-790 pour le contrôle de la pollution.....	48
Figure 55: Sonomètre numérique PCE-MSL 1 pour la mesure du niveau sonore	48
Figure 56: Détecteur de fuites de gaz PCE-GA 10	49
Figure 57: Jauge de profondeur numérique (Modèle Brillant Tools BT114903).....	49

LISTE DES FIGURES

Figure 58: Mise en situation des véhicules lourd et légers sur le banc d'essai	49
Figure 59: Véhicule léger (VL) Peugeot 308 faisant l'objet d'une procédure de control technique.....	51
Figure 60: la roue avant est positionnée précisément sur la plaque vibrant du banc de suspension pour l'analyse des amortisseurs (Avant / Arrière)	52
Figure 61: les roues logées entre les deux rouleaux motorisent qui vont opposer une résistance lors du freinage (Roue Avant /Arrière)	52
Figure 62: Compresseur d'air utilise pour l'alimentation en air comprime de la station.....	53
Figure 63: Manomètre de précision pour le contrôle et l'ajustement de la pression des pneumatiques.....	53
Figure 64: Interface de la console opératrice permettant l'accès au module de saisie des données du véhicule.....	54
Figure 65: Formulaire de saisie détaillée des caractéristiques (Energie, PTAC, Puissance) définissant les seuils de référence.....	54
Figure 66: Interface d'identification du propriétaire permettant la saisie des coordonnées (Nom, Prénom, Adresse, Contact) du titulaire du certificat d'immatriculation.....	55
Figure 67: Unité de commande informatisée (Vmag) assurant le pilotage de la ligne et la réception des données de mesure	55
Figure 68: Interface de visualisation des résultats affichant le score de ripage et indicateur de conformité colorimétrique	56
Figure 69: Schéma cinématique d'un banc à mesure de battement	57
Figure 70: Schéma de principe d'un banc a mesuré d'adhérence (Liaison rigide).....	57
Figure 71: Sélection du dossier du véhicule sur l'interface logicielle avant l'engagement des tests de pesée et de la suspension	57
Figure 72: Ecran de mise en condition (1/3) affichant les forces initiales FG (139 daN) et FD (153 daN).....	58
Figure 73: Mesure des forces résiduelles (faible valeur de 5 et 6 DaN).....	58
Figure 74: Résultat du test d'effort, le déséquilibre est de 9%, ce qui est excellent (inferieur a 20%)	59
Figure 75: Bilan final affichant l'efficacité du frein de service (48%) et du frein de stationnement (23%).....	59
Figure 76: Positionnement au réglo-phare avant l'optique du véhicule.....	60
Figure 77: Positionnement du viseur a miroir pour l'alignement du réglo-phare (a)- Molette de blocage et graduation de la colonne du réglo-phare (b).....	60

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 78: Schéma structurel du montant vertical et du bloqueur de colonne (a) - Ecran de visée gradue pour le contrôle de l'inclinaison et de l'asymétrie des feux (b).....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 79: Dispositif de mesure de la hauteur de l'optique sur la colonne du réglo-phare....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 80: Dispositif de compensation de la pente pour le calcul du rabatement (a) - Indicateur a LED pour l'aide au centrage du faisceau (b).....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 81 : Ecran de résultats du contrôle photométrique des différents feux</i>	<i>62</i>
<i>Figure 82: Interface utilisateur et clavier de commande du dispositif de contrôle</i>	<i>62</i>

Liste des Tableaux :

Tableau 1: Les codes OBD- II fréquents33

Tableau 2: Les codes DTC- systèmes ABS ESP37

Table des matières :

Remerciement :	I
Dédicace :	II
Liste de symbole :	III
Liste des figures :	V
Liste des Tableaux :	IX
Table de matières :	X
Résumé :	XV
Introduction générale :	1
CHAPITRE 01 : GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES AVANCÉS D'ASSISTANCE À LA CONDUITE(ADAS)	5
I Introduction :	6
II Définition des systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) :	6
III Architecture générale des systèmes d'aide à la conduite (ADAS) :	6
III.1 Le capteur de vision :	7
III.1.1 Les caméras utilisées dans les systèmes ADAS :	7
III.2 Le capteur de LiDAR :	8
III.3 Le capteur de RADAR :	9
III.4 Les Capteurs ultrasoniques :	9
III.5 L'unité de commande électronique :	10
III.6 Les réseaux de communication :	10
IV La fusion de données :	11
V Fonctionnement des systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) :	12
VI Les principales fonctions des systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) : ...	12
VI.1 Le système de freinage automatique d'urgence :	12
VI.2 Le système d'alerte de risque de collision avant :	13
VI.3 Le système d'alerte de vitesse excessive en virage (SAVV) :	13
VI.4 Le système de régulateur de vitesse adaptatif :	14

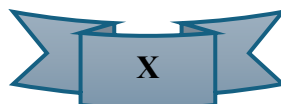


TABLE DE MATIÈRES

VI.5	Le système de surveillance des angles morts :	14
VI.6	Le système d'aide au maintien dans la voie :	15
VII	Les avantages et inconvénients des systèmes ADAS :	15
VIII	Conclusion :	16
CHAPITRE 02 : LES SYSTÈMES DE FREINAGE MODERNES		17
I	Introduction :	18
II	Présentation de système de freinage :	18
II.1	Définition de freinage :	18
II.2	Fonction Global :	19
III	Les dispositifs électroniques de commande du freinage :	19
III.1	Le système de freinage Antiblocage (ABS) :	19
III.2	Le système Anti patinage (ASR) :	20
III.3	Le système de correcteur électronique de trajectoire : (ESP/ESC) :	20
III.4	Le système d'Aide au freinage d'urgence (AFU) :	21
III.5	Le système de Répartiteur électronique de freinage (EBD) :	21
IV	Interaction entre les systèmes ADAS et le système de freinage :	22
IV.1	Utilisation de l'ABS par le freinage d'urgence automatique (AEB) :	22
IV.2	Utilisation des freins par le Adaptive Cruise Control (ACC) :	23
IV.3	Les capteurs de vitesse de roue :	24
V	Impact d'une panne du freinage sur les performances ADAS :	24
V.1	Dépendance des systèmes ADAS au système de freinage :	25
V.2	Conséquences sur les performances des ADAS :	25
V.3	Mesures de sécurité et protocoles diagnostiques :	26
VI	Conclusion :	27
CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L 'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE		28
I	Introduction :	29
II	Les outils de diagnostic automobile :	29

TABLE DE MATIÈRES

II.1	Le système de diagnostic OBD :	29
II.2	Les Oscilloscopes automobiles :	30
II.3	Le multimètre :	31
III	Procédures de diagnostic des ADAS :	32
III.1	Lecture des codes défaut via OBD-II :	32
III.1.1	Analyse des codes défauts diagnostiqués :	33
III.2	Analyse des données en temps réel (distance, angle, vitesse) :	34
III.3	Analyse du réseau CAN :	34
III.4	Calibration des capteurs des systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) :	35
III.4.1	Calibration de capteur de vision(camera) :	35
III.4.2	Calibration de capteur de radar :	36
IV	Diagnostic du système de freinage :	36
IV.1	Lecture des codes défaut ABS/ESP :	36
IV.1.1	Analyse des codes DTC :	37
IV.2	Test des capteurs de vitesse de roue :	38
IV.3	Test du circuit hydraulique et pression de freinage :	39
IV.3.1	Procédure d'inspection du système hydraulique :	39
IV.3.2	Test de pression du circuit hydraulique :	40
IV.4	Vérification du modulateur ABS (HCU) :	40
IV.5	Test dynamique du freinage sur route :	41
V	Conclusion :	41
CHAPITRE 04 : CONTRIBUTION PRATIQUE AU DIAGNOSTIC DES SYSTÈMES ADAS ET DES SYSTÈMES DE FREINAGE		43
I	Introduction :	44
II	Présentation générale de l'établissement :	44
III	Analyse fonctionnelle du service de transport public :	45
III.1	Structuration et exploitation du réseau :	45
III.2	Gestion et ingénierie de maintenance du parc roulant :	45

TABLE DE MATIÈRES

III.3	Organisation du travail et flexibilité opérationnelle :	45
III.4	Infrastructures techniques de support :	45
IV	Analyse fonctionnelle du pôle Contrôle Technique Automobile :	46
IV.1	Organisation et infrastructure :	46
IV.2	Analyse de l'instrumentation et des dispositifs de contrôle technique:	46
IV.2.1	Caractérisation de la liaison au sol et de la dynamique de freinage:	46
IV.2.2	Expertise structurelle et inspection visuelle :	47
IV.2.3	Métrologie optique et conformité environnementale :	47
IV.2.4	Sécurisation des énergies spécifiques et pneumatiques :	48
IV.3	Protocole opératoire d'inspection :	49
IV.4	Typologie des interventions techniques :	50
V	Intégration du diagnostic automobile moderne :	50
VI	Corrélation entre le contrôle technique et l'intégrité des systèmes ADAS :	50
VII	Vers une approche intégrée du diagnostic et du contrôle technique :	51
VIII	Étude de cas pratique : Étude du processus de contrôle technique automobile	51
VIII.1	Présentation du véhicule étudié:	51
VIII.2	Déroulement du contrôle et matériel utilisé :	51
VIII.2.1	Les contrôles sur bancs intégrés :	51
VIII.2.2	Les contrôles sur bancs intelligents :	52
VIII.3	Les procédures préliminaires avant le contrôle :	53
VIII.3.1	L'impact sur les mesures techniques :	53
VIII.4	Utilisation d'une chaîne de contrôle pour véhicules légers :	53
VIII.4.1	Phase de saisie et identification du véhicule:	54
VIII.4.2	Configuration et chaînage automatique :	55
VIII.5	Contrôle de la direction : Mesure du ripage des véhicules légers:	55
VIII.6	Contrôle du poids et de la suspension des véhicules légers :	56
VIII.6.1	Banc de suspension à mesure de battement :	56
VIII.6.2	Banc de suspension à mesure d'adhérence :	57



TABLE DE MATIÈRES

VIII.7	Contrôle du freinage des véhicules légers :	58
VIII.7.1	Procédure de test et mesures :	58
VIII.7.2	Méthodes de contrôle et appréciation des résultats	59
VIII.8	Contrôle de l'éclairage des véhicules légers :	60
VIII.8.1	Procédure de contrôle :	60
VIII.8.2	Valeurs de référence et interprétation des résultats :	61
VIII.8.3	Composition du tableau de bord de l'appareil :	62
IX	Étude de cas pratique : Diagnostic d'un système de freinage d'urgence (AEB).....	62
IX.1	Symptômes et expertise préliminaire :	63
IX.2	Protocole de diagnostic et résolution :	63
IX.3	Procédures de calibration des capteurs ADAS :	63
IX.3.1	Impératifs de calibration :	63
IX.3.2	Méthodes de calibration : Statique vs Dynamique	64
IX.3.2.1	Phase Statique :	64
IX.3.2.2	Phase Dynamique :	64
IX.4	Analyse comparative des codes défauts (DTC) :	64
X	Contribution à la gestion de l'unité de maintenance des véhicules :	64
X.1	Organisation et planification opérationnelle :	65
X.2	Digitalisation et outils technologiques :	67
X.3	Gestion des flux logistiques et des ressources humaines :	67
X.4	Pilotage par les Indicateurs Clés de Performance (KPI) :	67
XI	Organigramme de diagnostic des système ADAS des véhicules dans un atelier :	69
XII	Organigramme de diagnostic de système de freinages des véhicules dans un atelier :	72
	Conclusion générale :	76
	Les Références Bibliographique :	79

Résumé :

L'industrie automobile traverse une mutation technologique profonde, portée par l'intégration massive de l'électronique embarquée et des systèmes intelligents, vecteurs essentiels de l'optimisation des performances et de la sécurité active. La présente étude s'attache à démontrer le rôle névralgique des outils de diagnostic électronique et des protocoles de contrôle modernes dans l'expertise des architectures complexes propres aux véhicules contemporains. Ce travail souligne l'impératif de substituer aux approches conventionnelles des méthodologies d'analyse avancées, capables de répondre aux exigences de détection des défaillances et de fiabilisation des dispositifs de sécurité. Bien que la sophistication croissante des technologies pose des défis techniques majeurs, cette recherche confirme que la maîtrise des outils de diagnostic constitue un levier fondamental pour l'innovation, la maintenance préventive et la modernisation durable du secteur automobile.

Abstract:

The automotive industry is currently experiencing a profound technological paradigm shift, propelled by the massive integration of embedded electronics and intelligent systems. These advancements serve as critical drivers for enhancing vehicle performance and active road safety. This research aims to evaluate the strategic importance of contemporary diagnostic and technical inspection protocols, emphasizing their fundamental role in deciphering the complex architectures of modern vehicles. Furthermore, the study asserts the necessity of transitioning toward advanced fault-detection methodologies to optimize the reliability of safety-critical systems. Although the escalating technological complexity presents significant diagnostic challenges, this work underscores that such innovative approaches are indispensable for the sustainable modernization and continued advancement of the automotive sector.

ملخص:

يشهد قطاع السيارات تحولاً جذرياً نحو الرقمنة والأنظمة الذكية، مما فرض واقعاً جديداً يتطلب الانتقال من أساليب الصيانة التقليدية إلى تقنيات التشخيص الرقمي المتقدمة لضمان أداء وسلامة المركبات المعاصرة. يكمن الهدف الرئيس من هذه المذكرة في تحليل الفعالية العملية لأدوات التشخيص الحديثة وقدرتها على فحص وتقييم الأنظمة الإلكترونية المعقدة المسؤولة عن أمان المركبة، مع توضيح كيفية استغلال هذه الوسائل في تحليل الأعطال بدقة واحترافية. وتسعى الدراسة من خلال الربط بين المفاهيم النظرية والمعاينة الميدانية إلى إبراز ضرورة تكامل الخبرة التقنية مع التكنولوجيا الرقمية لمواكبة التحديات التي تفرضها الأنظمة الذكية.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

L'industrie automobile connaît une transformation profonde liée à l'intégration massive de l'électronique embarquée, des systèmes de communication numériques et des technologies d'assistance à la conduite (ADAS), ce qui a permis d'améliorer significativement la sécurité routière, le confort de conduite et les performances globales des véhicules. Toutefois, cette évolution a également introduit une complexité accrue dans les architectures des véhicules modernes, rendant leur diagnostic et leur maintenance beaucoup plus difficiles. Dans ce contexte, les véhicules ne peuvent plus être analysés uniquement à travers des approches mécaniques traditionnelles, car ils reposent désormais sur une interaction permanente entre plusieurs sous-systèmes tels que les calculateurs électroniques (ECU), les réseaux de communication (CAN, LIN), les capteurs intelligents (radar, caméra, capteurs de vitesse) ainsi que les actionneurs pilotés électroniquement. Ainsi, toute défaillance peut être d'origine mécanique, électrique, électronique ou logicielle, ce qui complique considérablement le processus d'identification des pannes.

Les systèmes ADAS, tels que le freinage d'urgence automatique (AEB), le régulateur de vitesse adaptatif (ACC) ou l'assistance au maintien de voie, exigent une précision élevée dans le traitement des données issues des capteurs, où la moindre erreur de calibration ou de communication peut entraîner des dysfonctionnements critiques ayant un impact direct sur la sécurité des usagers de la route. De plus, les centres de contrôle technique sont aujourd'hui confrontés à une limite importante, car leurs méthodes d'inspection traditionnelles, bien qu'efficaces pour les composants mécaniques et les éléments de sécurité de base, restent insuffisantes pour détecter certaines anomalies électroniques complexes ou des défauts logiciels invisibles sans recours à des outils de diagnostic avancés.

Ainsi, la problématique centrale de cette étude peut être formulée comme suit :

« Dans quelle mesure les outils de diagnostic automobile modernes et les procédures de contrôle technique permettent-ils de garantir un diagnostic fiable, précis et exhaustif des systèmes ADAS et des systèmes de freinage dans les véhicules contemporains, malgré la complexité croissante des architectures électroniques embarquées ? »

Objectifs de l'étude :

L'objectif principal de cette étude est d'analyser le rôle et l'efficacité des outils de diagnostic automobile dans l'identification, l'analyse et la résolution des défaillances des systèmes modernes des véhicules, en particulier les systèmes ADAS et le système de freinage. Plus spécifiquement, l'étude cherche

1. Analyse des outils de diagnostic automobile modernes :

Cet objectif consiste à étudier en profondeur les principaux équipements utilisés dans le diagnostic automobile contemporain, notamment :

- ❖ Le système OBD-II pour la lecture des codes défauts (DTC) et l'accès aux données des calculateurs ;
- ❖ L'oscilloscope automobile pour l'analyse des signaux électriques et électroniques en temps réel ;
- ❖ Le multimètre pour la mesure des grandeurs électriques fondamentales (tension, courant, résistance).

L'objectif est de comprendre leur principe de fonctionnement, leur rôle complémentaire et leur contribution dans la localisation précise des pannes.

2. Étude des procédures de diagnostic des systèmes ADAS :

Cet objectif vise à analyser les méthodes utilisées pour diagnostiquer les systèmes avancés d'aide à la conduite, notamment :

- ❖ La lecture et l'interprétation des codes défaut liés aux capteurs ADAS ;
- ❖ L'analyse des données en temps réel issues des capteurs (radar, caméra, vitesse, angle de direction) ;
- ❖ L'étude des réseaux de communication embarqués (CAN, LIN) pour détecter les problèmes de transmission de données.

L'objectif est de montrer comment ces outils permettent de garantir la fiabilité des fonctions de sécurité active.

3. Analyse du diagnostic du système de freinage :

Cet objectif porte sur l'étude des systèmes de freinage modernes, en particulier :

- ❖ Le système ABS (Anti-lock Braking System) ;
- ❖ Le système ESP (Electronic Stability Program) ;
- ❖ Les circuits hydrauliques et les actionneurs de freinage.

Il s'agit d'examiner les méthodes de diagnostic associées, notamment la lecture des codes défaut, le test des capteurs de vitesse de roue, et l'analyse des performances hydrauliques.

4. Évaluation des centres de contrôle technique :

Cet objectif consiste à étudier l'organisation, les équipements et les procédures appliquées dans les centres de contrôle technique automobile. Il inclut :

- ❖ L'analyse des chaînes de contrôle (freinage, suspension, ripage, éclairage, pollution) ;

- ❖ L'étude des instruments de mesure utilisés ;
- ❖ L'évaluation de la capacité du contrôle technique à détecter les défaillances modernes.

5. Analyse de l'impact des défaillances sur la sécurité des véhicules :

Cet objectif vise à comprendre les conséquences des anomalies mécaniques et électroniques sur :

- ❖ Le fonctionnement des systèmes ADAS ;
- ❖ La stabilité et la tenue de route du véhicule ;
- ❖ L'efficacité du système de freinage ;
- ❖ La sécurité active et passive des usagers.

Afin de répondre à la problématique posée et d'atteindre les objectifs définis, ce mémoire est structuré en quatre chapitres complémentaires, s'inscrivant dans une progression logique allant des fondements théoriques vers l'analyse pratique et l'application sur le terrain.

Le premier chapitre : est consacré aux généralités relatives aux systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS). Il expose les principes fondamentaux de ces technologies, leur architecture globale ainsi que les principaux éléments constitutifs, notamment les capteurs, les calculateurs électroniques et les réseaux de communication embarqués. Ce chapitre met également en lumière les principaux systèmes de sécurité active, tels que le freinage d'urgence automatique (AEB), le régulateur de vitesse adaptatif (ACC) et l'assistance au maintien de voie, tout en soulignant leur contribution essentielle à l'amélioration de la sécurité routière et des performances des véhicules modernes.

Le deuxième chapitre : porte sur les systèmes de freinage modernes. Il retrace l'évolution des dispositifs de freinage, depuis les systèmes mécaniques conventionnels jusqu'aux systèmes électroniques avancés tels que l'ABS et l'ESP. Ce chapitre décrit également le fonctionnement des composants hydrauliques, des capteurs de vitesse de roue ainsi que des actionneurs, en mettant en évidence le rôle central du système de freinage dans la sécurité active du véhicule et son interaction étroite avec les systèmes ADAS.

Le troisième chapitre : est dédié à l'application des outils de diagnostic dans l'analyse des systèmes ADAS et du système de freinage. Il présente les principales techniques de diagnostic électronique utilisées dans les véhicules contemporains, notamment le protocole OBD-II, les scanners de diagnostic, l'oscilloscope et les multimètres. Ce chapitre permet d'étudier la communication avec les calculateurs (ECU), ainsi que l'exploitation et l'interprétation des codes défauts (DTC), tout en analysant les signaux en temps réel afin d'identifier avec précision les anomalies affectant les systèmes étudiés.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le quatrième chapitre : repose sur une étude pratique réalisée au sein d'un environnement professionnel. Il vise à appliquer les connaissances théoriques acquises à travers des cas concrets de diagnostic et de contrôle technique des véhicules. Ce chapitre met en évidence les procédures de détection des pannes, l'analyse des défaillances des systèmes ADAS et de freinage, ainsi que les opérations de maintenance et de calibration nécessaires au bon fonctionnement des systèmes de sécurité embarqués. Il permet également de souligner la corrélation entre les observations de terrain et les exigences des technologies automobiles modernes.

CHAPITRE 01 :

GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES

AVANCÉS D'ASSISTANCE À LA

CONDUITE(ADAS)

I Introduction :

Les systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) représentent une évolution technologique majeure dans l'industrie automobile, visant à améliorer la sécurité routière, à réduire les accidents et à optimiser le confort de conduite. Grâce à l'intégration de capteurs intelligents, d'unités électroniques de commande et de réseaux de communication embarqués, les véhicules modernes peuvent assister le conducteur dans différentes situations et intervenir automatiquement en cas de danger. Ce chapitre présente une définition générale des ADAS, tout en décrivant leur architecture technique basée sur les caméras, radars, lidars, capteurs ultrasoniques, calculateurs électroniques et réseaux de communication tels que CAN, LIN et FlexRay. Une attention particulière est accordée à la fusion des données, essentielle pour assurer une interprétation fiable et cohérente des informations collectées par les différents capteurs. Enfin, le chapitre analyse les principales fonctions des ADAS, notamment l'AEB, l'ACC, le LKA, le BSD et le FCW, ainsi que leurs avantages, leurs limites et leur interaction avec le système de freinage

II Définition des systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) :

Les systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) regroupent un ensemble de technologies embarquées conçues pour améliorer la sécurité routière en aidant le conducteur à mieux percevoir la route, les dangers potentiels et les autres usagers. Ces systèmes s'appuient sur des capteurs et des programmes informatiques capables de collecter et d'analyser les données de l'environnement afin de permettre au véhicule de comprendre son milieu et d'assister le conducteur dans la conduite. L'assistance fournie peut prendre la forme d'une amélioration du contrôle du véhicule par le conducteur ou d'interventions automatisées réalisées directement par le véhicule lui-même. L'objectif principal des ADAS est d'accroître la sécurité en améliorant la capacité du véhicule à détecter rapidement les dangers et à réagir de manière appropriée en quelques millisecondes afin d'éviter les accidents. [1] [2]

III Architecture générale des systèmes d'aide à la conduite (ADAS):

Les systèmes des ADAS sont classifiés selon ces types des capteurs utilisés. Les capteurs les plus utilisés sont les capteurs de vision, LIDAR, RADAR, ultrasoniques, ...etc.

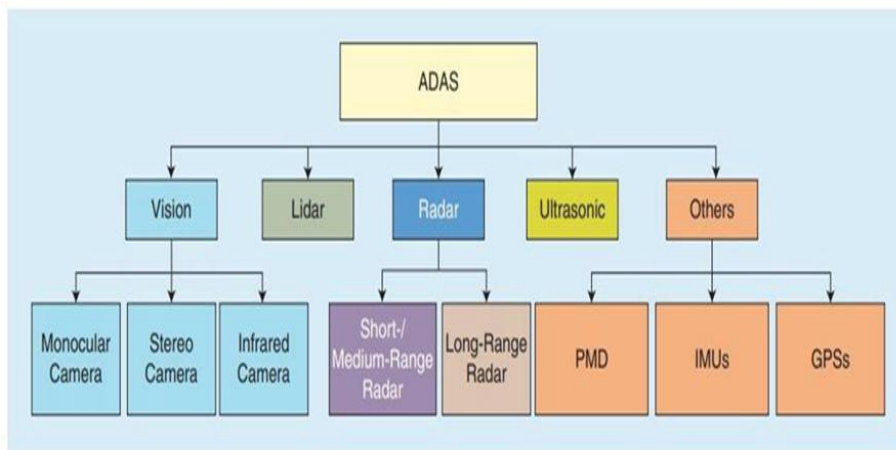


Figure 1:Architecture générale des systèmes ADAS

Ci-dessous nous avons décrit ces capteurs, mais les autres capteurs sont utilisés pour renforcer les fonctions du système.

III.1 Le capteur de vision :

La caméra est le capteur de vision le plus utilisée dans les ADAS basé sur la vision, elle acquit des images qui fournissent des informations visuelles au système pour comprendre et analyser la situation du véhicule dans un environnement (comme un exemple connaître la présence des objets autour du véhicule), aussi elle peut être utilisée pour surveiller l'intérieur de véhicule. Les avantages de l'utilisation de la caméra sont la facilité de l'intégration dans le véhicule, elle est peu coûteuse, et le plus important, c'est qu'elle peut fournir beaucoup des informations précises à l'environnement au système par rapport les autres captures [3]

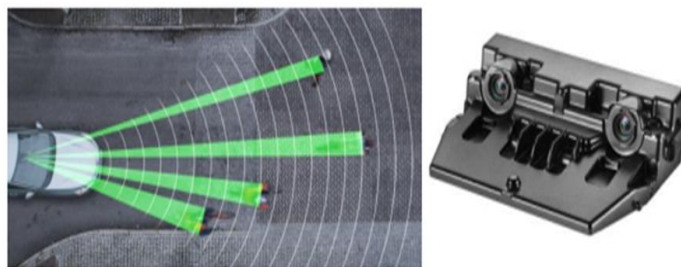


Figure 2: Le capteur de vision (CAMERA)

III.1.1 Les caméras utilisées dans les systèmes ADAS :

Les systèmes ADAS utilisent différents types de caméras pour assurer la perception de l'environnement routier et améliorer la sécurité de conduite. Les caméras monoculaires, basées sur un seul objectif, permettent la détection d'obstacles, la reconnaissance des panneaux de signalisation, l'identification des piétons ainsi que la surveillance du conducteur, tout en nécessitant un traitement d'image relativement simple. Cependant, elles présentent une limitation concernant l'estimation précise de la profondeur et des distances. Les caméras

stéréoscopiques, grâce à l'analyse de deux images et à l'utilisation d'une carte de disparité, offrent une meilleure perception tridimensionnelle et un calcul plus précis des distances, ce qui améliore les performances des fonctions telles que la détection des voies, des piétons et des panneaux de signalisation. Par ailleurs, les caméras thermiques, qu'elles soient actives ou passives, exploitent le rayonnement infrarouge afin de détecter les objets et les usagers dans des conditions de faible visibilité, ce qui renforce l'efficacité des systèmes ADAS, notamment durant la conduite nocturne ou dans des environnements difficiles. [4]

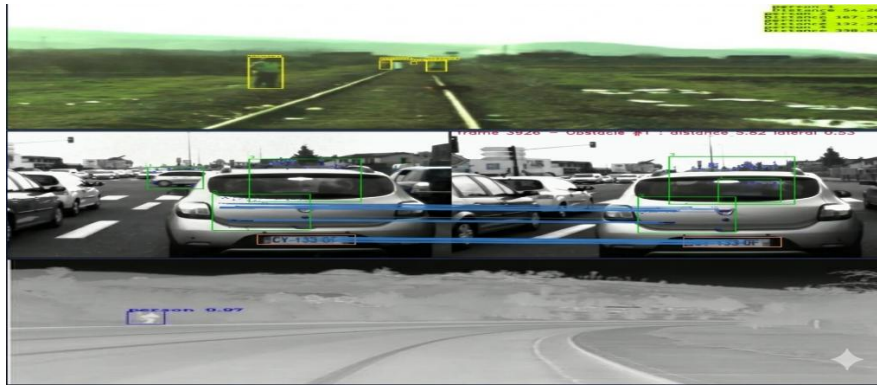


Figure 3: Exemple de détection d'objet par les caméras utilisées dans les ADAS (Camera monoculaire, stéréoscopique et thermique)

III.2 Le capteur de LiDAR :

La télédétection par laser (En anglais Light Detection And Ranging (LIDAR)) a une technique très simple pour connaître l'environ du véhicule, c'est que lidar tire un faisceau de laser puis en mesurant le temps nécessaire pour que le faisceau de laser rebondisse sur ce capteur, Ces systèmes peuvent produire des images 3D à haute résolution et générer une image en 3D de 360° d'environnement avec des informations de profondeur précises. Les avantages de Lidar sont qu'il est utile dans la détection des objets, et plus que ça, les véhicules qui a LIDAR, il peut voir une gamme jusqu'à 60 mètres. Mais ces types des capteurs sont lourds et volumineux et très coûteux, et il a un autre inconvénient, c'est que le changement du météo (par exemple la pluie, un brouillard) peut influencer sur l'exactitude de système.[5]



Figure 4: Le capteur de LIDAR

III.3 Le capteur de RADAR :

Le capteur de détection et de télémétrie radio, appelé Radio Detection And Ranging (RADAR), est une technologie performante utilisée pour l'estimation précise des distances dans les systèmes de sécurité automobile. Son fonctionnement repose sur l'émission de micro-ondes et sur la mesure du décalage de fréquence entre l'onde émise et l'onde reçue après réflexion sur un objet, ce qui permet de déterminer la distance entre l'émetteur et l'obstacle. Comparé au LIDAR, le RADAR présente l'avantage de détecter des objets à longue distance, d'être peu sensible aux conditions météorologiques telles que la pluie ou le brouillard et d'être moins coûteux. Selon leur portée de détection, les radars sont classés en radars à courte portée (0,2 à 30 m), à moyenne portée (30 à 80 m) et à longue portée (80 à 200 m).[5]



Figure 5: Le capteur de RADDAR

III.4 Les Capteurs ultrasoniques :

Les ultrasons sont des ondes sonores dont la fréquence dépasse 20 kHz, ce qui les rend inaudibles pour l'être humain. Les capteurs ultrasoniques, fonctionnant par effet électronique ou piézoélectrique, utilisent l'air comme milieu de propagation et regroupent l'émetteur ainsi que le récepteur dans un même boîtier. Le système émet des ondes ultrasoniques qui se réfléchissent sur un obstacle avant de revenir vers le capteur, et le temps de parcours aller-retour permet de calculer la distance de l'objet par rapport à la source. Ces capteurs offrent une capacité de détection allant de quelques centimètres jusqu'à environ 10 mètres.[6]



Figure 6: Un capteur d'ultrasonique

III.5 L'unité de commande électronique :

L'unité de contrôle électronique (UCE), appelée Electronic Control Unit (ECU) en anglais, est un système embarqué chargé de contrôler un ou plusieurs sous-systèmes du véhicule. Elle se compose d'un calculateur électronique associé à un logiciel embarqué permettant de traiter les informations provenant des différents capteurs du véhicule, tels que les capteurs de température, de pression, de vitesse ou de choc, afin de commander les actionneurs correspondants. L'UCE assure également la sécurité du véhicule et des passagers en détectant, mémorisant et exploitant les défauts liés aux capteurs et aux actionneurs dans le cadre du diagnostic embarqué. Dans une architecture multiplexée, plusieurs UCE communiquent entre elles à travers des bus informatiques, notamment le réseau CAN, afin de partager différentes fonctions et services. [7]



Figure 7: L'unité de commande électroniques

III.6 Les réseaux de communication :

Les véhicules automobiles modernes reposent sur plusieurs réseaux de communication embarqués permettant l'échange des informations entre les calculateurs électroniques, les capteurs et les actionneurs afin d'assurer le fonctionnement coordonné des différents systèmes du véhicule. Le bus CAN (Controller Area Network) constitue un protocole de communication série temps réel largement utilisé dans l'industrie automobile grâce à sa structure multiplexée permettant à plusieurs unités électroniques de communiquer efficacement sur un même réseau tout en réduisant la complexité et le coût du câblage. Le bus LIN (Local Interconnect Network) représente une solution de communication économique destinée aux applications nécessitant un faible débit de données, notamment les équipements de confort et les dispositifs électroniques secondaires. Par ailleurs, le bus FlexRay a été développé pour les systèmes avancés nécessitant une transmission rapide, synchronisée et fiable des données, particulièrement dans les applications de sécurité, de contrôle dynamique et des systèmes intelligents d'assistance à la conduite. [8] [9]

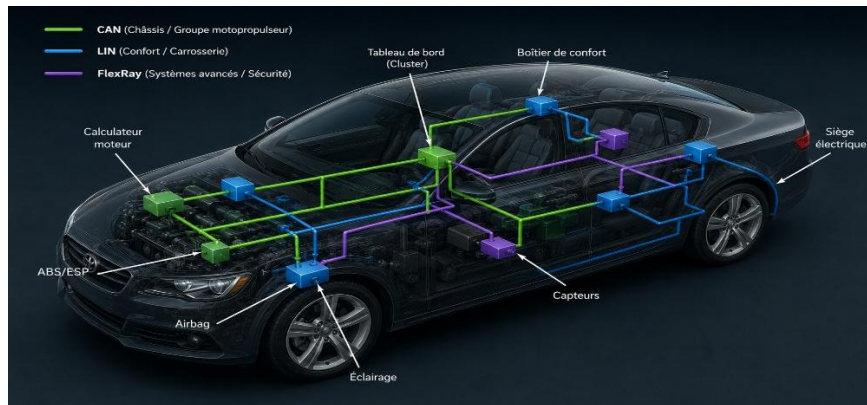


Figure 8: Architecture des réseaux de communication embarquée dans un véhicule moderne (CAN, LIN, FlexRay)

IV La fusion de données :

Dans les systèmes ADAS, aucun capteur ne peut, à lui seul, satisfaire l'ensemble des exigences liées à la perception de l'environnement, ce qui conduit à l'utilisation de techniques de fusion de données combinant plusieurs capteurs tels que les caméras, les radars et les LiDAR. Les architectures les plus utilisées dans l'industrie automobile reposent principalement sur l'association radar/caméra, reconnue pour son efficacité et son coût relativement réduit, tandis que le LiDAR est généralement réservé aux véhicules haut de gamme. Les algorithmes de fusion exploitent conjointement les informations issues des différents capteurs ainsi que les données de localisation et de cartographie afin d'obtenir une représentation plus précise et plus fiable de l'environnement du véhicule. Cette approche permet d'améliorer l'interprétation des scènes routières, de réduire les incertitudes liées aux détections isolées et d'évaluer la fiabilité des informations lorsque des conflits apparaissent entre les différentes sources de données. Ainsi, la fusion des données contribue à renforcer la précision, la robustesse et la sécurité des systèmes avancés d'assistance à la conduite. [10]

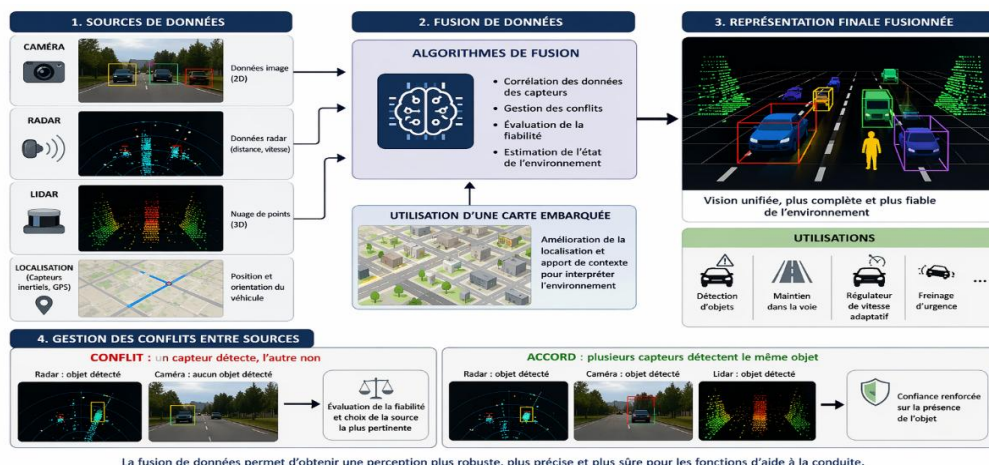


Figure 9: Architecture et rôle des algorithmes de fusion de données dans les systèmes ADAS

V Fonctionnement des systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) :

La plupart des applications des systèmes ADAS suivent des processus similaires afin d'assister le conducteur, en utilisant d'abord différents capteurs pour acquérir des informations sur l'environnement du véhicule, telles que les images, les signaux ou les lumières. Les données captées sont ensuite améliorées et analysées à l'aide d'algorithmes de prétraitement, de traitement et de modèles d'intelligence artificielle, notamment l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond, afin de comprendre l'environnement du véhicule. Lorsque le système détecte une situation critique, comme un risque de collision ou une sortie involontaire de voie, il prend une décision en intervenant directement, par exemple par un freinage d'urgence automatique, ou en avertissant le conducteur pour éviter l'accident. Ainsi, les systèmes ADAS constituent des dispositifs de sécurité active agissant avant l'accident afin de réduire sa gravité ou de l'éviter, contrairement aux systèmes de sécurité passive qui interviennent pendant l'accident. [11]

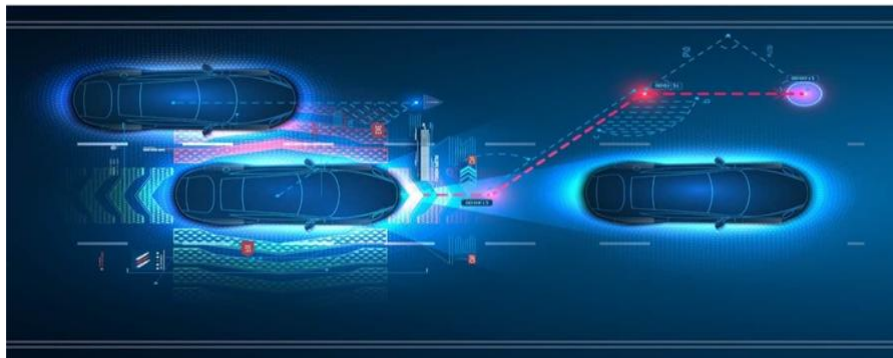


Figure 10: Illustration du fonctionnement des systèmes ADAS

VI Les principales fonctions des systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) :

VI.1 Le système de freinage automatique d'urgence :

Le système de freinage automatique d'urgence AEB (Automatic Emergency Braking) est un dispositif de sécurité active visant à éviter ou à réduire la gravité des collisions arrière grâce aux informations fournies par les capteurs surveillant la zone située devant le véhicule. Ce système comprend principalement la fonction de freinage automatique, la fonction d'avertissement de collision avant (FCW) ainsi qu'une interface homme-machine, tandis que ses algorithmes de décision reposent souvent sur des paramètres tels que le temps avant collision (TTC), la distance critique de freinage et la décélération requise. L'étude des systèmes

AEB nécessite également la prise en compte de plusieurs facteurs, notamment le mode de conduite, le type de route, l'environnement et les différents composants du système AEB. [12]

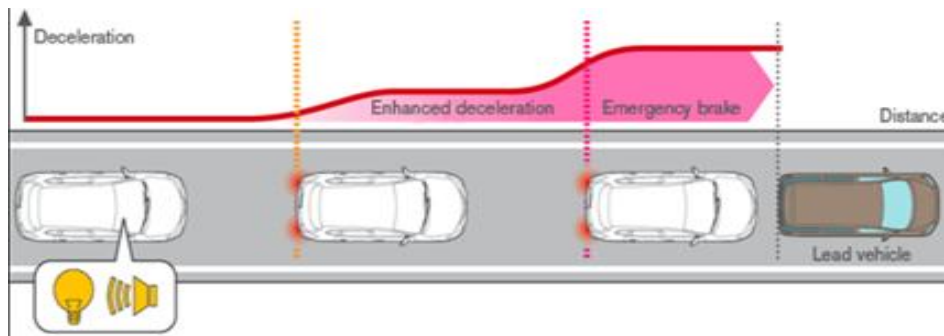


Figure 11: le système de freinage d'urgence automatique (AEB)

VI.2 Le système d'alerte de risque de collision avant :

Le système d'alerte de risque de collision avant ou FCW (Frontal Collision Warning) a pour objectif d'éviter les collisions. Son principe de fonctionnement s'appuie sur une surveillance de la route à l'aide de capteurs laser ou de caméras, qui sont installés à l'avant du véhicule. Ces capteurs permettent de détecter des obstacles et de déterminer la distance entre le véhicule et ces obstacles. Si le système détecte que le véhicule s'approche trop près de l'obstacle, alors il fournit des alertes au conducteur par le biais d'une interface homme-machine afin que le conducteur réagisse et par conséquent évite la collision.[13]

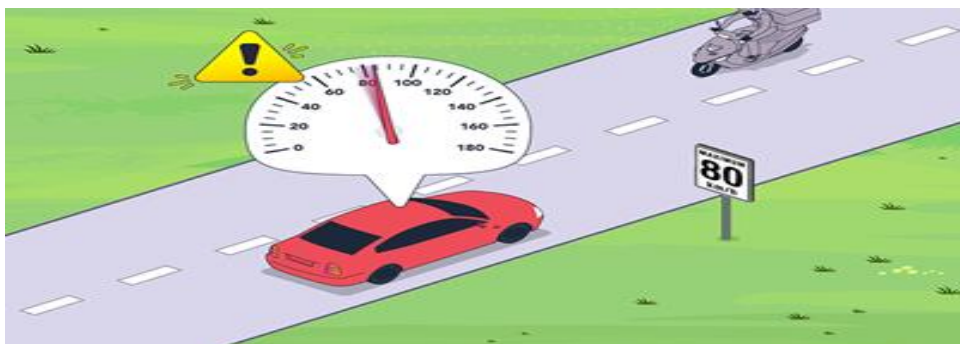


Figure 12: le système d'alerte de risque de collision avant (FCW)

VI.3 Le système d'alerte de vitesse excessive en virage (SAVV) :

Le système d'alerte de vitesse en virage CSW (Curve Speed Warning) avertit le conducteur lorsque la vitesse du véhicule est inadaptée à l'approche d'un virage afin de réduire les risques de perte de contrôle. Son fonctionnement repose sur l'utilisation d'un récepteur GPS, d'un capteur de vitesse, d'un capteur de lacet et de cartes routières numériques permettant de déterminer la position du véhicule et les caractéristiques de la route, tout en prenant en compte des facteurs externes tels que les conditions météorologiques et le trafic. Lorsque la vitesse du

véhicule dépasse la limite estimée comme sécuritaire pour le virage, le système avertit le conducteur suffisamment tôt afin qu'il puisse adapter sa vitesse avant d'entrer dans le virage. [13]



Figure 13: Le système d'alerte de vitesse excessive en virage (CSW)

VI.4 Le système de régulateur de vitesse adaptatif :

Le système de régulateur de vitesse adaptatif ACC (Adaptive Cruise Control) est un système d'assistance conçu pour améliorer la sécurité et le confort de conduite sur autoroute, fonctionnant généralement à partir de 30 km/h et permettant de maintenir automatiquement une vitesse programmée par le conducteur. Grâce à un télémètre embarqué, de type radar ou laser, le système détecte les véhicules circulant sur la même voie, mesure leur distance et leur vitesse, puis détermine également la trajectoire du véhicule à partir de l'accélération latérale et de l'angle du volant. Lorsque le véhicule détecté roule plus lentement, l'ACC décélère automatiquement afin de conserver une distance de sécurité prédéfinie et avertit le conducteur si une intervention est nécessaire, avant de réaccélérer automatiquement jusqu'à la vitesse programmée lorsque la voie redevient libre... [13]



Figure 14: le système de régulateur de vitesse adaptif (ACC)

VI.5 Le système de surveillance des angles morts :

Le système de surveillance des angles morts BSM (Blind Spot Monitoring) est un système d'aide à la conduite destiné à avertir le conducteur de la présence d'un véhicule dans les zones

non visibles situées à gauche et à droite du véhicule. Grâce à des capteurs installés sur les côtés du véhicule, le système détecte les véhicules circulant dans les angles morts et active un témoin lumineux dans le rétroviseur, notamment lorsque le conducteur actionne le clignotant. Ce fonctionnement permet d'alerter le conducteur uniquement lorsque cela est nécessaire, réduisant ainsi les risques de collision tout en évitant les distractions inutiles... [14]

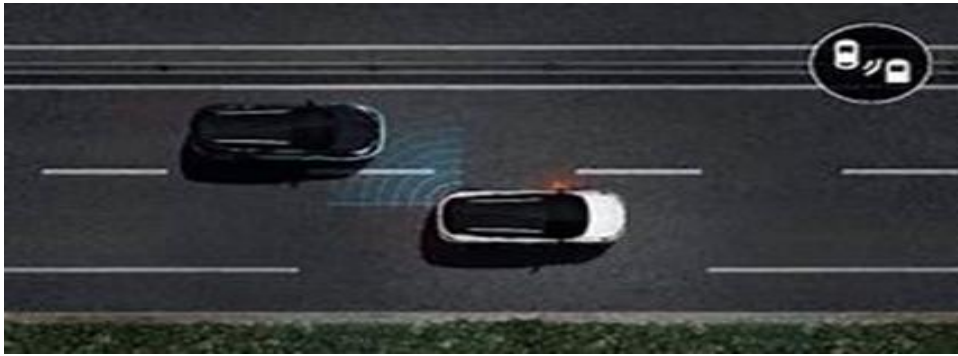


Figure 15: Le système de surveillance des angles morts (BSM)

VI.6 Le système d'aide au maintien dans la voie :

Le système d'aide au maintien dans la voie LKA (Lane Keeping Assist) utilise une caméra avant pour détecter le franchissement involontaire des marquages au sol et avertit le conducteur à l'aide d'alertes visuelles ainsi que de vibrations du volant. Afin d'améliorer la sécurité routière et l'expérience de conduite, de nombreux constructeurs automobiles intègrent ce système dans les véhicules modernes pour prévenir les écarts involontaires de trajectoire. En plus d'alerter le conducteur, le système est capable de corriger automatiquement la trajectoire du véhicule afin de le maintenir dans sa voie de circulation.[14]



Figure 16: Le système d'aide au maintien dans la voie (LKA)

VII Les avantages et inconvénients des systèmes ADAS :

Les systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS) jouent un rôle important dans l'amélioration de la sécurité routière et du confort de conduite grâce à des fonctions telles que le freinage d'urgence, l'assistance au maintien dans la voie, la surveillance des angles morts et

la détection de fatigue, qui contribuent à réduire les risques d'accidents et à améliorer la visibilité du conducteur. Toutefois, malgré leurs nombreux avantages, ces systèmes présentent certaines limites, notamment le risque de dépendance excessive à la technologie, les fausses alertes, les limitations de performance dans certaines conditions météorologiques ou routières, ainsi que la complexité de leur utilisation pour certains conducteurs. Ainsi, l'efficacité des systèmes ADAS dépend non seulement de leurs performances technologiques, mais également de la vigilance et de la bonne compréhension du conducteur quant à leur fonctionnement et leurs limites. [15]

VIII Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS), en définissant leurs objectifs principaux qui sont d'améliorer la sécurité routière, d'augmenter le confort de conduite et de réduire le nombre et la gravité des accidents. Nous avons ensuite décrit leur architecture, basée sur l'intégration de capteurs (caméras, radars, lidars, ultrasons), d'unités de commande électroniques (ECU) et de réseaux de communication embarqués tels que CAN, LIN et FlexRay, assurant la collecte et l'échange rapide des données. Nous avons également étudié les principales fonctions ADAS comme l'AEB, l'ACC, le LKA, le BSD et le FCW, qui reposent sur la fusion de données issues de plusieurs capteurs pour une meilleure interprétation de l'environnement du véhicule. Par ailleurs, ces systèmes offrent des avantages importants en matière de sécurité et de réduction des accidents, malgré certaines limites liées à la dépendance aux capteurs, aux conditions environnementales et à leur complexité croissante. Enfin, ce chapitre met en évidence le rôle central des ADAS dans l'évolution des véhicules modernes et introduit l'étude du système de freinage, élément essentiel pour garantir l'efficacité de ces technologies d'assistance.

CHAPITRE 02 :

LES SYSTÈMES DE FREINAGE MODERNES

I Introduction :

Le système de freinage constitue un élément essentiel de la sécurité active des véhicules automobiles, puisqu'il assure le contrôle de la vitesse, l'arrêt du véhicule et la prévention des accidents. Avec l'évolution technologique de l'industrie automobile, il est passé d'un mécanisme purement mécanique à un système intégré combinant des technologies mécaniques, hydrauliques, électroniques et numériques afin d'améliorer la précision du freinage, la stabilité du véhicule et la sécurité des passagers. L'intégration de systèmes tels que l'ABS, l'ESP/ESC, l'EBD et le BAS a permis d'optimiser les performances du freinage et de réduire les risques de perte de contrôle du véhicule. Par ailleurs, dans le cadre des systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS), le système de freinage joue un rôle central, notamment pour des fonctions comme le freinage automatique d'urgence (AEB) et le régulateur de vitesse adaptatif (ACC), qui dépendent d'une réponse rapide et fiable du freinage. Ce chapitre présente les principes généraux du système de freinage, tout en analysant les systèmes électroniques associés et leur contribution à la stabilité et aux performances globales du véhicule. Il met également en évidence l'interaction entre le système de freinage et les ADAS, ainsi que l'impact potentiel des défaillances du freinage sur l'efficacité des technologies d'assistance à la conduite.

II Présentation de système de freinage :

II.1 Définition de freinage :

Un frein est un dispositif permettant de ralentir ou d'immobiliser les pièces en mouvement d'une machine ou d'un véhicule en déplacement, en assurant la dissipation de l'énergie cinétique. Son fonctionnement repose sur la transformation de l'énergie mécanique absorbée, qui peut provenir de l'énergie potentielle (cas des appareils de levage), de l'énergie cinétique (cas des véhicules) ou des deux simultanément, notamment lors d'une descente. Cette énergie est ensuite restituée sous une autre forme, principalement thermique ou selon le type de système de freinage utilisé.[16]

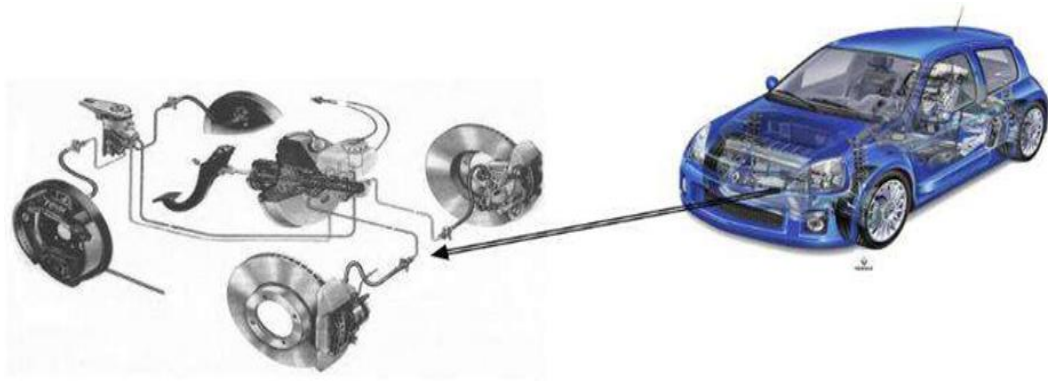


Figure 17: Schémas de système de freinage

II.2 Fonction Global :

Le système de freinage d'un véhicule a pour fonction principale de réduire ou d'arrêter sa vitesse en transformant l'énergie cinétique en énergie thermique ou électrique selon le type de frein. En actionnant la pédale de frein, un effort est transmis aux plaquettes qui viennent exercer une pression sur le disque solidaire de la roue, générant ainsi un frottement responsable du ralentissement. Afin de limiter l'effort du conducteur, un servofrein est généralement intégré pour amplifier la force appliquée. Le système de freinage idéal doit permettre un arrêt rapide et sécurisé du véhicule tout en assurant des critères essentiels tels que l'efficacité, la stabilité de la trajectoire sans dérapage ni déséquilibre, la fidélité du comportement de freinage pour un même effort appliqué, ainsi que le confort caractérisé par un freinage progressif, silencieux et maîtrisé. Malgré les avancées technologiques, les systèmes actuels constituent toujours des compromis entre performance, sécurité et coût de production. [17][18]

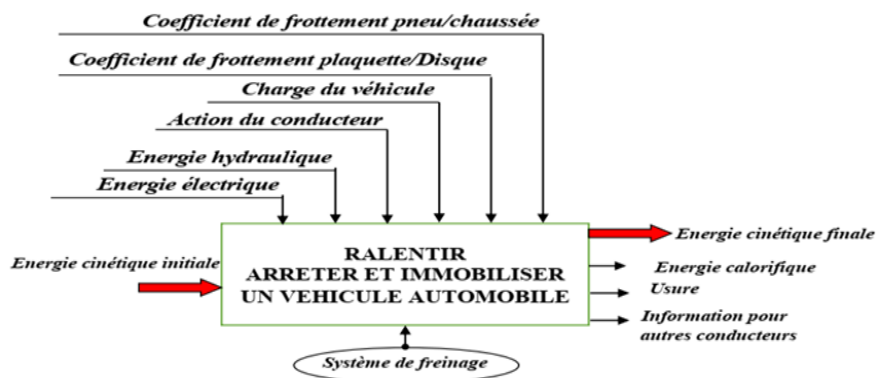


Figure 18: Fonction global de système freinage

III Les dispositifs électroniques de commande du freinage :

III.1 Le système de freinage Antiblocage (ABS) :

Le système de freinage Antiblocage ou ABS (Anti-lock Braking System) est un système qui aide le conducteur à conserver le contrôle du véhicule lors de freinages intenses. Il empêche le blocage des roues, phénomène particulièrement dangereux sur les chaussées glissantes telles que la pluie, le verglas ou la neige, car un véhicule dont les roues sont bloquées devient difficile à diriger. Le système ABS est constitué principalement d'un calculateur électronique (ECU), de capteurs de vitesse des roues et d'un bloc hydraulique chargé de moduler la pression de freinage. L'ECU analyse en permanence la vitesse de rotation des roues et détecte toute décélération anormale indiquant un risque de blocage, puis commande la réduction de la pression hydraulique pour permettre à la roue de retrouver sa rotation. Ce cycle de régulation

se répète rapidement afin d'assurer la stabilité du véhicule et d'améliorer sa contrôlabilité, notamment en virage.[19]

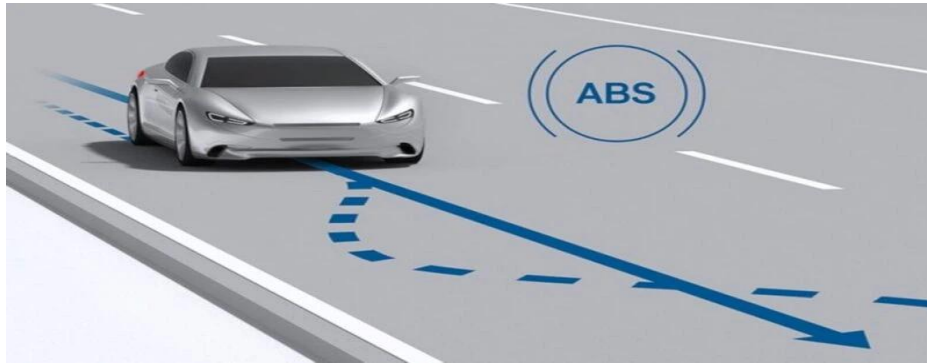


Figure 19: Le système de freinage Antiblocage (ABS)

III.2 Le système Anti patinage (ASR) :

Le système anti-patinage, ou TCS (Traction Control System), est un dispositif de sécurité active qui améliore l'adhérence des roues motrices lors des phases d'accélération, notamment sur des surfaces glissantes comme la neige, la glace ou le gravier. Il fonctionne en complément du système ABS et utilise des capteurs de vitesse des roues ainsi qu'un calculateur électronique qui surveille en permanence toute perte de traction afin de détecter le patinage. Lorsqu'un glissement est identifié, le système agit soit en freinant la roue concernée via le modulateur hydraulique, soit en réduisant le couple moteur, puis revient à un mode de surveillance normal dès que l'adhérence est rétablie. [20]



Figure 20: Le système Anti patinage ASR

III.3 Le système de correcteur électronique de trajectoire : (ESP/ESC) :

Le système ESP/C (Electronic Stability Program/Control) est un dispositif de sécurité active antidérapiage qui améliore la stabilité et le contrôle de la trajectoire du véhicule. Il fonctionne en comparant la trajectoire souhaitée par le conducteur, déterminée à partir de l'angle du volant, de la vitesse du véhicule et d'autres paramètres, à la trajectoire réelle mesurée par différents capteurs. En cas de divergence, notamment lors d'un sous-virage ou d'un survirage, il intervient automatiquement en freinant certaines roues de manière ciblée et peut également réduire le couple moteur afin de rétablir l'adhérence et stabiliser la trajectoire.[20]

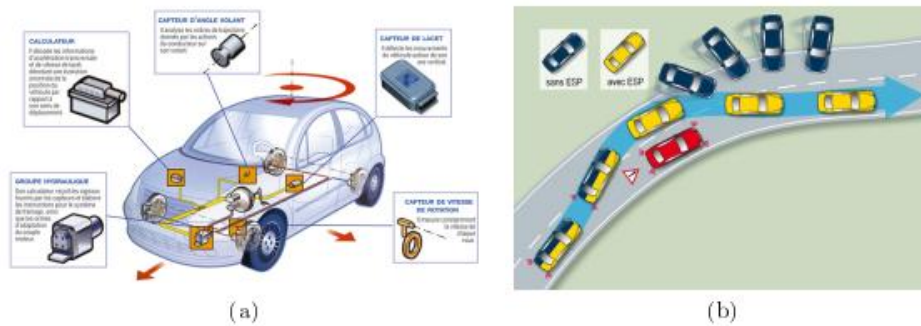


Figure 21: Architecture mécanique de la fonction ESP (a) et son effet sur la conduite lors d'un survirage

III.4 Le système d'Aide au freinage d'urgence (AFU) :

En situation de freinage d'urgence, le conducteur n'applique pas toujours une pression suffisante et rapide sur la pédale de frein, ce qui augmente la distance d'arrêt et le risque de collision. Le système d'aide au freinage d'urgence (BAS ou AFU) permet de compenser ce comportement en détectant une situation de freinage critique grâce aux capteurs de position des pédales d'accélérateur et de frein, ou uniquement via la vitesse d'enfoncement de la pédale de frein. Une fois le freinage d'urgence identifié, le système applique automatiquement une pression maximale au système de freinage et peut, selon les constructeurs, activer les feux de détresse afin d'alerter les véhicules suivants. [19]

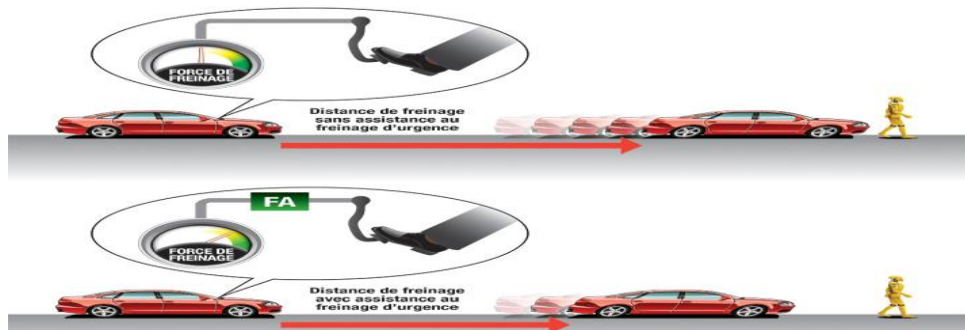


Figure 22: Fonction d'aide au freinage d'urgence (AFU)

III.5 Le système de Répartiteur électronique de freinage (EBD) :

Le système de répartiteur électronique de freinage ou EBD (Electronic Brakeforce Distribution) a pour fonction de répartir automatiquement la force de freinage entre les roues en fonction du chargement du véhicule afin d'optimiser l'efficacité du freinage. Il intervient notamment lorsque la charge du véhicule varie, en augmentant la force de freinage sur les roues arrière lorsqu'un véhicule est chargé afin de réduire la distance d'arrêt. Lors des phases de décélération, il compense le transfert de masse vers l'avant en diminuant la pression sur les roues arrière pour éviter leur blocage et en renforçant le freinage à l'avant. Enfin, en virage, l'EBD ajuste la pression de freinage de chaque roue en augmentant celle des roues extérieures

et en réduisant celle des roues intérieures afin de maintenir la stabilité du véhicule et éviter toute perte de contrôle. [19]

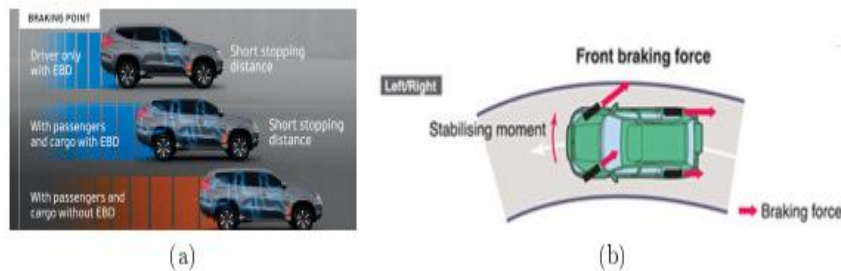


Figure 23: Principe de fonctionnement du répartiteur électronique de freinage (EBD) selon la charge du véhicule et en virage.

IV Interaction entre les systèmes ADAS et le système de freinage :

IV.1 Utilisation de l'ABS par le freinage d'urgence automatique (AEB) :

Lors du fonctionnement du freinage d'urgence automatique (AEB), les informations du véhicule précédent sont analysées en temps réel afin d'évaluer en permanence le risque de collision, en utilisant un mécanisme de déclenchement par seuil qui réduit la complexité des calculs et améliore la réactivité du système. Cette stratégie prend en compte plusieurs paramètres critiques, notamment la vitesse longitudinale, le taux de glissement des roues, le temps avant collision (TTC) et la distance de sécurité, afin d'assurer une coordination efficace entre l'AEB et l'ABS. Le système surveille en continu la vitesse, l'accélération, la rotation des roues et la distance inter-véhicules pour activer ou désactiver de manière coordonnée les modules selon les conditions de sécurité détectées. Ainsi, les modes de fonctionnement se répartissent en quatre situations selon la vitesse : en dessous de 8 km/h aucun système n'est actif avec un freinage normal à pression maximale en cas d'urgence, au-dessus de 8 km/h l'ABS intervient seul lors d'un freinage d'urgence, à partir de 15 km/h l'AEB surveille les obstacles, et en cas de risque de collision élevé les deux systèmes agissent ensemble pour optimiser le freinage et éviter le blocage des roues. [21]

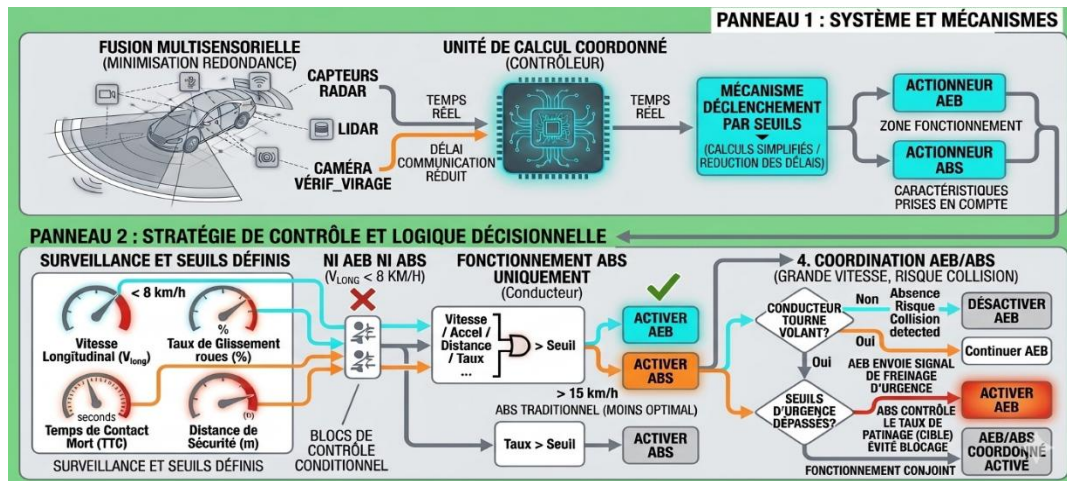


Figure 24: situation de fonctionnement AEB et ABS coordonnée

IV.2 Utilisation des freins par le Adaptive Cruise Control (ACC) :

Le régulateur de vitesse adaptatif (ACC) est un système d'aide à la conduite qui maintient automatiquement la vitesse définie par le conducteur lorsque la route est libre, tout en ajustant cette vitesse afin de conserver une distance de sécurité avec le véhicule précédent. Son fonctionnement repose principalement sur un radar avant, complété par des caméras, permettant de surveiller en permanence la route, de mesurer la distance et la vitesse d'approche du véhicule précédent, ainsi que de reconnaître les panneaux de limitation de vitesse pour adapter automatiquement la conduite. À partir de ces informations, le système ajuste la vitesse du véhicule en accélérant, en décélérant ou en freinant selon les conditions, puis rétablit la vitesse programmée lorsque la voie redevient libre, grâce à un bloc de calcul des consignes qui transforme les actions du conducteur en commandes opérationnelles. Enfin, le système s'appuie sur un modèle de véhicule ACC intégrant les paramètres dynamiques (accélération, freinage, braquage) ainsi qu'un bloc représentant le véhicule obstacle, afin de simuler le comportement réel du système et d'adapter la régulation de vitesse en fonction de la situation de circulation.

[22]

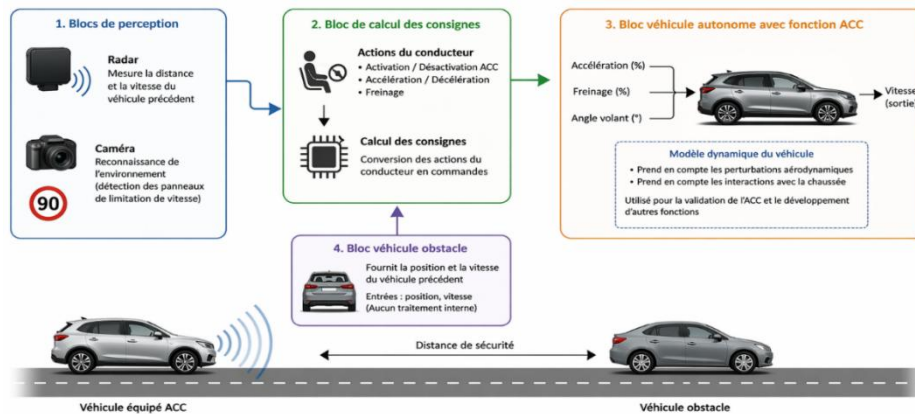


Figure 25: Schéma fonctionnel du système ACC

IV.3 Les capteurs de vitesse de roue :

L'électronique du véhicule joue un rôle essentiel dans les équipements de confort et de sécurité, où l'interaction optimale entre des systèmes électroniques complexes assure le bon fonctionnement du véhicule et contribue à l'amélioration de la sécurité routière. Cette communication intelligente des données repose principalement sur les capteurs, notamment les capteurs de vitesse de rotation des roues, qui occupent une place centrale dans l'architecture électronique automobile et sont utilisés dans des systèmes tels que l'ABS, l'ASR, l'ESP et l'ACC pour fournir aux calculateurs les informations nécessaires au contrôle de la dynamique du véhicule. Ces données sont ensuite transmises via le calculateur ABS vers différents systèmes du véhicule, comme la gestion motrice, la boîte de vitesses, la navigation et la suspension, permettant ainsi d'optimiser la conduite, de renforcer la sécurité routière et de réduire la consommation de carburant ainsi que les émissions polluantes. [23]



Figure 26: Capteur de vitesse de roue

V Impact d'une panne du freinage sur les performances ADAS :

Une panne du freinage compromet gravement les performances des systèmes ADAS car ces derniers dépendent étroitement du système de freinage pour fonctionner efficacement. Les ADAS comme le freinage d'urgence automatique (AEB) ou l'assistance au freinage (BAS) activent les freins via des actionneurs hydrauliques ou électroniques, et une défaillance rend ces interventions impossibles [24]

V.1 Dépendance des systèmes ADAS au système de freinage :

Les systèmes ADAS, tels que le freinage d'urgence autonome (AEB), utilisent des capteurs comme les radars, caméras et lidars afin de détecter les obstacles et d'activer automatiquement le freinage pour éviter les collisions. Toutefois, en cas de défaillance du système de freinage (plaquettes usées, manque de liquide hydraulique ou dysfonctionnement de l'ABS), l'AEB devient inefficace, ce qui entraîne une augmentation des distances d'arrêt et donc un risque accru d'accident. De plus, un coefficient de friction inadéquat des plaquettes peut perturber le système de contrôle électronique de stabilité (ESP), provoquant des sur-corrections ou des erreurs d'estimation de surchauffe par l'unité de commande électronique.[25]

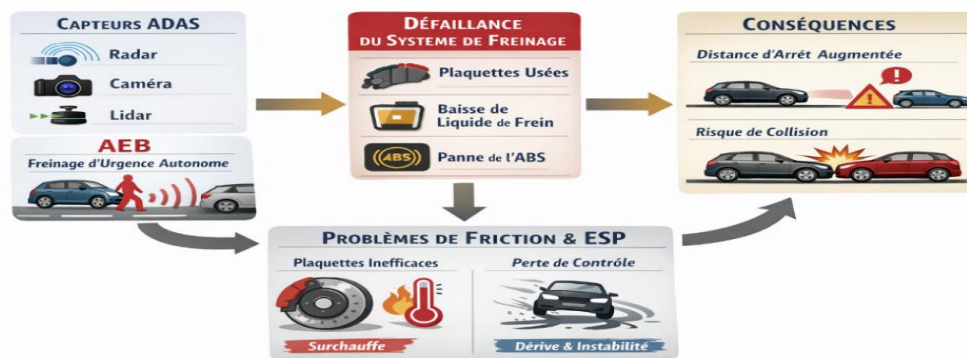


Figure 27: Dépendance des ADAS au système de freinage

V.2 Conséquences sur les performances des ADAS :

Les défaillances du système de freinage ont des conséquences directes sur les performances des systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS), en affectant notamment l'efficacité du freinage d'urgence autonome (AEB), du régulateur de vitesse adaptatif (ACC) et des systèmes de stabilité du véhicule. Le système AEB, qui repose sur une pression hydraulique précisément calibrée, devient inefficace lorsque les composants mécaniques sont dégradés, ce qui entraîne une augmentation de la distance d'arrêt et rend la collision possible malgré son activation. De plus, l'absence de compensation mécanique limite l'action conjointe de l'ABS et de l'AEB face à des défaillances telles que des étriers grippés ou des fuites hydrauliques. Concernant l'ACC, des plaquettes de frein inadaptées ou des disques voilés provoquent un comportement saccadé lors des ajustements de vitesse, tandis qu'une pédale molle due à des bulles d'air dans le circuit hydraulique entraîne des réactions tardives et augmente le risque de collision. Par ailleurs, les systèmes de stabilité comme l'ESC peuvent devenir instables, générant des sur-corrections en cas de défaillance d'un étrier et interprétant incorrectement les données des capteurs de vitesse de roue en raison d'un coefficient de friction inadapté. Ces perturbations conduisent alors à des

interventions automatiques inappropriées et à une perte potentielle de contrôle du véhicule. [26] [27] [28]

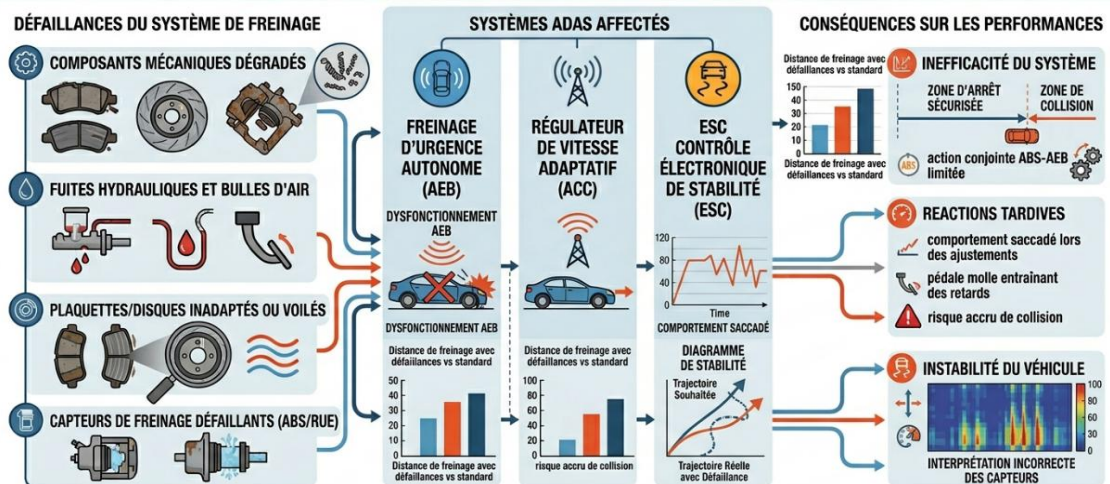


Figure 28: Les défaillances du système de freinage et leurs conséquences sur les performances des ADAS

V.3 Mesures de sécurité et protocoles diagnostiques :

Les mesures de sécurité et les protocoles diagnostiques dans les systèmes de freinage modernes incluent notamment le mode dégradé, qui est activé automatiquement par l'unité de commande électronique en cas de dysfonctionnement afin de protéger les composants et d'assurer une sécurité minimale du véhicule. Dans ce mode, la surveillance continue de la température des freins permet de détecter les risques de surchauffe (fading) et d'entraîner la désactivation de l'ABS et de certaines fonctions ADAS jusqu'au retour à des conditions normales. De plus, des alertes sont générées en cas de niveau bas de liquide hydraulique ou de défaillance de l'assistance au freinage, ce qui peut provoquer la neutralisation de systèmes comme l'AEB et l'ACC pour éviter des actions contradictoires. Par ailleurs, un autre phénomène critique appelé freinage fantôme correspond à un déclenchement injustifié du freinage automatique dû à une mauvaise interprétation des données des capteurs. Ce phénomène peut être causé par des confusions environnementales (ombres, reflets, ponts), des défaillances sensorielles liées à un mauvais calibrage ou à des capteurs contaminés, ainsi que par des limites algorithmiques du système AEB. Ces dysfonctionnements peuvent conduire à des interventions de freinage non fondées et perturber la trajectoire du véhicule. [29] [30]

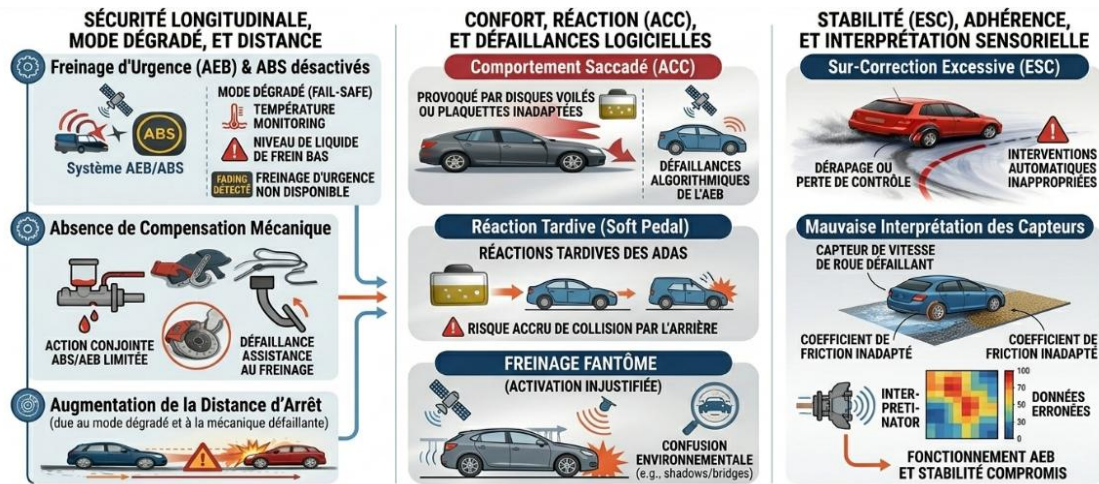


Figure 29: Impact des défaillances mécanique et logicielles sur les systèmes ADAS et le Protocol de sécurité

VI Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté de manière approfondie le système de freinage moderne, en soulignant son rôle central dans la sécurité active des véhicules automobiles et son évolution d'un simple mécanisme mécanique vers un système intégré combinant des technologies mécaniques, hydrauliques et électroniques, tandis que l'étude des systèmes électroniques associés tels que l'ABS, l'ESP/ESC, l'EBD et le BAS a montré leur contribution essentielle à la stabilité du véhicule et à la prévention des pertes d'adhérence. Nous avons également mis en évidence l'interaction étroite entre le système de freinage et les systèmes ADAS, notamment l'AEB et l'ACC, dont le fonctionnement dépend de la fiabilité du freinage, de la réactivité des actionneurs et des informations issues des capteurs de vitesse des roues. Par ailleurs, l'analyse a montré que toute défaillance du système de freinage peut réduire l'efficacité des systèmes de sécurité et affecter les performances des ADAS, voire entraîner leur désactivation. Ainsi, la fiabilité et le diagnostic du système de freinage apparaissent comme des enjeux majeurs dans les véhicules modernes, ce qui fait de ce chapitre une base essentielle pour comprendre leur rôle dans l'architecture globale et dans le diagnostic des systèmes ADAS et de freinage.

CHAPITRE 03 :

APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

I Introduction :

Les outils de diagnostic automobile occupent aujourd'hui une place essentielle dans la maintenance et la réparation des véhicules modernes, en raison de l'intégration croissante des systèmes électroniques, des calculateurs et des technologies intelligentes embarquées. L'évolution du secteur automobile, notamment avec l'apparition des systèmes ADAS ainsi que des dispositifs de sécurité active tels que l'ABS et l'ESP, nécessite des méthodes de diagnostic précises et performantes. Ces outils permettent de détecter rapidement les anomalies, d'identifier leurs causes et d'assurer le bon fonctionnement des différents systèmes du véhicule. Ce chapitre présente les principaux outils de diagnostic, tels que le système OBD-II, les oscilloscopes automobiles et les multimètres, ainsi que les procédures appliquées au diagnostic des systèmes ADAS, incluant la lecture des codes défauts, l'analyse des données en temps réel, l'étude du réseau CAN et la calibration des capteurs. Il traite également du diagnostic du système de freinage à travers le contrôle des capteurs de vitesse des roues, la vérification du circuit hydraulique, le test du modulateur ABS et les essais dynamiques sur route. Ainsi, ce chapitre met en évidence le rôle fondamental des outils de diagnostic dans l'amélioration de la sécurité, de la fiabilité et de la maintenance des véhicules modernes.

II Les outils de diagnostic automobile :

II.1 Le système de diagnostic OBD :

Le système de diagnostic embarqué, ou OBD, est un ensemble de dispositifs intégrés dans la plupart des véhicules à moteur thermique produits depuis les années 2000, permettant de contrôler les composants du groupe motopropulseur influençant les émissions polluantes tout au long de la vie du véhicule. L'OBD-II constitue un standard largement utilisé dans les véhicules utilitaires légers pour récupérer les informations de diagnostic générées par les unités de contrôle du moteur, responsables de la gestion des différents systèmes. Il permet également de lire et d'interpréter les codes défauts indépendamment du constructeur, ainsi que de surveiller l'état de fonctionnement du véhicule, notamment ses systèmes électroniques. En effet, l'OBD-II représente un système d'autodiagnostic intégré qui alerte l'utilisateur via un voyant de dysfonctionnement affiché sur le tableau de bord. Pour diagnostiquer les pannes, le mécanicien utilise un scanner OBD-II qu'il connecte au connecteur OBD-II à 16 broches situé près du volant. Cette connexion permet de lire les codes de diagnostic (DTC) afin d'identifier, analyser et résoudre les problèmes du véhicule. [31] [32]



Figure 30: Appareil de diagnostic OBD- II

Le connecteur OBD-II constitue l'une des extrémités du câble adaptateur branché sur le port OBD du véhicule et représente une interface de communication entre l'outil de diagnostic (scanner) et le système OBD-II. Il permet de lire et d'interpréter en temps réel les informations issues de l'unité de commande électronique (ECU), facilitant ainsi l'identification des dysfonctionnements à partir des codes d'erreur. Les connecteurs OBD-II se déclinent en deux catégories, filaire et sans fil : les premiers nécessitent une connexion physique par câble, tandis que les seconds utilisent des technologies comme le Bluetooth ou le Wi-Fi pour communiquer avec l'outil de diagnostic. Enfin, ce connecteur permet également l'utilisation d'outils de diagnostic avancés pour la reprogrammation et la réparation des différents sous-systèmes du véhicule.[33]



Figure 31: Connecteur de OBD-II

II.2 Les Oscilloscopes automobiles :

Les oscilloscopes sont des appareils de mesure polyvalents permettant de visualiser avec précision l'évolution des tensions alternatives et mixtes dans le temps, contrairement aux multimètres analogiques et numériques qui n'affichent que des valeurs fixes. En effet, un multimètre effectue seulement deux à trois mesures par seconde, ce qui limite sa capacité à détecter des variations rapides ou transitoires du signal. L'oscilloscope permet donc une analyse plus détaillée et continue des signaux électriques. Dans le domaine automobile, il joue un rôle essentiel pour le diagnostic des systèmes électroniques. Lorsque aucun code d'erreur n'est enregistré mais que des perturbations persistent, il devient nécessaire de tester directement les composants afin de détecter d'éventuelles anomalies au niveau des capteurs ou des actionneurs.

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

Ainsi, l'utilisation d'un oscilloscope, accompagnée si possible d'un schéma de connexion, permet une recherche de pannes efficace même en l'absence d'un testeur de système. [34]



Figure 32:Oscilloscope automobile

Il existe différents types d'oscilloscopes dont les caractéristiques techniques varient selon les applications de mesure, ce qui explique également les différences importantes de prix. L'oscilloscope analogique fonctionne par déflexion d'un faisceau d'électrons proportionnel à la tension mesurée, permettant d'obtenir une représentation continue et en temps réel du signal sur l'écran. L'oscilloscope numérique, quant à lui, échantillonne le signal et utilise un convertisseur analogique-numérique (CAN) pour transformer la tension en données numériques afin de reconstruire la courbe affichée. Grâce à cette technologie, il est possible de détecter des anomalies transitoires ou très brèves qui peuvent ne pas être visibles avec un oscilloscope analogique. [35]



Figure 33: Oscilloscope analogique et numérique

II.3 Le multimètre :

Le multimètre constitue un outil essentiel pour mesurer les grandeurs fondamentales nécessaires au bon fonctionnement des systèmes électriques et électroniques d'un véhicule, notamment la tension, l'intensité du courant et la résistance. Grâce à sa polyvalence, il joue un rôle fondamental dans le diagnostic des pannes automobiles et se distingue par son efficacité ainsi que sa simplicité d'utilisation. Il permet par exemple de mesurer avec précision la tension aux bornes d'une batterie afin d'évaluer son état de fonctionnement. Pour effectuer cette mesure, il faut mettre l'appareil sous tension, sélectionner le mode voltmètre, puis connecter

les cordons de mesure aux bornes appropriées de la batterie. La valeur affichée permet de déterminer si la batterie est correctement chargée, déchargée ou défectueuse. Ainsi, le multimètre constitue un instrument indispensable pour le contrôle et la maintenance des systèmes électriques automobiles. [36]

Lors de l'utilisation du multimètre, le câble noir est toujours utilisé comme conducteur de masse ou négatif, tandis que le câble rouge sert à effectuer la mesure sur l'objet à tester. En cas de mauvais raccordement, le multimètre numérique peut afficher une valeur négative lisible, alors que le multimètre analogique ne fournit généralement aucune indication. Il est important de noter que le multimètre numérique est moins agressif pour les composants électroniques que le multimètre analogique, car il injecte un courant beaucoup plus faible, contrairement à ce dernier qui peut solliciter davantage le circuit mesuré. Pour réaliser correctement une mesure, il faut ajuster le sélecteur selon le type et la plage de mesure, connecter les sondes aux bonnes bornes et s'assurer que le circuit correspond bien au type de mesure effectué. [37]



Figure 34: Le Multimètre

III Procédures de diagnostic des ADAS :

III.1 Lecture des codes défaut via OBD-II :

La lecture des codes défauts à l'aide d'une valise de diagnostic constitue une étape essentielle du diagnostic automobile, qui débute par la localisation du port OBD-II, généralement situé sous le tableau de bord près du volant. Une fois ce port identifié, l'outil de diagnostic est connecté afin d'établir une communication avec les calculateurs électroniques du véhicule. La valise interroge ensuite le calculateur moteur ainsi que les autres unités de contrôle pour accéder aux informations enregistrées dans leur mémoire. Les codes défauts détectés sont affichés sur l'écran de l'appareil, chaque code correspondant à une anomalie spécifique identifiée par les systèmes ou capteurs du véhicule. Leur interprétation nécessite une connaissance du système OBD-II, mais les outils modernes intègrent souvent une base de données permettant de traduire ces codes en descriptions claires afin de faciliter le diagnostic et la réparation. [38]

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

Code	Description
P0300	Détection rates d'allumage multiples
P0171	Mélange pauvre (Bank 1)
P0420	Efficacité catalyseur faible
P0113	Capteur IAT- Valeur trop élevée
P0120	Défaut capteur vilebrequin
P0201	Injecteur cylindre 1 circuit ouvert
P0500	Défaut capteur vitesse véhicule (VSS)

Tableau 1: Les codes OBD- II fréquents

III.1.1 Analyse des codes défauts diagnostiqués :

L'analyse de ce tableau permet de regrouper les pannes en trois grandes catégories de gestion moteur : [40]

A. Boucle d'Air et Carburation (Admission/Injection) :

- **P0113 (Capteur IAT)** : Indique que le signal de température d'air à l'admission est anormalement élevé. Cela fausse le calcul de la densité de l'air par le calculateur (ECU) ;
- **P0171 (Mélange pauvre)** : Conséquence directe ou indirecte du précédent. Il y a trop d'oxygène par rapport au carburant.
- **P0201 (Injecteur 1)** : Un défaut électrique pur sur l'injecteur du cylindre n°1. Si l'injecteur ne s'ouvre pas, le mélange devient mathématiquement "pauvre" (P0171).

B. Cycle de Combustion et Allumage :

- **P0300 (Ratés d'allumage multiples)** : C'est un code "symptôme". Il indique que le vilebrequin n'a pas l'accélération attendue après l'étincelle. Les causes peuvent être les bougies, les bobines, ou le manque de carburant (lié au P0201).
- **P0120** : Bien que ce code soit identifié dans les données terrain comme un défaut du "capteur vilebrequin", il est important de noter que selon la norme internationale OBD-II, le code P0120 correspond au capteur de position du papillon (TPS). Toutefois, dans les deux cas, ce défaut entraîne une rupture de la synchronisation entre l'admission d'air et l'injection, provoquant ainsi les ratés d'allumage constatés (P0300). »

C. Post-traitement et Mobilité:

- **P0420 (Efficacité Catalyseur)** : Le catalyseur ne traite plus assez les gaz polluants. Souvent, c'est la conséquence des ratés d'allumage (P0300) qui ont envoyé de l'essence imbrulée dans le pot, dégradant les métaux précieux.

- **P0500 (Capteur VSS) :** Concerne la vitesse du véhicule. Ce code affecte le compteur de vitesse et peut perturber les stratégies de passage **de rapports sur les boîtes automatiques** [39]

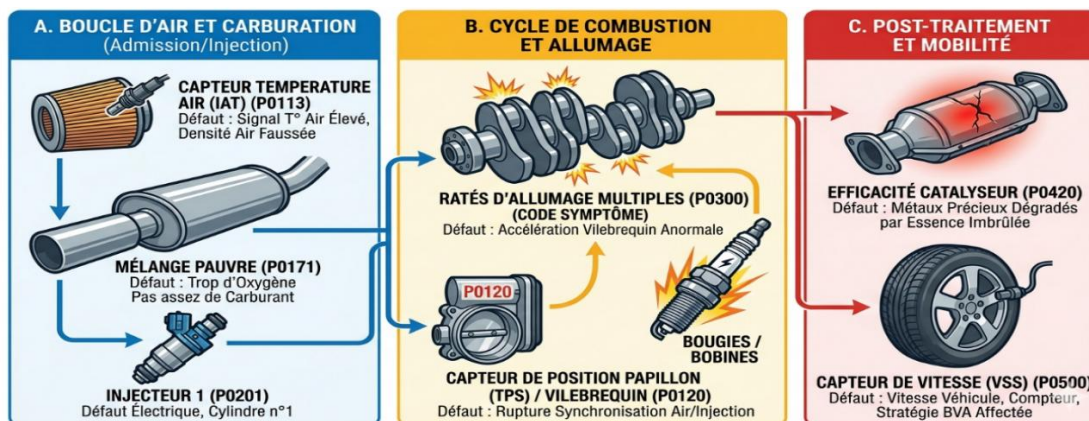


Figure 35: Analyse des codes défauts OBD-II

III.2 Analyse des données en temps réel (distance, angle, vitesse) :

Elle permet d'observer et d'interpréter les paramètres transmis par les différents capteurs pendant le fonctionnement du véhicule. Parmi les informations couramment analysées figurent notamment la distance mesurée par les capteurs radar ou lidar, l'angle de direction fourni par le capteur d'angle du volant, ainsi que la vitesse du véhicule ou celle des roues. L'étude de ces paramètres permet d'évaluer la cohérence des informations fournies par les capteurs et de détecter d'éventuelles anomalies dans les signaux transmis.[40]



Figure 36: Analyse des défauts en temps réel

III.3 Analyse du réseau CAN :

L'analyse du réseau CAN constitue une étape cruciale du diagnostic, notamment lors de dysfonctionnements liés à des problèmes de communication entre les systèmes électroniques du véhicule, et elle permet d'examiner les trames de données afin d'identifier d'éventuelles anomalies. Dans ce réseau, les informations sont transmises sous forme de trames structurées comprenant un champ de début de trame assurant la synchronisation, un champ d'arbitrage

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

gérant la priorité des messages, un champ de contrôle, un champ de données, ainsi que des champs de vérification tels que le CRC et l'ACK, avant de se terminer par un champ de fin de trame garantissant la clôture de la communication. Par ailleurs, des trames d'erreur peuvent apparaître lorsqu'un nœud détecte une anomalie, se traduisant par l'émission d'error flags actifs ou passifs, suivis d'un error delimiter composé de bits récessifs permettant de rétablir le fonctionnement normal du bus. Ainsi, l'étude des trames de données et des trames d'erreur permet de mieux comprendre le fonctionnement du réseau CAN et d'assurer un diagnostic efficace des défaillances de communication. [41] [42]

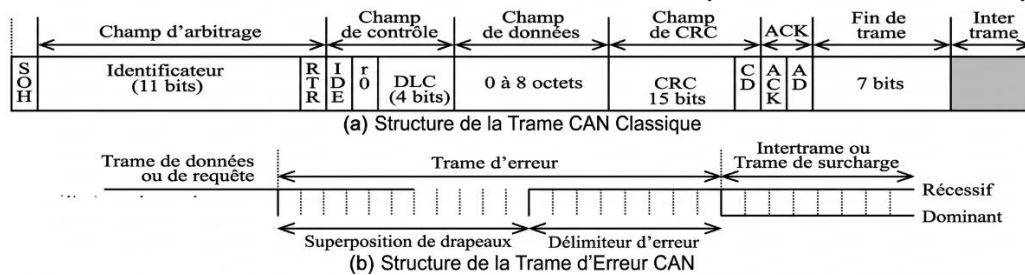


Figure 37: Format de trames de donnée et d'erreur

III.4 Calibration des capteurs des systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) :

III.4.1 Calibration de capteur de vision(camera) :

La calibration des composants ADAS, en particulier des systèmes de caméra, constitue un processus critique qui influence directement la précision et la fiabilité de la perception de l'environnement. Elle consiste à déterminer et ajuster avec précision les paramètres des capteurs afin de garantir une interprétation spatiale correcte ainsi qu'une fusion de données fiable dans les systèmes multi-capteurs. Dans les ADAS basés sur caméra, on distingue principalement la calibration intrinsèque et la calibration extrinsèque. La calibration intrinsèque vise à estimer les paramètres internes de la caméra, tels que la longueur focale, le point principal et les coefficients de distorsion, indispensables pour corriger les effets des objectifs grand angle et fisheye et assurer une projection fiable des scènes 3D sur le plan 2D. La calibration extrinsèque permet quant à elle de déterminer la position et l'orientation de la caméra par rapport au véhicule ou à d'autres capteurs comme le radar ou le LiDAR, garantissant ainsi une fusion de données cohérente, tandis que toute erreur dans cette étape peut entraîner un mauvais alignement des objets et une dégradation des performances du système.[43]

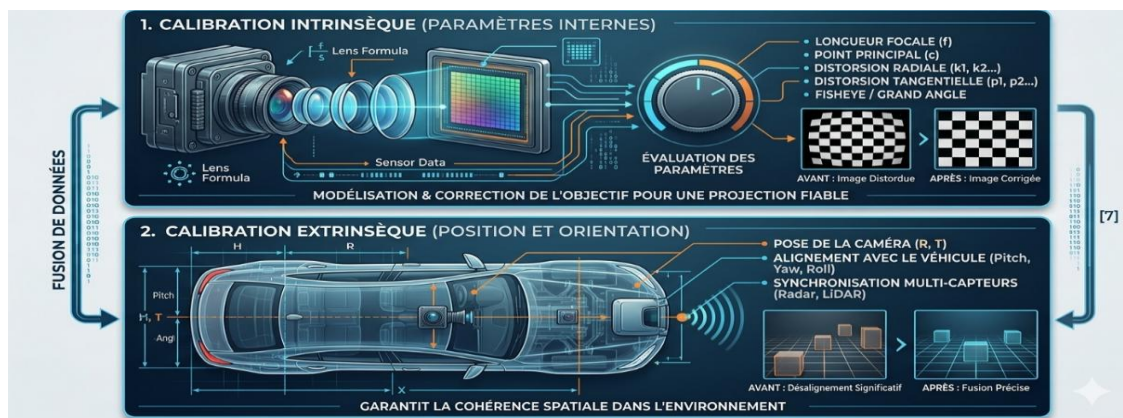


Figure 38: Calibration de camera

III.4.2 Calibration de capteur de radar :

La calibration des radars automobiles a pour objectif principal d'assurer que l'angle d'orientation et la portée de détection du capteur correspondent précisément aux conditions réelles de fonctionnement du véhicule. Tout déplacement du radar par rapport à sa position d'origine, dû à une collision, une réparation ou le remplacement de composants, peut entraîner une diminution de la précision de détection. Une telle dégradation peut affecter le bon fonctionnement des systèmes ADAS, représentant ainsi un risque pour la sécurité routière et une baisse de la qualité de l'expérience de conduite. La procédure de calibration nécessite généralement des équipements spécialisés ainsi qu'une assistance technique, et elle inclut la mise en place de cibles de calibration et le positionnement précis du véhicule par rapport à celles-ci., l'ajustement des paramètres du radar permet de garantir un alignement correct de la zone de détection avec la dynamique du véhicule, assurant ainsi la fiabilité des informations transmises aux systèmes d'aide à la conduite. [44]

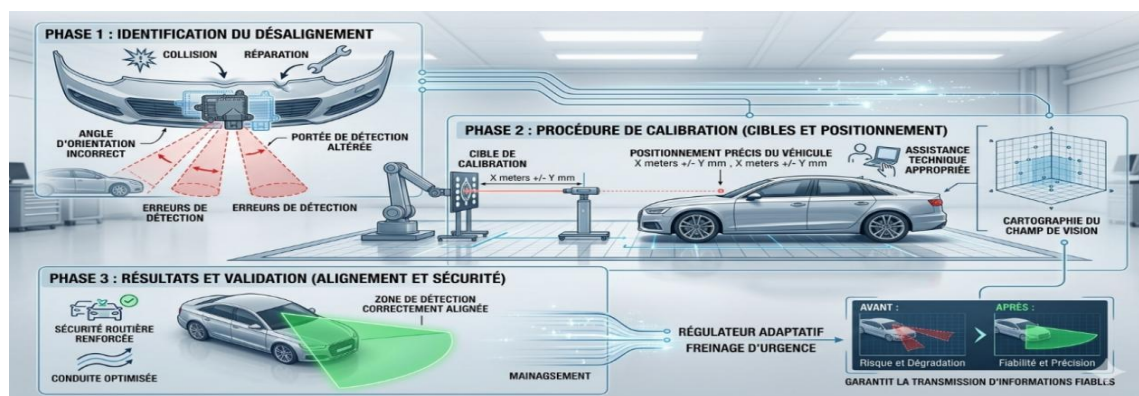


Figure 39: Calibration de Radar automobile

IV Diagnostic du système de freinage :

IV.1 Lecture des codes défaut ABS/ESP :

La lecture des codes d'anomalie du système ABS/ESP requiert une préparation rigoureuse ainsi que l'emploi d'un outil de diagnostic électronique connecté au port OBD-II du véhicule.

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

Cette interface permet d'accéder directement au module ABS/ESP afin de récupérer tant les codes actifs que les codes mémorisés. Pour obtenir des informations fiables, il est conseillé de sélectionner le menu dédié au Châssis ou au système ABS/ESP plutôt que de se limiter à un diagnostic moteur général. Par ailleurs, l'état de la batterie doit être vérifié, car une tension inférieure à 12 V peut provoquer des erreurs de communication ou générer des codes « fantômes », susceptibles de fausser l'analyse. Les codes défaut associés à ces systèmes commencent généralement par la lettre C [45]

Parmi les codes les plus fréquents figurent :

Code	Description
C0035 – C0051	Capteur de vitesse de roue (avant gauche, droite, arrière...)
C0110	Pompe ABS défectueuse
C1210 – C1233	Capteurs d'angle de braquage
C1445	Erreur capteur accélération latérale
C1201	Défaut système traction
C1230 – C1235	Capteurs de vitesse roue

Tableau 2: Les codes DTC- systèmes ABS ESP

IV.1.1 Analyse des codes DTC :

L'analyse de ce tableau permet de regrouper les pannes selon la dynamique du véhicule : [45][46]

A. Acquisition de la Vitesse et Dynamique de Roue :

- **C0035 – C0051 / C1230 – C1235 (Capteurs de vitesse de roue) :** Ces capteurs (souvent de type inductif ou à effet Hall) sont les yeux du système de freinage.

Sans une lecture précise de la vitesse de chaque roue, le calculateur ne peut pas détecter un blocage. Cela désactive immédiatement l'ABS et l'EBD (Répartiteur électronique de freinage).

B. Actionneur Central (Hydraulique) :

- **C0110 (Pompe ABS défectueuse) :** Il s'agit d'un défaut sur le moteur de la pompe du bloc hydraulique.

La pompe est responsable du maintien ou de la montée en pression dans les étriers lors d'une régulation ABS. Un défaut C0110 signifie que le système ne peut plus relâcher ou réappliquer la pression automatiquement. Le freinage redevient "classique" (sans assistance antiblocage).

C. Orientation et Stabilité Latérale (ESC / ESP) :

- **C1210 – C1233 (Capteurs d'angle de braquage) :** Indiquent la direction souhaitée par le conducteur via le volant.

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

- **C1445 (Accélération latérale) :** Mesure la force centrifuge réelle subie par le véhicule.

Le calculateur compare l'angle du volant (intention) avec l'accélération latérale (réalité). Une incohérence entre ces deux capteurs génère une erreur de trajectoire, désactivant le contrôle de stabilité.[45][46]

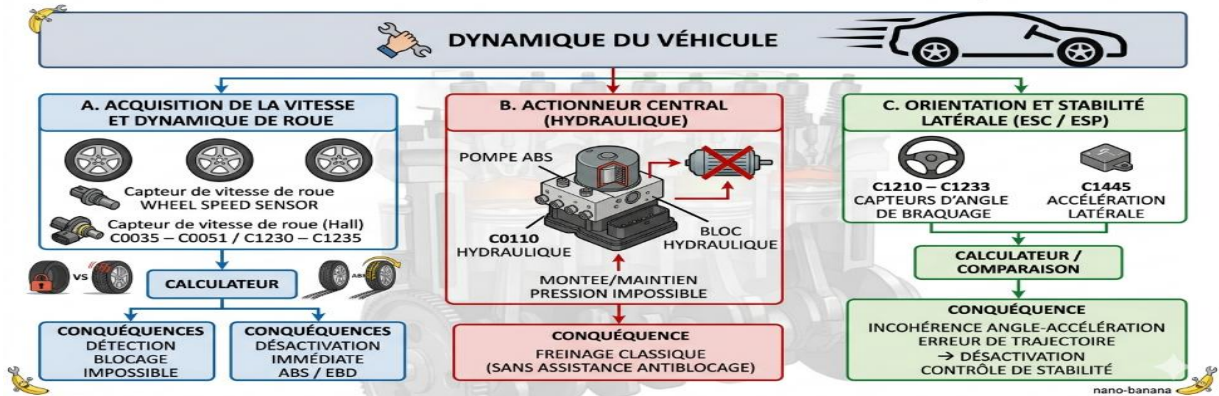


Figure 40: Analyse des codes DTC et regroupement des pannes selon la dynamique du véhicule

IV.2 Test des capteurs de vitesse de roue :

Le contrôle et le remplacement d'un capteur de vitesse de roue suivent une démarche méthodique visant à diagnostiquer et corriger les dysfonctionnements du système ABS, en commençant par sécuriser le véhicule sur une surface plane, moteur arrêté, transmission en position « Parking » et frein de stationnement engagé, puis en le soulevant pour accéder au capteur après démontage de la roue. Une fois le capteur localisé, son connecteur électrique est débranché avec précaution afin d'effectuer des mesures à l'aide d'un voltmètre en mode tension alternative (AC), permettant d'observer le signal généré lors de la rotation de la roue, dont l'absence ou l'irrégularité indique une défaillance. En cas de défaut confirmé, le capteur est démonté, la zone de montage est nettoyée, puis un nouveau capteur est installé et contrôlé pour vérifier son bon fonctionnement. Enfin, les éléments déposés sont remontés et la roue est reposée avec un serrage conforme aux recommandations du constructeur, garantissant ainsi le bon fonctionnement du système ABS et la sécurité du véhicule. [47][48]

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE



Figure 41: Etapes de test des capteurs de vitesse de roue

IV.3 Test du circuit hydraulique et pression de freinage :

IV.3.1 Procédure d'inspection du système hydraulique :

L'inspection régulière du circuit hydraulique et du système de freinage est essentielle pour garantir la sécurité du véhicule, car des flexibles endommagés, des fuites ou un niveau insuffisant de liquide hydraulique peuvent provoquer une défaillance partielle ou totale du freinage et augmenter les distances d'arrêt ainsi que le risque d'accident. Dans ce contexte, l'interprétation des résultats d'un test de pression est indispensable, bien qu'elle nécessite une bonne compréhension des pressions générées selon les différents types de freinage et du fonctionnement des valves du système, en se basant souvent sur des valeurs génériques en l'absence de données constructeur précises. Par ailleurs, le contrôle du système hydraulique doit être réalisé conformément aux recommandations du constructeur afin d'éviter toute non-conformité lors d'une inspection de type Véhicule Inspection Test. Cette procédure inclut la vérification des dispositifs d'alerte, le contrôle de la pédale de frein (hauteur, résistance et maintien après plusieurs actionnements) ainsi que l'inspection du système d'assistance hydraulique pour garantir son bon fonctionnement selon les spécifications techniques.[49][50]

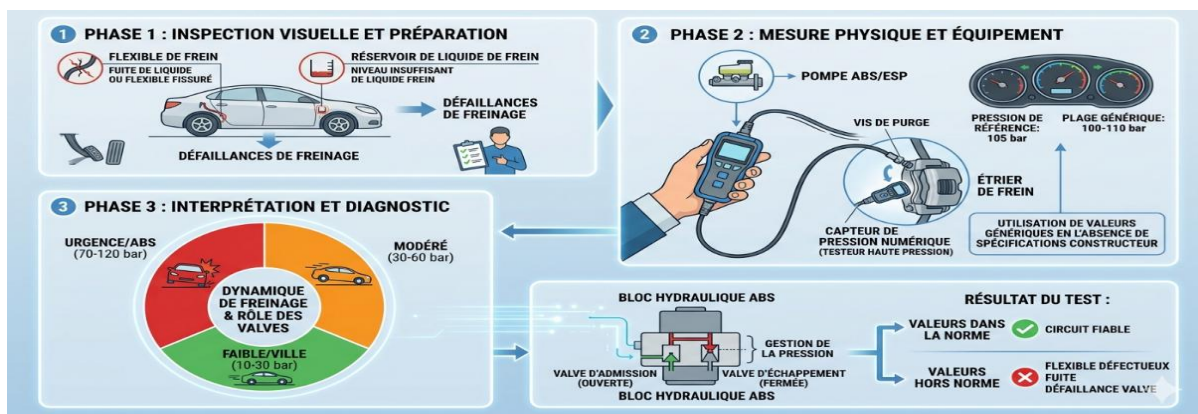


Figure 42: Procédure d'inspection du système hydraulique

IV.3.2 Test de pression du circuit hydraulique :

Le test de pression du circuit hydraulique comprend principalement le test avant-arrière et le test latéral, permettant d'évaluer la répartition et l'uniformité de la pression dans le système de freinage. Le test avant-arrière consiste à mesurer la distribution de la pression entre les freins avant et arrière à l'aide de manomètres installés selon les recommandations du constructeur, généralement au niveau des purges des étriers ou des cylindres de roue après élimination de l'air des flexibles. Une pression légère à modérée est ensuite appliquée sur la pédale de frein moteur tournant, et les valeurs obtenues, ne dépassant généralement pas 500 psis à l'avant, doivent être comparées pour vérifier leur cohérence, un écart important indiquant une anomalie possible. Enfin, le test latéral permet de contrôler l'uniformité de la pression entre les côtés gauche et droit d'un même essieu afin de détecter tout déséquilibre susceptible de provoquer un tirage du véhicule ou une usure irrégulière des freins. [50]

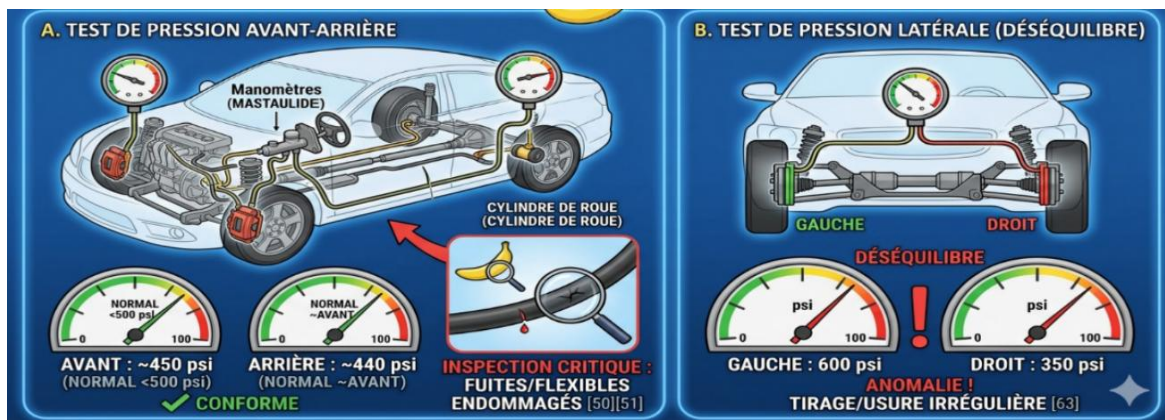


Figure 43: Test de pression de circuit hydraulique

IV.4 Vérification du modulateur ABS (HCU) :

Lorsqu'une roue cesse de tourner, elle perd son adhérence et sa capacité directionnelle, ce que le système antiblocage des roues (ABS) empêche en modulant électroniquement la pression hydraulique de freinage afin de maintenir la stabilité du véhicule. En fonctionnement normal, le maître-cylindre alimente directement l'unité de commande hydraulique (HCU) et les étriers, tandis que les électrovannes restent inactives, mais lors de l'intervention de l'ABS, la pression est régulée par l'activation coordonnée des électrovannes et de la pompe hydraulique, avec un rôle d'isolation assuré par le solénoïde supérieur. Ce fonctionnement cyclique de relâchement et de réapplication de la pression permet de rétablir la rotation d'une roue bloquée tout en conservant une pression de freinage optimale, garantissant ainsi l'adhérence, la stabilité et le contrôle du véhicule.[51][52]

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

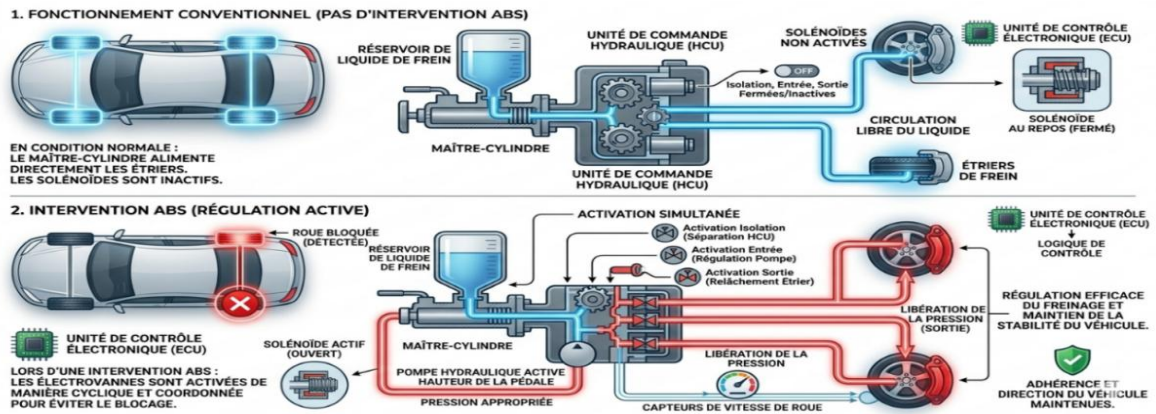


Figure 44: Vérification du modulateur ABS (HCU)

IV.5 Test dynamique du freinage sur route :

Les tests de freinage constituent une approche intégrée combinant les essais en laboratoire et l'évaluation en conditions réelles afin de vérifier le bon fonctionnement des composants du système de freinage ainsi que la capacité du véhicule à s'arrêter efficacement. Les essais de courte durée et les tests sur banc permettent d'analyser les performances des différents éléments, notamment les maîtres-cylindres, les étriers et les modules ABS, en détectant les fuites, en vérifiant le retour des pistons, l'état des joints et la rapidité de réponse du système dans un environnement contrôlé. Par ailleurs, les tests dynamiques réalisés sur circuit fermé permettent d'évaluer les performances de freinage en conditions réelles, en mesurant la capacité de décélération du véhicule sur des plages de vitesse définies à l'aide d'instruments tels que le radar, le laser, le GPS et l'accéléromètre. Ainsi, l'ensemble de ces essais permet d'optimiser le diagnostic, la maintenance et l'analyse comparative de l'efficacité du système de freinage. [53]

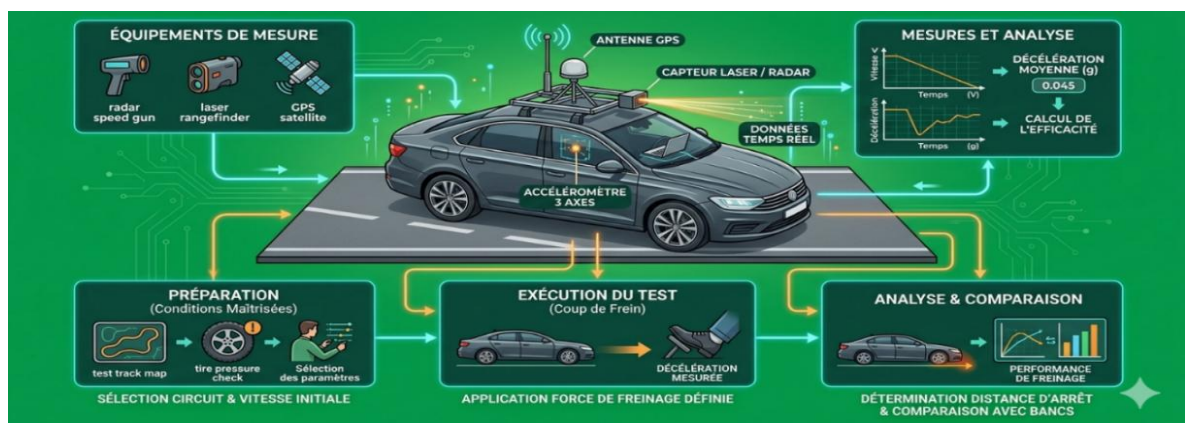


Figure 45: Test dynamique du freinage sur route

V Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux outils et procédures de diagnostic automobile, en soulignant leur rôle essentiel dans la maintenance et la réparation des véhicules

CHAPITRE 03 : APPLICATION DES OUTILS DE DIAGNOSTIC POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES ADAS ET DU SYSTÈME DE FREINAGE

modernes, dans un contexte d'évolution technologique marqué par l'intégration croissante de systèmes électroniques et intelligents. Nous avons détaillé les principaux équipements tels que le système OBD-II, les oscilloscopes automobiles et les multimètres, qui permettent respectivement la lecture des codes défaut, l'analyse des signaux et la mesure des grandeurs électriques fondamentales, facilitant ainsi l'identification rapide des anomalies. Nous avons également mis en évidence les procédures de diagnostic appliquées aux systèmes ADAS, incluant la lecture des codes défaut, l'analyse des données en temps réel, l'étude du réseau CAN ainsi que la calibration des capteurs radar et caméra, en plus des opérations liées au système de freinage comme le contrôle ABS/ESP, les capteurs de vitesse de roue, le circuit hydraulique, le modulateur ABS et les essais dynamiques. Ainsi, ce chapitre souligne l'importance des outils de diagnostic dans l'amélioration de la sécurité, de la fiabilité et des performances des véhicules modernes, tout en préparant l'étude pratique de leur application en milieu professionnel.

CHAPITRE 04 :

**CONTRIBUTION PRATIQUE AU
DIAGNOSTIC DES SYSTÈMES ADAS ET
DES SYSTÈMES DE FREINAGE**

I Introduction :

Ce chapitre présente une analyse des activités techniques et opérationnelles réalisées au sein de l'Établissement Public de Transport Urbain et Suburbain de Tébessa (ETUS) ainsi que de son centre de contrôle technique automobile. Il met en évidence l'organisation des services de transport, les stratégies de maintenance du parc roulant et les infrastructures techniques assurant la sécurité, la fiabilité et la continuité d'exploitation des véhicules. L'étude aborde également les méthodes modernes de contrôle technique et de diagnostic électronique, notamment l'intégration des systèmes embarqués et des technologies ADAS, à travers l'analyse des équipements, des protocoles d'inspection et des outils de diagnostic avancés. Enfin, des études de cas pratiques relatives au contrôle technique des véhicules légers et au diagnostic d'un système AEB illustrent l'importance d'une approche méthodique et technologique garantissant la sécurité routière et la performance des véhicules modernes.

II Présentation générale de l'établissement :

L'Établissement Public de Transport Urbain et Suburbain de Tébessa (ETUS) est une entité publique à vocation économique (EPE). Sa mission fondamentale consiste à assurer la mobilité des voyageurs en garantissant des standards optimaux de sécurité, de confort et de ponctualité.

En tant qu'acteur stratégique de la dynamique territoriale, l'ETUS assure une fonction essentielle dans la régulation des flux de transport urbain et périurbain au sein de la wilaya de Tébessa. Cette mission de service public vise à fluidifier les déplacements quotidiens des usagers tout en répondant aux exigences croissantes de la mobilité moderne.



Figure 46: Façade principale du centre technique de l'ETUS Tébessa

Sur le plan fonctionnel, l'établissement déploie son expertise à travers deux pôles opérationnels majeurs. Le premier est le pôle Transport Public, qui est dédié à l'exploitation des lignes et à la gestion de la flotte de bus. Le second est le pôle Contrôle Technique, chargé de la vérification de la conformité réglementaire et de la sécurité intrinsèque des véhicules

III Analyse fonctionnelle du service de transport public :

III.1 Structuration et exploitation du réseau :

Le réseau de transport exploité par l'établissement assure une couverture stratégique des principales zones de la wilaya, notamment les axes d'El Dekkan, Boulhaf et El Hammamet. Sa planification repose sur une analyse de la densité démographique et de l'intensité des flux de mobilité, permettant une allocation optimisée du matériel roulant et une adaptation continue de l'offre de transport à la demande des usagers.

III.2 Gestion et ingénierie de maintenance du parc roulant :

Le parc actif est composé de 28 autobus, et afin de maximiser leur disponibilité opérationnelle, l'établissement met en œuvre une politique de maintenance structurée. Celle-ci repose sur deux axes complémentaires, à savoir la maintenance préventive, qui regroupe les interventions programmées visant à anticiper les défaillances et à prolonger la durée de vie des composants, et la maintenance corrective, qui concerne les réparations effectuées suite à l'apparition d'anomalies. L'ensemble de ces interventions est centralisé au sein d'un atelier mécanique spécialisé, placé sous la supervision directe d'un ingénieur qualifié



Figure 47: Aperçu de la flotte d'autobus opérationnelle de l'ETUS Tébessa

III.3 Organisation du travail et flexibilité opérationnelle :

Le service est structuré autour d'un système de rotation des équipes garantissant une continuité de service étendue. Il comprend une vacation matinale ainsi qu'une vacation vespérale assurant la couverture des besoins jusqu'à 22h00. L'introduction ponctuelle d'une troisième rotation durant le mois de Ramadan témoigne de la capacité d'adaptation et de la flexibilité organisationnelle de l'établissement face aux variations saisonnières de la demande.

III.4 Infrastructures techniques de support :

Pour assurer le maintien en condition opérationnelle de sa flotte, l'ETUS dispose d'infrastructures techniques dédiées à la maintenance des véhicules. Celles-ci comprennent une station de lavage pour l'entretien esthétique et hygiénique, ainsi qu'un atelier de graissage et

de lubrification destiné à la maintenance des organes de transmission et de liaison au sol. Elles incluent également une unité de carrosserie dédiée à la remise en état structurelle des véhicules.

IV Analyse fonctionnelle du pôle Contrôle Technique Automobile :

IV.1 Organisation et infrastructure :

Situé au sein de la zone industrielle, le centre de contrôle technique est conçu pour traiter l'ensemble du parc roulant grâce à une organisation adaptée. Il dispose de deux chaînes d'inspection distinctes, dont une ligne dédiée aux véhicules légers pour les unités ayant un Poids Total en Charge (PTAC) inférieur ou égal à 3,5 tonnes. La seconde ligne est destinée aux véhicules lourds, notamment les autobus et poids lourds, et est spécialement configurée pour répondre à leurs dimensions et charges.



Figure 48: Accès à la ligne de control technique dédiée aux véhicules légers et lourds

IV.2 Analyse de l'instrumentation et des dispositifs de contrôle technique:

La travée d'inspection dédiée aux véhicules légers (VL) constitue une plateforme technologique pluridisciplinaire. Cette chaîne de mesure automatisée permet une évaluation quantitative et qualitative de l'intégrité du véhicule à travers plusieurs domaines de contrôle :

IV.2.1 Caractérisation de la liaison au sol et de la dynamique de freinage:

- **Plaque de ripage** : Dispositif de mesure cinématique permettant d'évaluer la dérive transversale et de diagnostiquer la géométrie du train roulant (parallélisme) ;



Figure 49: Plaque de ripage encastrée pour la mesure de la dérive

- **Banc de suspension** : Système vibratoire conçu pour déterminer le coefficient d'adhérence et l'efficacité amortissante des trains avant et arrière ;



Figure 50: Banc combine de suspension

- **Freinomètre à rouleaux** : Dynamomètre de freinage mesurant les efforts de décélération, le déséquilibre entre roues d'un même essieu et l'ovalisation des organes de friction (disques ou tambours).

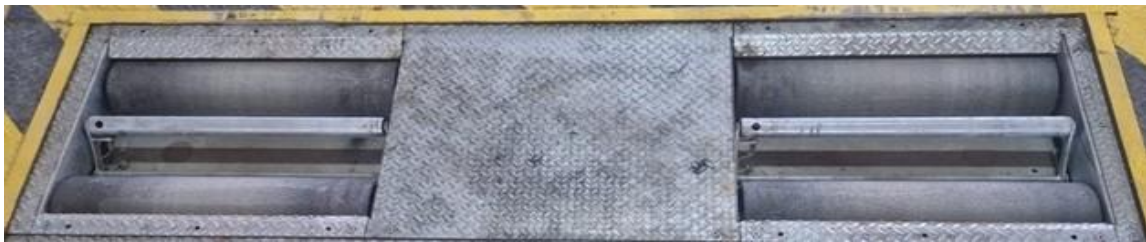


Figure 51: : freinomètre a rouleaux

IV.2.2 Expertise structurelle et inspection visuelle :

- **Fosse d'inspection et Pont élévateur** : Équipements de génie civil et de levage facilitant l'examen macroscopique des organes inférieurs, de la structure du châssis et de l'étanchéité des circuits.



Figure 52: Fosse d'inspection équipée de bordures de sécurité et d'un système d'éclairage intégré pour l'expertise des organes inférieurs

IV.2.3 Métrologie optique et conformité environnementale :

- **Réglo-phare** : Photomètre spécialisé dans le contrôle de l'intensité lumineuse et de la conformité du faisceau de coupe (orientation azimutale et verticale).



Figure 53: Réglo-phare de précision monté sur rails

- **Analyseur de gaz et Opacimètre** : Instruments de mesure des émissions polluantes (CO, CO₂, HC) et du coefficient d'absorption des fumées pour les motorisations thermiques ;



Figure 54: Analyseur de gaz de type VMAG-790 pour le contrôle de la pollution

- **Sonomètre** : Analyseur acoustique vérifiant la conformité du niveau de pression sonore émis par le système d'échappement.



Figure 55: Sonomètre numérique PCE-MSL 1 pour la mesure du niveau sonore

IV.2.4 Sécurisation des énergies spécifiques et pneumatiques :

- **Détecteur de gaz (GPL/GNV)** : Sonde de détection d'hydrocarbures dédiée à la vérification de l'étanchéité des circuits de carburants gazeux.



Figure 56: Détecteur de fuites de gaz PCE-GA 10

- **Instrumentation de contrôle des pneumatiques** : Outils de métrologie dimensionnelle (jauges de profondeur numériques) et de pression pour valider la conformité des bandes de roulement.



Figure 57: Jauge de profondeur numérique (Modèle Brillant Tools BT114903)

IV.3 Protocole opératoire d'inspection :

La procédure d'audit technique est rigoureusement normée et s'articule autour de trois phases critiques. Elle débute par l'audit administratif, qui consiste à identifier formellement le véhicule à travers la vérification du numéro de châssis (VIN), de la plaque d'immatriculation et de la validité des documents. Elle se poursuit par le traitement numérique des données via l'enregistrement dans un système informatique centralisé, avant de se conclure par un examen technique approfondi portant sur les organes de sécurité active et passive, notamment la signalisation optique, les ceintures de sécurité, les ouvrants et l'intégrité des surfaces vitrées.



Figure 58: Mise en situation des véhicules lourd et légers sur le banc d'essai

IV.4 Typologie des interventions techniques :

Le centre assure un ensemble de prestations répondant aux exigences réglementaires et aux besoins des usagers, notamment les visites périodiques obligatoires, les premières visites de mise en circulation, les contre-visites ainsi que les actes administratifs liés à la conformité des véhicules. Il propose également des visites volontaires à caractère préventif afin d'anticiper d'éventuelles anomalies techniques. Ces prestations sont appuyées par des équipements de précision permettant d'établir un rapport détaillé sur l'état mécanique réel du véhicule.

V Intégration du diagnostic automobile moderne :

L'évolution technologique de l'industrie automobile impose l'utilisation systématique d'outils de diagnostic électronique avancés, notamment les protocoles OBD, qui constituent une interface essentielle entre le véhicule et le technicien. Ces technologies permettent l'identification précise des dysfonctionnements, la gestion des codes défauts (DTC) ainsi que le suivi en temps réel des paramètres de fonctionnement des capteurs et actionneurs via les réseaux de communication embarqués (CAN, LIN). Ainsi, le diagnostic électronique s'impose aujourd'hui comme un élément fondamental des opérations de maintenance et des protocoles de contrôle technique modernes, en particulier pour les systèmes avancés d'assistance à la conduite (ADAS), dont la fiabilité dépend directement de la précision des diagnostics réalisés.

VI Corrélation entre le contrôle technique et l'intégrité des systèmes ADAS :

Les systèmes ADAS reposent sur une architecture complexe intégrant des capteurs, des calculateurs et des actionneurs, dont le bon fonctionnement dépend étroitement de l'état mécanique global du véhicule, notamment le système de freinage, la suspension et la géométrie de direction. Ces éléments mécaniques influencent directement la précision des capteurs, la stabilité des mesures ainsi que le maintien de la trajectoire et le comportement dynamique du véhicule, ce qui signifie que toute défaillance, même mineure, peut perturber les systèmes de sécurité active. Par exemple, un défaut de freinage peut affecter le fonctionnement de l'AEB ou de l'ACC, tandis qu'un problème de suspension ou d'alignement peut entraîner un mauvais positionnement des capteurs et une altération des données de perception. Cependant, malgré leur rigueur, les protocoles de contrôle technique actuels présentent des limites face aux véhicules modernes, notamment dans la détection des pannes électroniques complexes, la vérification de la calibration des capteurs ADAS et l'analyse de l'intégrité des logiciels embarqués.

VII Vers une approche intégrée du diagnostic et du contrôle technique :

Face à la complexité croissante de l'architecture mécatronique des véhicules contemporains, il devient nécessaire d'adopter une méthodologie d'inspection intégrée combinant le contrôle technique conventionnel et les outils de diagnostic électronique de nouvelle génération. Cette complémentarité permet de répondre à des enjeux majeurs, notamment l'amélioration de la sécurité routière grâce à une détection plus exhaustive des anomalies et l'optimisation de la fiabilité globale des véhicules par une surveillance renforcée des composants critiques. Elle garantit également le bon fonctionnement ainsi que la précision de calibrage des systèmes ADAS tout au long de leur cycle de vie.

VIII Étude de cas pratique : Étude du processus de contrôle technique automobile

VIII.1 Présentation du véhicule étudié:

Cette section est consacrée à l'application pratique des protocoles de contrôle sur un véhicule léger (VL) de type **Peugeot 308**. L'objectif est de suivre le cheminement réel d'une visite technique, de l'accueil à la délivrance du procès-verbal.



Figure 59: Véhicule léger (VL) Peugeot 308 faisant l'objet d'une procédure de control technique

VIII.2 Déroulement du contrôle et matériel utilisé :

Le processus d'inspection suit une séquence logique afin d'optimiser le flux des véhicules sur la chaîne de contrôle. Conformément aux standards techniques, les tests sont divisés en deux grandes catégories d'instrumentation.

VIII.2.1 Les contrôles sur bancs intégrés :

Ces tests concernent principalement la sécurité active et les organes de liaison au sol. Ils sont effectués sur des équipements ancrés au génie civil de la ligne.

- **Contrôle du ripage :** Il s'agit de mesurer la dérive latérale des roues (exprimée en m/km) lorsque le véhicule se déplace. Ce test permet de diagnostiquer rapidement un défaut de parallélisme.
- **Contrôle de la suspension :** Le banc vibratoire mesure l'efficacité d'amortissement et la dissymétrie entre les roues d'un même essieu pour garantir une tenue de route optimale.



Figure 60: la roue avant est positionnée précisément sur la plaque vibrant du banc de suspension pour l'analyse des amortisseurs (Avant / Arrière)

- **Contrôle du freinage :** Réalisé sur un freinomètre à rouleaux, il mesure l'effort de freinage, l'équilibre entre les roues et l'ovalisation des disques/tambours.



Figure 61: les roues logées entre les deux rouleaux motorisent qui vont opposer une résistance lors du freinage (Roue Avant /Arrière)

- **Contrôle visuel (Fosse) :** Une expertise approfondie des soubassements est réalisée par l'inspecteur pour détecter toute corrosion, fuite ou anomalie de structure.

VIII.2.2 Les contrôles sur bancs intelligents :

Les contrôles sur bancs intelligents utilisent des instruments de mesure de haute précision connectés à l'unité centrale de gestion, permettant un diagnostic fiable et automatisé des différents systèmes du véhicule, notamment le contrôle de l'éclairage à l'aide d'un réglo-phare numérique, l'analyse des gaz d'échappement des moteurs à essence via le CO et le facteur Lambda, ainsi que la mesure de l'opacité des fumées des moteurs Diesel à l'aide d'un opacimètre. Ces contrôles incluent également la vérification des pneumatiques afin d'évaluer l'usure de la bande de roulement, la conformité des dimensions aux prescriptions constructeur

et l'absence de déformations ou de dommages sur les flancs, garantissant ainsi la sécurité et la conformité globale du véhicule.

VIII.3 Les procédures préliminaires avant le contrôle :

Avant d'engager toute opération d'inspection technique, le contrôle de la pression des pneumatiques de la ligne de contrôle constitue une étape impérative et indispensable. En effet, l'état de la pression de gonflage influence directement et de manière fondamentale la précision des résultats obtenus lors des tests ultérieurs réalisés sur la chaîne d'inspection.



Figure 62: Compresseur d'air utilise pour l'alimentation en air comprime de la station

VIII.3.1 L'impact sur les mesures techniques :

Le contrôle du freinage, du système de suspension et du réglage de l'éclairage est fortement influencé par la pression des pneumatiques, car celle-ci conditionne l'adhérence de la roue aux rouleaux du banc de freinage, la fiabilité de l'évaluation des amortisseurs ainsi que la symétrie du comportement des essieux. En effet, une pression incorrecte peut modifier l'assiette du véhicule, entraînant des erreurs dans la mesure de l'efficacité du freinage, de l'inclinaison des projecteurs et de l'orientation des faisceaux lumineux, ce qui compromet la précision globale des contrôles.



Figure 63: Manomètre de précision pour le contrôle et l'ajustement de la pression des pneumatiques

VIII.4 Utilisation d'une chaîne de contrôle pour véhicules légers :

L'exploitation d'une ligne de contrôle technique suit un protocole rigoureux, allant de l'identification administrative du véhicule aux mesures dynamiques sur banc de test.

VIII.4.1 Phase de saisie et identification du véhicule:

La procédure débute par l'intégration des données de la carte grise. Cette étape cruciale peut être réalisée sur le poste de gestion administrative du centre ou directement via la console opératrice de la chaîne de contrôle.

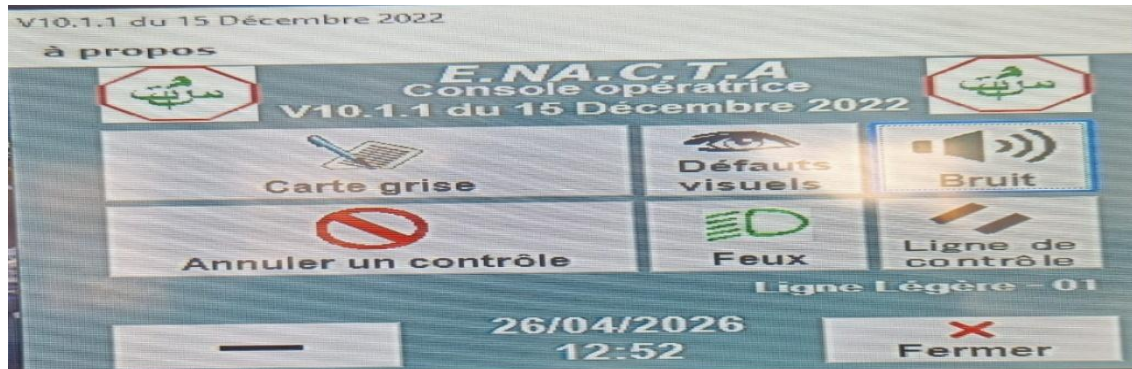


Figure 64: Interface de la console opératrice permettant l'accès au module de saisie des données du véhicule

L'opérateur renseigne l'intégralité des spécifications techniques indispensables au paramétrage des bancs de mesure.

Figure 65: Formulaire de saisie détaillée des caractéristiques (Energie, PTAC, Puissance) définissant les seuils de référence

Une fois les caractéristiques techniques de la voiture enregistrées, l'opérateur accède au module complémentaire pour valider les informations relatives à l'utilisateur.

Utilisateur en Cours : ADMIN CHEF AGENCE

VEHICULE PROPRIETAIRE PRESTATION

IDENTIFICATION PROPRIETAIRE

Nature : ☒ Personne Physique ☐ Personne Morale

Nom : Sélectionnez le client

Prénom :

Adresse : (indiquez l'adresse complète du propriétaire)

Date Naissance : Fonction :

Wilaya :

N°Tél : N°Portable : E-Mail :

(complétez ces données pour le "contact client")

Figure 66: Interface d'identification du propriétaire permettant la saisie des coordonnées (Nom, Prénom, Adresse, Contact) du titulaire du certificat d'immatriculation

Cette procédure est indispensable pour l'édition finale du document officiel et pour assurer la communication avec le client en cas de rappels techniques ou de suivis de contre-visites.

VIII.4.2 Configuration et chaînage automatique :

Une fois les données validées, le système configure le chaînage automatique des tests afin d'organiser la séquence d'inspection en fonction de la catégorie du véhicule et des normes applicables en matière de freinage et de pollution. Il adapte également le déroulement des contrôles selon le type d'intervention, en distinguant une visite périodique complète d'une contre-visite ciblée, l'ensemble de l'interaction entre les données logicielles et les tests physiques étant centralisé au niveau de l'unité de commande située en début de ligne.



Figure 67: Unité de commande informatisée (Vmag) assurant le pilotage de la ligne et la réception des données de mesure

VIII.5 Contrôle de la direction : Mesure du ripage des véhicules légers:

Le ripage correspond à la dérive latérale des roues d'un véhicule lors de son déplacement, exprimée en mètres par kilomètre (m/km), et constitue une vérification du parallélisme des roues permettant de détecter d'éventuels défauts de géométrie du train avant. La mesure est réalisée à l'aide d'une plaque de ripage intégrée à la chaîne de contrôle technique, dont le fonctionnement automatisé se déclenche lors du passage du véhicule et fournit des

résultats influencés par le parallélisme et le carrossage des roues d'un même essieu, afin d'évaluer l'état géométrique et la stabilité du véhicule. Les résultats sont exprimés en mètres par kilomètre (m/km) et interprétés selon un code couleur indiquant le niveau de conformité : de 0 à 5 m/km (vert) pour un état satisfaisant, de 6 à 12 m/km (orange) pour un état moyen nécessitant une surveillance, et au-delà de 12 m/km (rouge) pour un défaut important de géométrie. Dans ce dernier cas, une visite complémentaire est obligatoire afin d'effectuer des vérifications et des réglages du système de direction et du parallélisme des roues.

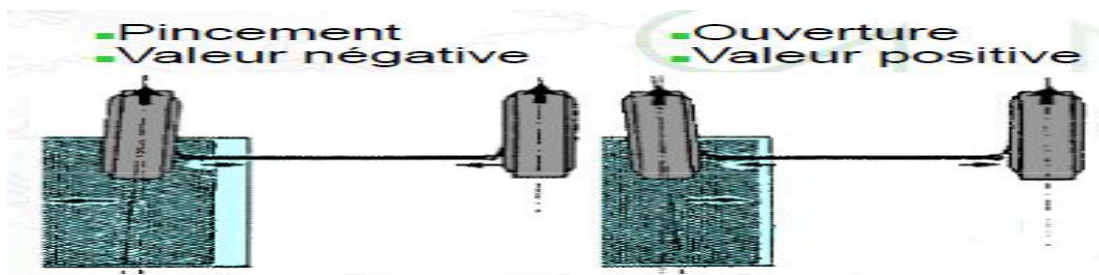


Figure 68: Interface de visualisation des résultats affichant le score de ripage et indicateur de conformité colorimétrique

VIII.6 Contrôle du poids et de la suspension des véhicules légers :

La ligne de contrôle technique des véhicules légers doit être équipée d'un dispositif de mesure des forces verticales (pesée), permettant de déterminer la répartition des charges appliquées sur les roues et les essieux du véhicule. Cette mesure peut être réalisée individuellement pour chaque roue à l'aide d'un banc de suspension ou de plaques de pesée, ou globalement par essieu via le freinomètre, les valeurs étant considérées comme officielles uniquement lorsqu'elles sont obtenues lors des essais de freinage, tout en intégrant un dispositif d'évaluation de la dissymétrie de la suspension afin de vérifier l'équilibre dynamique entre les roues d'un même essieu. Ainsi, deux principales technologies de bancs de suspension sont utilisées dans les centres de contrôle technique pour assurer ces différentes vérifications et garantir la fiabilité des résultats.

VIII.6.1 Banc de suspension à mesure de battement :

Cette technologie repose sur la mesure de l'amplitude maximale de battement des roues, en comparant les valeurs du côté gauche et du côté droit afin de déterminer la dissymétrie de la suspension. Le banc est constitué d'une plaque vibrante reliée à un excentrique d'excitation via un ressort interne, tandis qu'un capteur mesure le déplacement du plateau durant les oscillations, permettant ainsi le contrôle dynamique des essieux jusqu'à 2000 kg ainsi qu'une pesée statique pouvant atteindre 2500 kg.

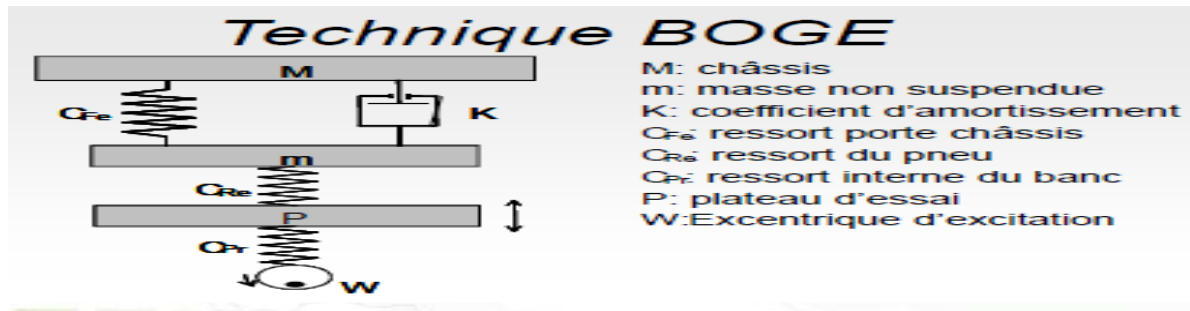


Figure 69: Schéma cinématique d'un banc à mesure de battement

VIII.6.2 Banc de suspension à mesure d'adhérence :

Cette technologie repose sur la comparaison entre le poids statique et le poids dynamique appliqué sur la roue, en analysant les différences d'adhérence entre le côté gauche et le côté droit afin de déterminer la dissymétrie de la suspension. Le système utilise une plaque vibrante reliée rigidement à un excentrique d'excitation (débattement de 6 mm) et un capteur de force placé sous la plaque pour mesurer les efforts appliqués, permettant ainsi le contrôle dynamique des essieux jusqu'à 2500 kg ainsi qu'une pesée statique pouvant atteindre 3000 kg.

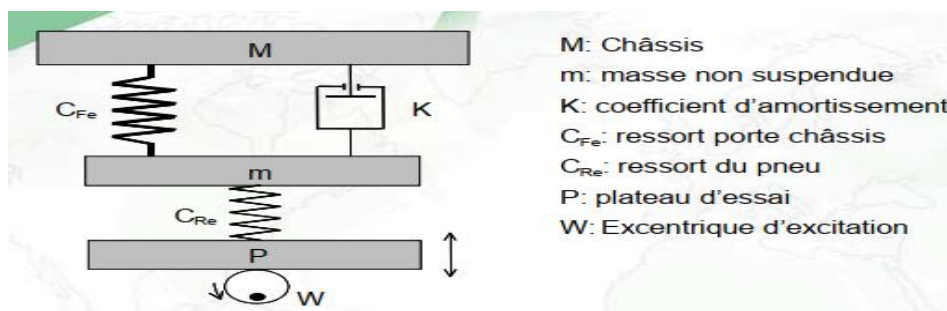


Figure 70: Schéma de principe d'un banc a mesuré d'adhérence (Liaison rigide)

L'efficacité de la suspension est interprétée selon des seuils définis, où une valeur comprise entre 60 % et 100 % indique un état satisfaisant, entre 45 % et 59 % un état moyen, et entre 0 % et 44 % un état non conforme. Ces valeurs d'efficacité sont fournies à titre indicatif



Figure 71: Sélection du dossier du véhicule sur l'interface logicielle avant l'engagement des tests de pesée et de la suspension

VIII.7 Contrôle du freinage des véhicules légers :

La ligne de contrôle technique des véhicules légers doit être équipée d'un dispositif permettant à la fois le contrôle du système de freinage et la mesure de la masse (pesée) du véhicule, le contrôle du freinage étant réalisé à l'aide d'un banc à rouleaux (freinomètre). Son principe repose sur la mise en rotation de l'essieu sur des rouleaux motorisés à environ 5 km/h, puis lors du freinage une force résistante est mesurée sous forme de couple de retenue au niveau du motoréducteur, permettant d'évaluer l'efficacité du freinage par rapport à la charge de l'essieu, avec une capacité de mesure atteignant environ 750 daN.

VIII.7.1 Procédure de test et mesures :

La ligne de contrôle suit des étapes précises pour garantir la fiabilité des mesures :

- Avant toute mesure, trois mises en condition successives doivent être réalisées dans un délai minimum de 6 secondes. Ces essais préliminaires permettent de chauffer les éléments du système de freinage afin de stabiliser les conditions de test et d'évaluer correctement l'effort maximal de freinage de l'essieu.



Figure 72: Ecran de mise en condition (1/3) affichant les forces initiales FG (139 daN) et FD (153 daN)

- La mesure du frein résiduel permet d'identifier les frottements permanents agissant sur la rotation des roues, susceptibles de provoquer des échauffements anormaux. Cette mesure reste toutefois facultative dans le cadre du contrôle technique.



Figure 73: Mesure des forces résiduelles (faible valeur de 5 et 6 DaN)

- L'essai consiste à appliquer un freinage progressif sur une durée minimale de 6 secondes jusqu'à atteindre l'effort maximal de freinage.



Figure 74: Résultat du test d'effort, le déséquilibre est de 9%, ce qui est excellent (inférieur à 20%)

- Le contrôle du frein de stationnement est également réalisé de manière progressive, sur une durée minimale d'environ 6 secondes.



Figure 75: Bilan final affichant l'efficacité du frein de service (48%) et du frein de stationnement (23%)

VIII.7.2 Méthodes de contrôle et appréciation des résultats

Deux méthodes peuvent être utilisées pour le contrôle du freinage : la méthode simplifiée, où l'efficacité est mesurée simultanément sur les deux roues d'un même essieu avec une valeur retenue au moment où la première roue atteint son effort maximal, et la méthode de référence, qui consiste à mesurer successivement les forces de freinage maximales roue par roue afin de déterminer l'efficacité totale du véhicule. Le déséquilibre entre les roues droite et gauche est jugé acceptable entre 20 % et 30 % et devient important entre 31 % et 100 %, tandis que l'efficacité globale du freinage est considérée comme bonne entre 50 % et 100 % mais insuffisante entre 0 % et 49 %, nécessitant alors un essai roue par roue et éventuellement une contre-visite. Enfin, l'efficacité du frein de stationnement est qualifiée de bonne entre 18 % et 100 % et insuffisante entre 0 % et 17 %.

VIII.8 Contrôle de l'éclairage des véhicules légers :

Le contrôle de l'éclairage des véhicules légers est réalisé à l'aide d'un appareil appelé règle-phare, qui permet de vérifier et de mesurer la hauteur ainsi que le rabattement du faisceau lumineux des projecteurs afin de garantir un éclairage conforme aux normes de sécurité routière. Cet équipement dispose de plusieurs fonctionnalités assurant la précision des mesures, notamment une plage de réglage du site comprise entre 0 et 5 %, un système de centrage par faisceau laser et un luxmètre mesurant l'intensité lumineuse en lux. Il peut également être équipé de différents systèmes d'alignement, tels que l'alignement par miroir ou par laser, afin d'optimiser la précision du réglage des projecteurs.



Figure 76: Positionnement au réglo-phare avant l'optique du véhicule

VIII.8.1 Procédure de contrôle :

Avant de commencer le contrôle, il est nécessaire de vérifier le niveau à bulle situé à l'intérieur du bloc optique. Le réglage s'effectue en faisant pivoter le bloc optique à l'aide de la molette latérale jusqu'à obtention d'un positionnement correct.



Figure 77: Positionnement du viseur à miroir pour l'alignement du réglo-phare (a)- Molette de blocage et graduation de la colonne du réglo-phare (b)

Le règle-phare doit ensuite être placé devant le véhicule à une distance approximative de 25 cm. L'alignement est réalisé en orientant le faisceau laser rouge sur une ligne horizontale du véhicule, telle que la partie supérieure du pare-brise, puis en verrouillant la colonne pivotante dans la position adéquate.



Figure 78: Schéma structurel du montant vertical et du bloqueur de colonne (a) - Ecran de visée gradue pour le contrôle de l'inclinaison et de l'asymétrie des feux (b)

Après la mise en marche de l'appareil à l'aide de la touche Marche/Arrêt (I/O), l'opérateur positionne la molette située à l'arrière du bloc optique sur la position « 0 » afin d'activer le laser de centrage. Le faisceau laser doit alors être centré sur le repère du projecteur ou sur le centre de l'ampoule.



Figure 79: Dispositif de mesure de la hauteur de l'optique sur la colonne du réglo-phare

L'opérateur procède ensuite à la mesure de la hauteur puis sélectionne l'optique à contrôler (gauche ou droite). Après avoir choisi le mode « feux de croisement » et allumé les projecteurs concernés, le réglage du rabatement est effectué en tournant la molette de mesure tout en observant les indications fournies par le guide de diagnostic.

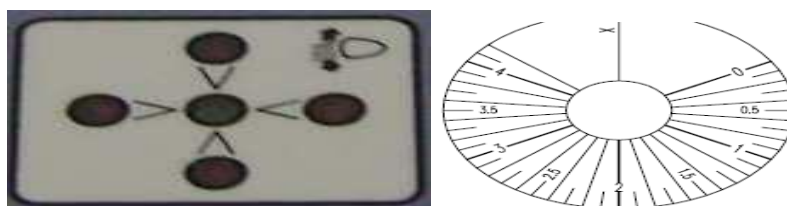


Figure 80: Dispositif de compensation de la pente pour le calcul du rabatement (a) - Indicateur a LED pour l'aide au centrage du faisceau (b)

VIII.8.2 Valeurs de référence et interprétation des résultats :

Les mesures portent principalement sur le rabatement du faisceau des feux de croisement, qui doit être compris entre $-0,5\%$ et $-2,5\%$, le bon positionnement du règle-phare devant le véhicule conditionnant directement la précision des résultats. Une ligne de coupure située au-dessus de $-0,5\%$ nécessite une visite complémentaire, tandis qu'une ligne située en dessous de $-2,5\%$ fait seulement l'objet d'une observation, le réglage étant considéré comme conforme lorsque le témoin vert central est allumé. Enfin, les résultats sont transférés vers le

pupitre de contrôle via la touche de transfert, puis interprétés automatiquement par le logiciel de contrôle technique.



Figure 81 : Ecran de résultats du contrôle photométrique des différents feux

VIII.8.3 Composition du tableau de bord de l'appareil :

Le tableau de commande du règle-phare comprend plusieurs éléments essentiels, notamment le luxmètre pour mesurer l'intensité lumineuse, la touche Marche/Arrêt, la touche d'impression (optionnelle), la touche de transfert des mesures vers le pupitre, ainsi que la touche de sélection des optiques permettant de choisir entre le phare gauche ou droit. Il intègre également un indicateur de puissance d'éclairage, un guide de diagnostic informant sur l'état de réglage de l'optique, et un sélecteur du type de phares à contrôler. L'ensemble de ces dispositifs assure une gestion complète et précise des opérations de contrôle.

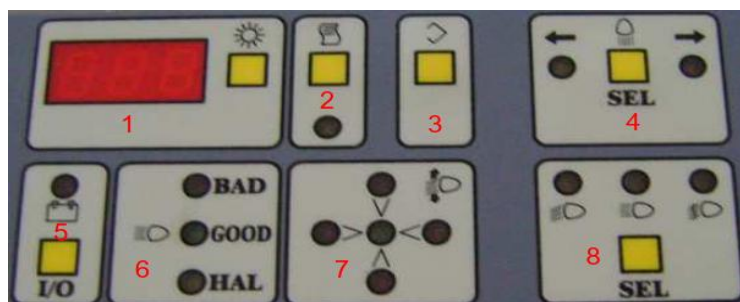


Figure 82: Interface utilisateur et clavier de commande du dispositif de contrôle

IX Étude de cas pratique : Diagnostic d'un système de freinage d'urgence (AEB)

Dans le cadre de cette immersion professionnelle, une intervention majeure a porté sur la prise en charge d'un véhicule présentant une défaillance critique du système AEB (Automatic Emergency Braking). Cette anomalie se manifestait par l'allumage d'un témoin d'alerte au combiné d'instruments, entraînant l'inhibition automatique des fonctions de freinage d'urgence

IX.1 Symptômes et expertise préliminaire :

Le conducteur rapportait une désactivation intermittente du système, confirmée par un message d'alerte au tableau de bord. L'examen initial via l'interface de diagnostic OBD-II a mis en évidence la présence du code défaut C0051, symptomatique d'une perte de signal du capteur radar. L'analyse des paramètres en temps réel a révélé une anomalie électrique, avec une tension d'alimentation du capteur oscillant autour de 3,2 V, une valeur nettement inférieure au seuil nominal de 5 V requis pour le bon fonctionnement du système.

IX.2 Protocole de diagnostic et résolution :

La méthodologie de résolution a suivi un processus rigoureux en six étapes :

- **Confirmation du défaut :** Lecture du calculateur pour identifier le code C0051 comme défaut actif et permanent ;
- **Analyse oscilloscopique :** L'étude du signal à l'oscilloscope a confirmé une instabilité du signal d'entrée, caractérisée par des micro-coupures de tension, confirmant une défaillance de la ligne d'alimentation ;
- **Inspection physique du faisceau :** Le contrôle de continuité et l'examen visuel ont permis de localiser une zone d'oxydation et une microcoupure au niveau du connecteur exposé, situé sous le bouclier avant ;
- **Action corrective :** Remplacement des connectiques altérées et sécurisation du faisceau pour prévenir toute infiltration future ;
- **Calibration statique :** Réalignement du radar à l'aide de l'outil de diagnostic constructeur et de cibles réfléchissantes, en respectant scrupuleusement les distances et les angles de mire prescrits ;
- **Validation et essai dynamique :** Effacement des codes d'erreur (DTC) suivi d'un essai routier de 10 km. La stabilité du système a été confirmée par l'absence de réapparition de défauts.

IX.3 Procédures de calibration des capteurs ADAS :

IX.3.1 Impératifs de calibration :

La précision des systèmes d'aide à la conduite repose sur l'alignement géométrique parfait des capteurs radar et caméra. Une calibration devient impérative dès que l'intégrité physique ou l'orientation du support est modifiée, notamment après le remplacement d'un composant optique ou radar, une intervention sur la carrosserie ou le bouclier avant, ou encore une modification de la géométrie des trains roulants. En effet, une erreur de parallaxe, même

minime, peut entraîner des freinages intempestifs (faux positifs) ou une inertie du système face à un danger réel.

IX.3.2 Méthodes de calibration : Statique vs Dynamique

IX.3.2.1 Phase Statique :

Cette étape s'effectue en environnement contrôlé (atelier) sur une surface plane et horizontale. Elle repose sur l'utilisation de cibles homologuées positionnées dans l'axe de référence du véhicule à une distance précise, généralement comprise entre 1,5 m et 3 m. Le calculateur réalise ensuite une remise à zéro des angles de dérive à l'aide de l'outil de diagnostic.

IX.3.2.2 Phase Dynamique :

Complémentaire à la phase statique, cette étape permet au calculateur d'ajuster ses algorithmes de reconnaissance (marquage au sol, horizon) en conditions réelles. Elle nécessite de circuler sur une voie rectiligne à vitesse constante, généralement entre 50 et 80 km/h, sur une distance donnée afin de valider l'auto-apprentissage du capteur. Cette procédure garantit ainsi la précision et la fiabilité du système en situation de conduite réelle.

IX.4 Analyse comparative des codes défauts (DTC) :

L'étude des pannes récurrentes observées durant le stage permet de dresser une cartographie des défaillances des systèmes ADAS :

- **Le code C0051 (Radar) :** Identifié comme l'anomalie la plus fréquente. Sa récurrence s'explique par l'emplacement exposé du radar, sujet aux agressions extérieures (humidité, vibrations, chocs thermiques) qui fragilisent les connecteurs.
- **Le code U0100 (Communication CAN) :** Souvent interprété à tort comme une rupture du réseau, ce défaut est majoritairement lié à une chute de tension d'alimentation du calculateur, soulignant la sensibilité de l'électronique de bord à la qualité de la batterie.
- **Défaillances optiques (Caméras) :** Bien que moins fréquentes, elles représentent le diagnostic le plus complexe en raison des exigences de propreté du pare-brise et de la nécessité systématique d'une recalibration logicielle après chaque démontage.

X Contribution à la gestion de l'unité de maintenance des véhicules :

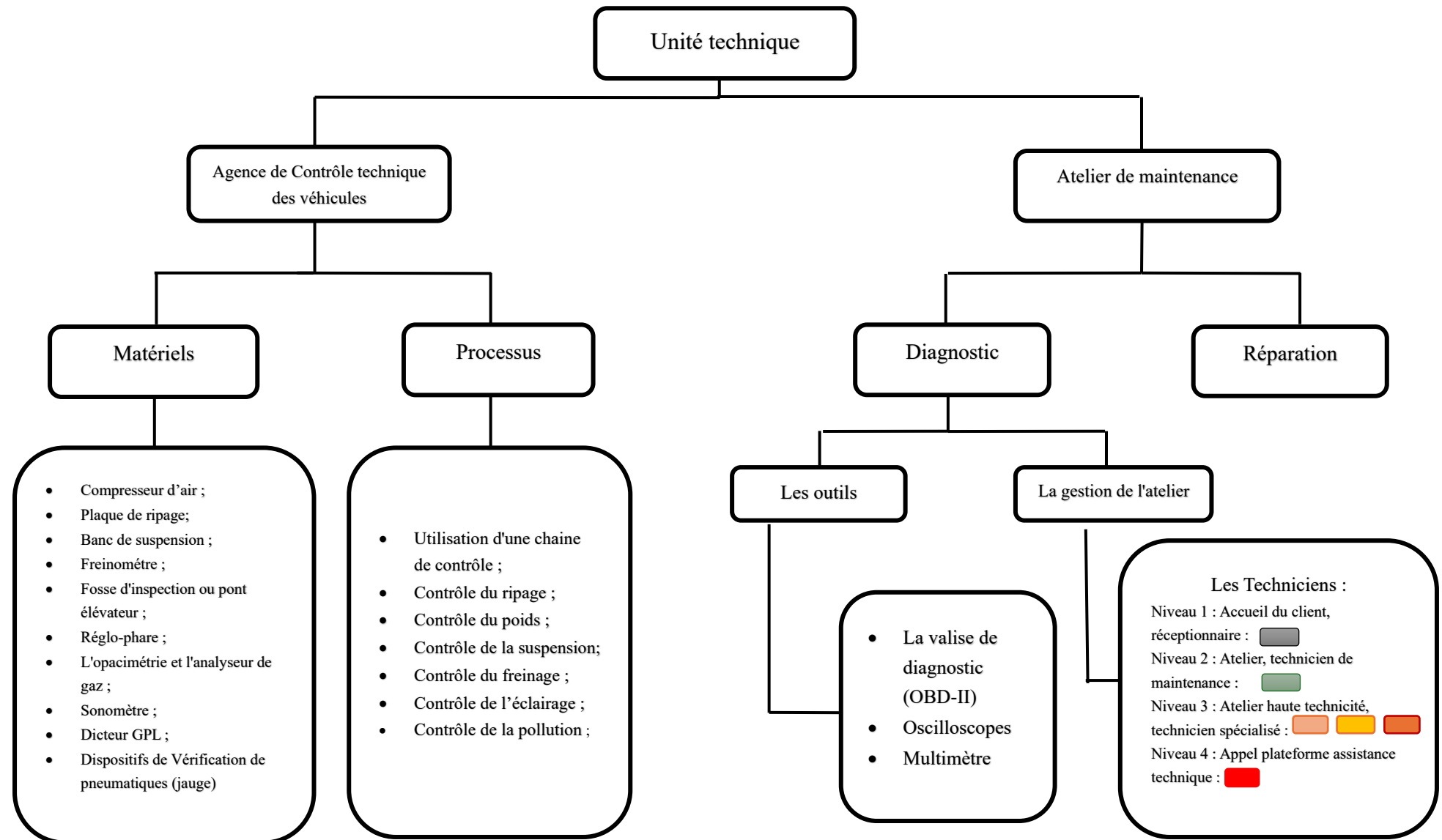
La contribution à la gestion d'une unité de maintenance automobile vise à optimiser l'ensemble des processus techniques, opérationnels et administratifs afin de maximiser le taux de disponibilité du parc roulant. Cette démarche managériale englobe la planification des interventions préventives, la rationalisation des coûts opérationnels (pièces de rechange et

main-d'œuvre), la veille réglementaire ainsi que l'analyse des indicateurs de performance tels que la durée d'immobilisation et la consommation de carburant.

L'organisation stratégique et l'amélioration continue de l'unité s'articulent autour de quatre piliers fondamentaux :

X.1 Organisation et planification opérationnelle :

- **Maintenance préventive :** Instauration d'un plan de charge et d'un calendrier d'entretien systématique, rigoureusement alignés sur les préconisations des constructeurs (seuils kilométriques, cycles temporels d'usage). Cette approche proactive vise à anticiper les défaillances critiques et à réduire les pannes immobilisantes à fort impact financier ;
- **Maintenance corrective :** Rationalisation du traitement des défaillances fortuites par l'émission systématique d'Ordres de Réparation (ODR). Cet outil garantit une traçabilité rigoureuse des interventions et permet d'auditer l'affectation horaire de chaque technicien.



X.2 Digitalisation et outils technologiques :

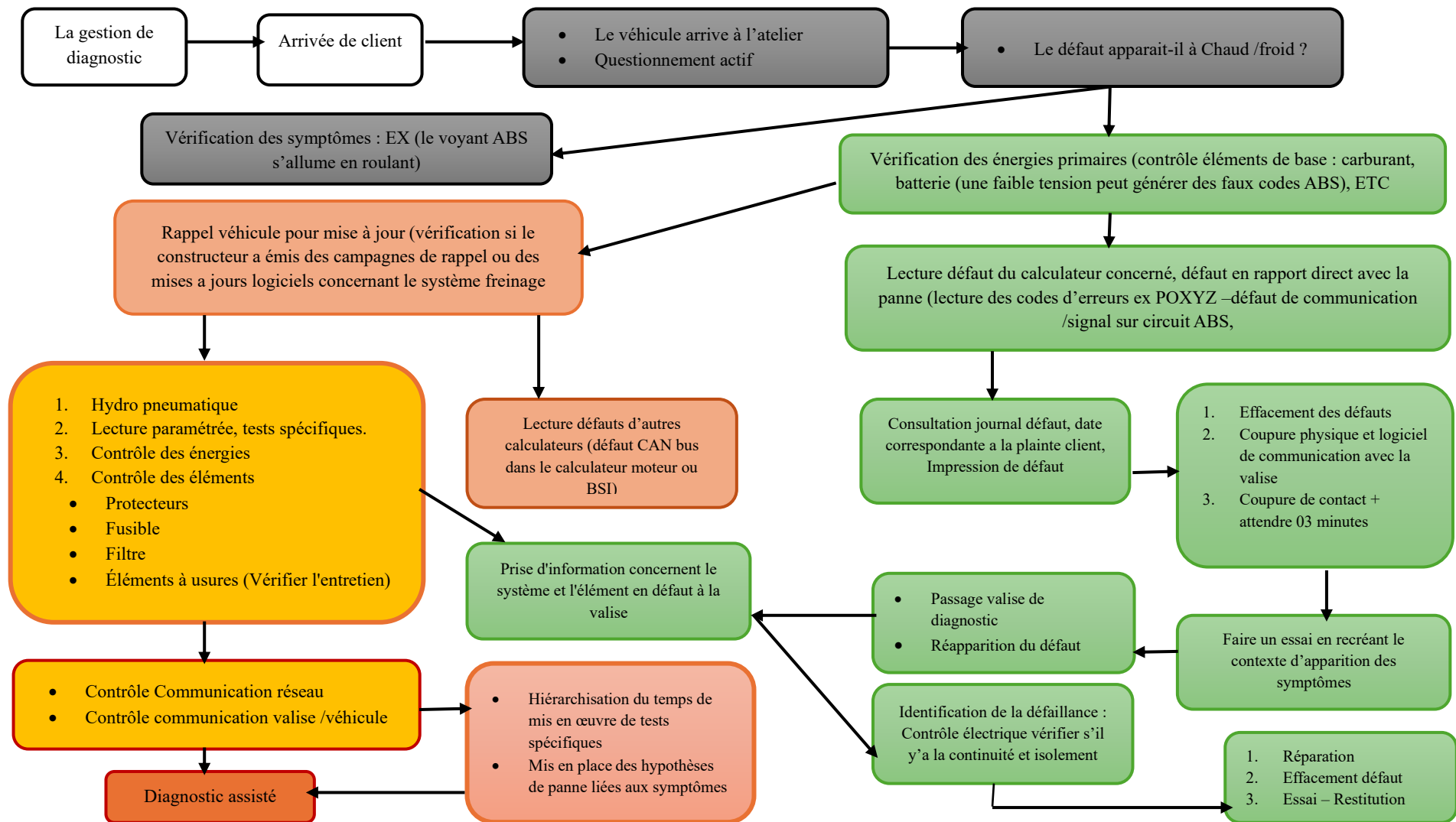
- **GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) :** Centralisation et archivage des données d'exploitation (historique des pannes, suivi des index kilométriques) pour standardiser la prise de décision ;
- **Suivi administratif réglementaire :** Automatisation des alertes et des notifications liées au renouvellement des pièces administratives obligatoires (contrats d'assurance, certificats d'immatriculation, visites techniques périodiques) afin de prémunir l'organisation contre tout risque de non-conformité légale ;
- **Approche adaptative :** Pour les structures de taille intermédiaire, le déploiement de tableaux de bord dynamiques sous Microsoft Excel constitue une alternative agile, facilitant la modélisation graphique des trajectoires budgétaires et l'analyse individualisée des coûts par véhicule.

X.3 Gestion des flux logistiques et des ressources humaines :

- **Approvisionnement et logistique de stockage :** Pilotage des stocks de pièces de rechange et de consommables critiques pour sécuriser la chaîne de réparation et écarter tout risque de rupture de flux en atelier ;
- **Management des compétences (Ressources Humaines) :** Planification des charges de travail et affectation des tâches en adéquation avec les habilitations techniques des opérateurs (distinction des protocoles d'intervention entre motorisations thermiques, hybrides et électriques).

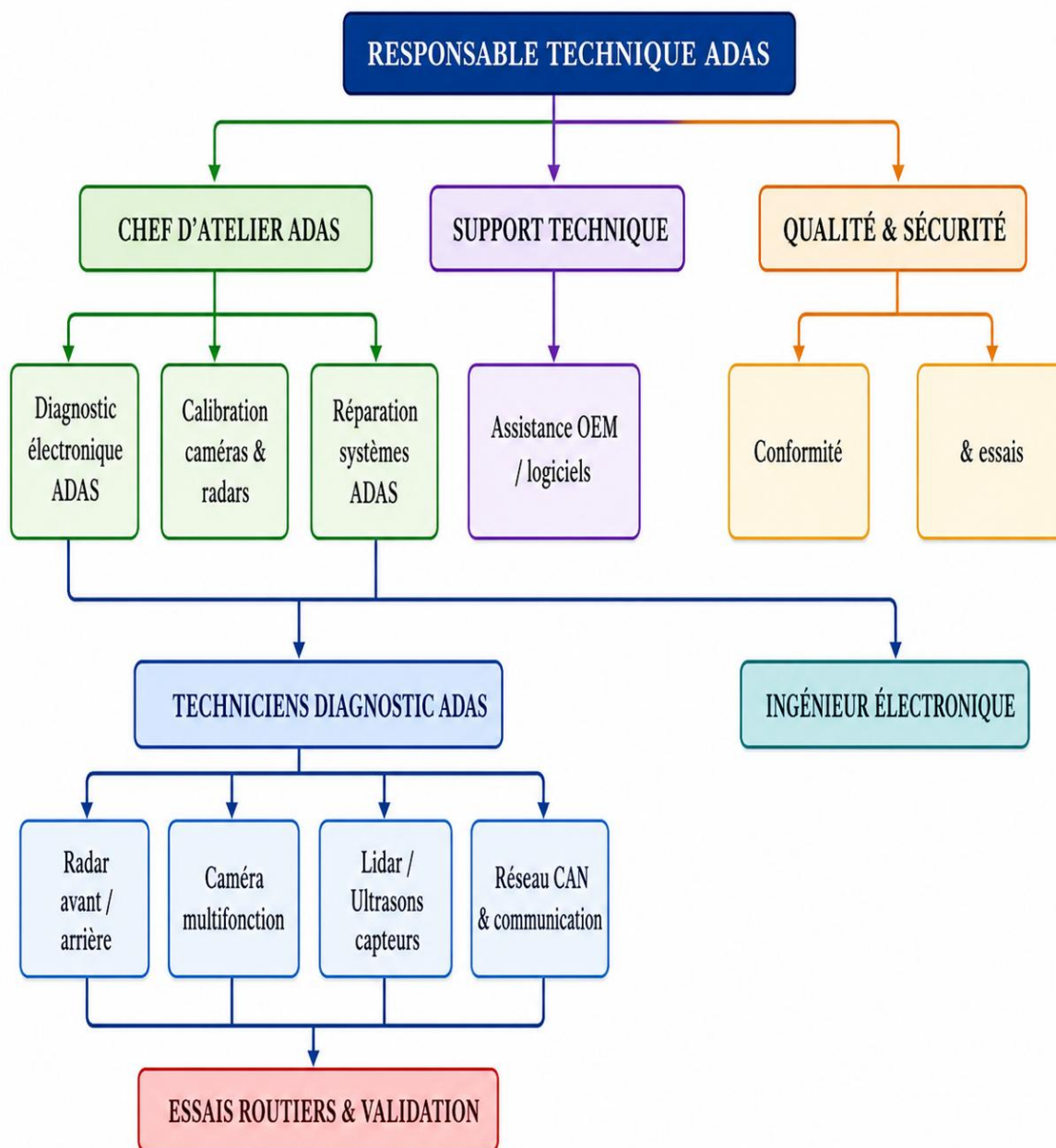
X.4 Pilotage par les Indicateurs Clés de Performance (KPI) :

- **Le Taux de Disponibilité des Véhicules :** Ratio mesurant la proportion de temps durant laquelle la flotte est pleinement opérationnelle par rapport à sa période d'exploitation requise ;
- **Le Coût Total de Possession (TCO - Total Cost of Ownership) :** Agrégat financier intégrant les dépenses de maintenance, l'approvisionnement en carburant, les primes d'assurance et l'amortissement des composants ;
- **Le Taux d'immobilisation et la Durée Moyenne de Réparation (MTTR - Mean Time To Repair) :** Indicateurs logistiques mesurant la réactivité de l'atelier et l'impact des arrêts techniques sur la continuité de service.



XI Organigramme de diagnostic des système ADAS des véhicules dans un atelier :

L'organigramme de diagnostic des systèmes ADAS dans un atelier constitue une structure méthodique permettant d'organiser et de standardiser les opérations de contrôle, d'analyse et de calibration des systèmes d'aide à la conduite. Il définit clairement les étapes d'intervention ainsi que la répartition des rôles entre les différents intervenants techniques, afin de garantir une prise en charge efficace et sécurisée des véhicules. Cette organisation vise à assurer la précision des diagnostics, la conformité des réparations aux exigences des constructeurs, ainsi que la fiabilité optimale des systèmes ADAS après intervention.



Fonctions principales de l'organigramme ADAS :

1. Responsable technique ADAS :

Le responsable technique ADAS assure la gestion globale et la supervision des activités liées aux systèmes avancés d'aide à la conduite. Ses principales responsabilités comprennent :

- La supervision générale des opérations liées aux systèmes ADAS ;
- La gestion et l'application des procédures définies par les constructeurs automobiles ;
- La validation finale des diagnostics complexes et des interventions techniques spécifiques.

2. Chef d'atelier ADAS :

Le chef d'atelier ADAS est chargé de l'organisation et de la coordination des opérations techniques au sein de l'atelier. Ses missions principales sont :

- La répartition des interventions entre les techniciens ;
- La coordination et le suivi des équipes techniques ;
- Le contrôle et la gestion des équipements utilisés pour les opérations de calibration.

3. Diagnostic électronique des systèmes ADAS :

Le diagnostic électronique constitue une étape essentielle permettant d'identifier les anomalies affectant les systèmes embarqués. Il comprend notamment :

- La lecture et l'interprétation des défauts enregistrés dans les calculateurs électroniques (ECU) ;
- L'analyse des réseaux de communication embarqués tels que CAN, LIN et Ethernet ;
- La vérification du fonctionnement des capteurs et des unités de commande électroniques.

4. Calibration des systèmes ADAS :

La calibration garantit le fonctionnement optimal et la précision des systèmes d'assistance à la conduite. Elle inclut :

- La calibration statique des dispositifs ;
- La calibration dynamique réalisée en conditions de circulation ;
- L'alignement et le réglage des capteurs radar et des caméras.

5. Réparation des systèmes ADAS :

Les opérations de réparation visent à restaurer les performances et la fiabilité des systèmes. Elles comprennent :

- Le remplacement des capteurs défectueux ;
- La mise à jour des logiciels embarqués ;
- La réparation des faisceaux et circuits électriques associés.

6. Support technique et assistance constructeur (OEM) :

Le support technique fournit une assistance spécialisée afin d'assurer une résolution efficace des problèmes techniques complexes. Ses activités comprennent :

- L'assistance technique des constructeurs automobiles ;
- Les opérations de télédiagnostic ;
- La gestion et l'exploitation de la documentation technique spécialisée.

7. Qualité et sécurité :

Le service qualité et sécurité garantit le respect des normes techniques et des exigences réglementaires. Ses principales fonctions sont :

- La validation de la conformité des interventions réalisées ;
- La réalisation de tests fonctionnels ;
- La vérification des conditions de sécurité après intervention.

8. Équipements généralement utilisés :

Le diagnostic et la maintenance des systèmes ADAS nécessitent l'utilisation d'équipements spécialisés, parmi lesquels :

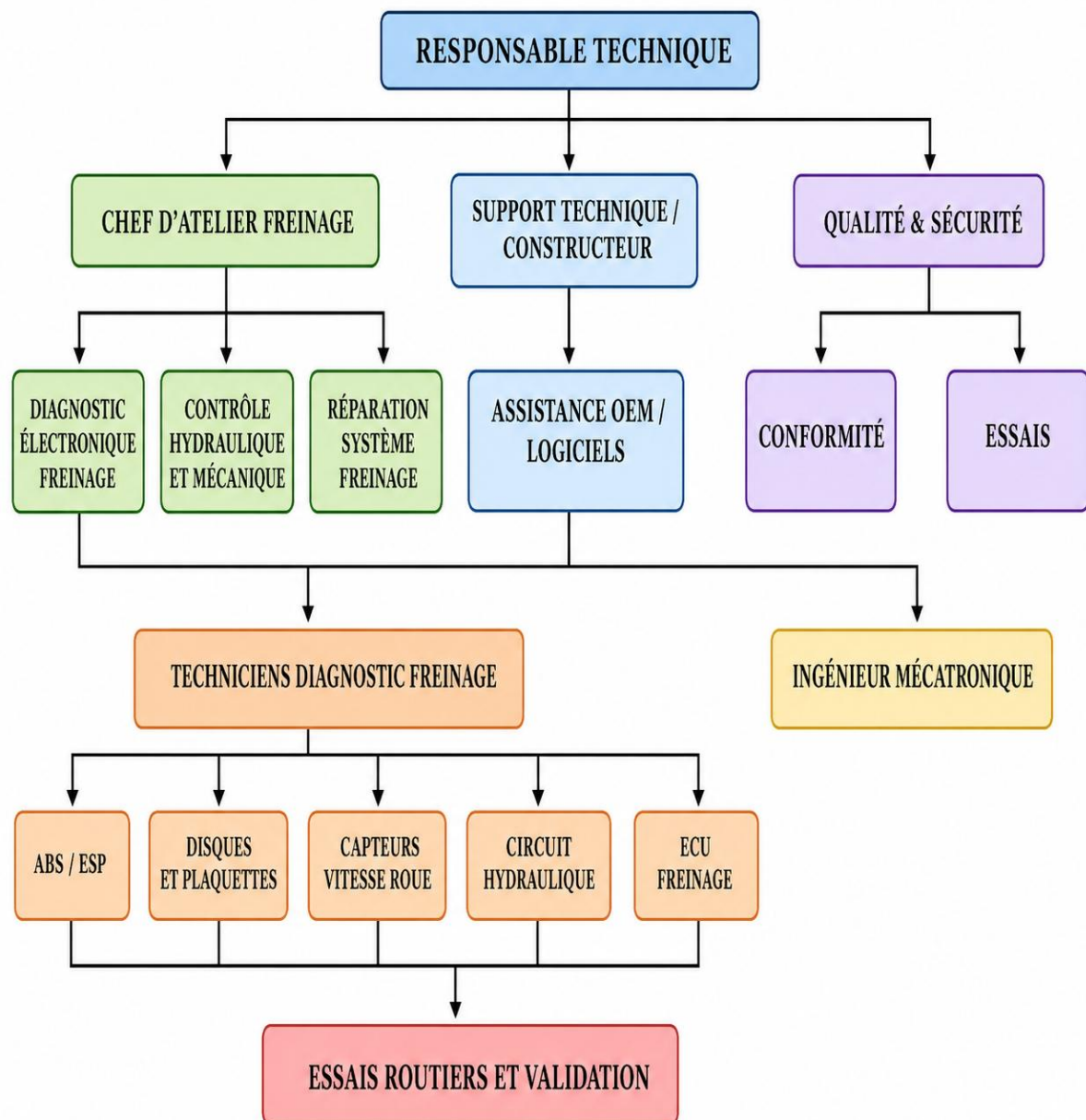
- Une valise de diagnostic constructeur ;
- Un banc de calibration ADAS ;
- Des cibles radar et caméra ;
- Un oscilloscope automobile ;
- Des outils de mesure laser ;
- Des logiciels spécialisés fournis par les constructeurs (OEM).
- **Systèmes ADAS concernés :**

Les principales technologies ADAS concernées par les opérations de diagnostic et de maintenance sont :

- Le système de freinage automatique d'urgence (AEB) ;
- Le régulateur de vitesse adaptatif (ACC) ;
- Les systèmes d'avertissement et de maintien dans la voie (LDW/LKA) ;
Le système de surveillance des angles morts (BSD) ;
- Les caméras de vision à 360° ;
- Les systèmes d'assistance au stationnement ;
- Les systèmes de détection des piétons.

XII Organigramme de diagnostic de système de freinages des véhicules dans un atelier :

L'organigramme de diagnostic du système de freinage des véhicules en atelier constitue une démarche structurée visant à organiser les différentes étapes d'inspection, d'analyse et de réparation des composants du système de freinage. Il permet de définir de manière précise les procédures à suivre ainsi que la répartition des responsabilités entre les intervenants techniques. Cette organisation garantit un diagnostic rigoureux des anomalies, une intervention conforme aux normes de sécurité et aux recommandations des constructeurs, ainsi qu'un contrôle final assurant l'efficacité et la fiabilité du système de freinage après intervention.



Fonctions principales associées au diagnostic du système de freinage :

1. Responsable technique :

Le responsable technique assure la supervision générale des activités liées au diagnostic et à la maintenance du système de freinage. Ses principales missions comprennent :

- La supervision globale des opérations de diagnostic ;
- La validation des interventions techniques complexes ;
- La gestion et l'application des procédures définies par les constructeurs automobiles.

2. Chef d'atelier freinage :

Le chef d'atelier est chargé de l'organisation et de la coordination des opérations techniques réalisées au sein de l'atelier. Ses responsabilités principales sont :

- La répartition des interventions entre les techniciens ;
- La coordination et le suivi des équipes techniques ;
- Le contrôle des équipements utilisés pour les opérations de diagnostic.

3. Diagnostic électronique :

Le diagnostic électronique permet l'identification des défauts et des dysfonctionnements des systèmes de freinage électroniques. Cette activité comprend :

- La lecture et l'interprétation des défauts enregistrés dans les unités de commande électroniques (ECU) ;
- Le diagnostic des systèmes ABS et ESP ;
- L'analyse des réseaux de communication embarqués tels que CAN.

4. Contrôle hydraulique et mécanique :

Cette étape vise à vérifier l'état et le fonctionnement des composants mécaniques et hydrauliques du système de freinage. Elle inclut :

- La vérification du maître-cylindre ;
- Le contrôle des conduites hydrauliques ;
- L'inspection des disques, des plaquettes et des étriers de frein.

5. Réparation du système de freinage :

Les opérations de réparation ont pour objectif de restaurer les performances et la fiabilité du système. Elles comprennent :

- Le remplacement des composants défectueux ;
- La purge du circuit hydraulique ;
- La mise à jour des logiciels associés aux systèmes électroniques de freinage

6. Essais routiers et validation :

Après les opérations de diagnostic et de réparation, des essais sont réalisés afin de confirmer le bon fonctionnement du système. Cette phase comprend :

- La vérification des performances de freinage ;
- Le contrôle de la stabilité du véhicule ;
- La validation des conditions de sécurité après intervention.

XIII Conclusion :

L'analyse présentée dans ce chapitre a mis en évidence l'importance stratégique des opérations de maintenance, du diagnostic électronique et du contrôle technique dans le secteur automobile moderne. L'étude de l'organisation fonctionnelle de l'ETUS et de son centre de contrôle technique a démontré que la gestion efficace d'un parc roulant repose sur des infrastructures adaptées, des compétences techniques spécialisées et des procédures normalisées d'intervention et de contrôle. Les différentes inspections réalisées ainsi que l'étude de cas du système AEB ont souligné le rôle essentiel des équipements de mesure, des outils de diagnostic avancés et des procédures de calibration dans l'évaluation de la sécurité et de la fiabilité des véhicules modernes intégrant des systèmes ADAS. Ainsi, l'évolution technologique du domaine automobile conduite vers une approche intégrée du contrôle technique et du diagnostic intelligent, où la maîtrise des systèmes électroniques devient indispensable pour garantir la performance, la sécurité et la conformité des véhicules.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

L'évolution technologique de l'industrie automobile a profondément transformé l'architecture des véhicules modernes, désormais caractérisés par l'intégration de systèmes électroniques complexes, de réseaux de communication embarqués et de technologies avancées d'aide à la conduite (ADAS). Cette mutation technologique a considérablement amélioré la sécurité routière, le confort de conduite et les performances des véhicules, tout en rendant les opérations de maintenance, de diagnostic et de contrôle technique plus exigeantes et plus spécialisées.

À travers cette étude, il a été mis en évidence que les outils de diagnostic automobile modernes occupent une place essentielle dans l'identification et l'analyse des défaillances affectant les systèmes électroniques et mécatroniques des véhicules contemporains. L'utilisation du protocole OBD-II, des scanners de diagnostic, des oscilloscopes ainsi que des multimètres permet d'accéder aux données des calculateurs électroniques, d'interpréter les codes défauts (DTC) et d'analyser les signaux électriques avec une grande précision. Ces technologies contribuent ainsi à améliorer la rapidité et la fiabilité des interventions techniques.

L'étude des systèmes ADAS et des systèmes de freinage modernes a également permis de démontrer l'interdépendance existant entre les composants mécaniques, hydrauliques, électroniques et logiciels. En effet, le bon fonctionnement des systèmes de sécurité active dépend non seulement de la qualité des capteurs et des calculateurs, mais également de l'état mécanique global du véhicule, notamment du système de freinage, de la suspension et de la géométrie des trains roulants. Toute anomalie, même mineure, peut affecter la précision des systèmes ADAS et compromettre la sécurité du conducteur et des usagers de la route.

L'analyse des procédures de contrôle technique a montré que les méthodes conventionnelles demeurent indispensables pour l'évaluation de l'état mécanique des véhicules. Toutefois, les limites de ces méthodes face à la complexité croissante des architectures électroniques modernes soulignent la nécessité d'intégrer davantage les technologies de diagnostic électronique au sein des centres de contrôle technique. Cette complémentarité constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour garantir un contrôle plus précis, plus fiable et mieux adapté aux véhicules de nouvelle génération.

L'étude pratique réalisée au sein de l'Établissement Public de Transport Urbain et Suburbain de Tébessa (ETUS) a permis d'illustrer concrètement les notions théoriques abordées dans ce mémoire. Elle a offert une vision réaliste des procédures de diagnostic et de contrôle technique appliquées sur le terrain, tout en mettant en évidence l'importance de la maintenance

CONCLUSION GÉNÉRALE

préventive, de la calibration des capteurs ADAS et de l'utilisation des outils de diagnostic avancés dans la détection des défaillances.

En perspective, l'évolution continue des technologies automobiles, notamment avec le développement des véhicules connectés, électriques et autonomes, nécessitera des compétences techniques encore plus avancées ainsi qu'une modernisation progressive des équipements de diagnostic et des protocoles de contrôle technique. Il apparaît donc indispensable de renforcer la formation spécialisée des techniciens et d'adapter les méthodes de maintenance aux nouvelles exigences technologiques afin d'assurer une sécurité optimale et une fiabilité durable des véhicules modernes.

LES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les Références Bibliographique :

[1] BELGOUR Sarra, KHRAIS Malika, « Etude d'un système (ADAS) avancé d'une conduite assistée », Mémoire de Master, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 2017, p :18.

[2] ANSYS, «**What is Advanced Driver Assistance System (ADAS)** », <https://www.ansys.com/fr-fr/simulation-topics/what-is-advanced-driver-assistance-system-adas> (Consulté le 20 Avril 2026)

[3] Djenaihi Lamine, « **Un système de détection des objets de la circulation routière et d'estimation de leur distance** », Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2020, p :32-33.

[4] Bouhaha Malek, « **Conception d'un système de détection automatique des panneaux routiers approche basée « Deep Learning** » », Mémoire de fin d'études, Université Echahid Chiekh Larbi Tébessi Tébessa, 2023, p : 6-7-8.

[5] Vipin Kumar Kukkala, Jordan Tunnell, Sudeep Pasricha, Thomas Bradley, «**Advanced Driver-Assistance Systems**», Research Gate, September 2018, p: 20-21.
https://www.researchgate.net/publication/327253343_Advanced_Driver-Assistance_Systems_A_Path_Toward_Autonomous_Vehicles

[6] Kafi Mohammed Mustafa Houamed Abdelhak, « **Un Radar De Recul à Ultrason** », Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018, p : 5.

[7] BELGOUR Sarra, KHRAIS Malika, « **Etude d'un système (ADAS) avancé d'une conduite assistée** », Mémoire de Master, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 2017, p :53-54.

[8] Shichao CAI, « **Système d'information et d'assistance à la conduite pour la mise en œuvre de la sécurité à bord d'un véhicule** », Thèse de doctorat, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard,2011, p : 13-14-19.
<https://theses.hal.science/tel-00673897v1>

[9] LIN Consortium, « **LIN Spécification Package** », Révision 2.1, 2006.
https://www.lin-cia.org/fileadmin/microsites/lin-cia.org/resources/documents/LIN-Spec_Pac2_1.pdf

[10] DEFRAITEUR Rémi, « **Évaluation de systèmes d'aide à la conduite. Génération automatique de vérité terrain augmentée à partir d'un capteur haute résolution et d'une cartographie sémantique et 3D ; Evaluation de fonctions de perception tierces** », Thèse de doctorat, l'université Paris-Saclay, 2021, p :38.
https://theses.hal.science/tel-03359644v1/file/98365_DEFRAITEUR_2021_archivage.pdf

- [11] PAPE DEMBA BEYE, « **Faisabilité technique des systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) pour la sécurité routière** », Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, 2021, p :35-36.
<https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10269/>
- [12] CHELBI Nacer Eddine, « **Développement d'une nouvelle approche d'essais pour l'évaluation de systèmes avancés d'assistance et d'aide à la conduite (ADAS) dans les véhicules intelligents ou hautement automatisés sous de multiples conditions** », Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, 2019, p : 42.
- [13] MAROUANNE Hela, « **Contribution à la modélisation des applications temps réel d'aide à la conduite** », Thèse de Doctorat, Université du Havre, 2015, p : 14-15.
- [14] NAGHRAOUI Djihane, TAMAZIRT Melyssa, « **Système automatique d'aide à la conduite reconnaissance automatique de l'état de concentration du conducteur** », Mémoire de fin d'étude, Ecole Supérieure En Sciences Appliquées, 2020, p :7-9.
- [15] MANA Thanina, KEDIR Sonia, « **Conception et réalisation d'un système intelligent d'aide à la conduite automobile** », Mémoire de fin d'étude en master, Université Mouloud de Tizi-Ouzou, 2024, p : 19-20-21.
- [16] BOUCHAKOUR M^{ED}, « **Contribution à L'intégration D'un Système De Freinage EBS Sur Bus Prototype SNVI-FENNEC** », Mémoire de Master, Univ. M'Hamed Bougara de Boumerdès, 2016, p :8.
- [17] SERRAOUI Abderraouf, ABBASSI Hatem, « **Conception et simulation sous SolidWorks d'un système de freinage (frein-disque Type Abs)** », Mémoire de master, Université KASDI MERBAH – Ouargla, 2025, p :3.
- [18] SAIDI Djamel, BOUAZIZ Mohamed, « **Etude de l'adaptation du système de freinage ABS sur un véhicule industriel** », Projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique, 2009, p :26.
- [19] MONOT Nolwenn, « **Des Systèmes d'aide à la conduite au véhicule autonome connecte** », Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, 2019, p :19-20-24
https://theses.hal.science/tel-02347511v1/file/MONOT_NOLWENN_2019.pdf
- [20] GATTAL Imen, SOUALHIA Aya, BOUZID Kheireddine, « **Le système de freinage d'urgence automatique (AEB)** », Projet de fin de cycle, Université Echahid Chikh Larbi Tebessi Tebessa, 2024, p : 18-19-20-21.
- [21] Li Shaohua¹, Wang Guiyang, Wang Hesun, Zhang Lipeng, «**Automatic emergency braking/anti-lock braking system coordinated control with road adhesion coefficient estimation for heavy vehicle**», IET Intelligent Transport Systems, 2022, p: 1530-1531.

LES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

https://www.researchgate.net/publication/361692453_Automatic_emergency_brakinganti-lock_braking_system_coordinated_control_with_road_adhesion_coefficient_estimation_for_heavy_vehicle

[22] M. H.CHEKIREB, M. N.OUADAH, « **Développement d'un régulateur de vitesse par logique floue Pour la fonction ACC d'un véhicule** », Mémoire de Master, Ecole Nationale Polytechnique, 2017, p :9-10-11.

[23] Guemroud Said, « **Capteur de vitesse de rotation de roue : fonctionnement, diagnostic et recherche d'erreurs** », Slideshare

<https://fr.slideshare.net/slideshow/capteur-devitessederotationderoue/28783492> (Consulté le 20 Avril 2026)

[24] Wagner Brake, « **ADAS Brake Technology** »,

<https://www.wagnerbrake.com/technical/parts-matter/automotive-repair-and-maintenance/adas-brake-technology.html> (Consulté le 20 Avril 2026)

[25] TRACY Martin, « **How brake pad friction affects ADAS?** », Vehicle Service Pros, 2023.

<https://www.vehicleservicepros.com/service-repair/adascalibrationprogramming/article/53059250/how-brake-pad-friction-affects-adas> (Consulté le 20 Avril 2026)

[26] CURTIS Bassy, « **Freinage automatique d'urgence (AEB)** », Ornika

<https://www.ornika.com/code/cours/mecanique-vehicule/technologie-assistance/freinage-automatique> (Consulté le 20 Avril 2026)

[27] Icarsoft France, « **Comprendre les problèmes du système régulateur vitesse (ACC) voiture** », <https://www.icarsoft-france.fr/probleme-du-système-regulateur-vitesse-sur-votre-voiture.html#:~:text=Un%20d%C3%A9faut%20du%20r%C3%A9gulateur%20de%20vitesse%20adaptatif,%C3%A9galement%20utiliser%20une%20valise%20de%20diagnostic%20automobile>

(Consulté le 20 Avril 2026)

[28] Vroomly, « **ESC : le système électronique de la stabilité de votre véhicule** »

<https://www.vroomly.com/blog/esc-le-système-electronique-de-la-stabilite-de-votre-vehicule/> (Consulté le 20 Avril 2026)

[29] Curtis Bassy, « **Le mode dégradé du moteur, ou mode sécurité** »,

<https://www.ornika.com/code/cours/mecanique-vehicule/moteur/mode-degrade> (Consulté le 20 Avril 2026)

[30] Culture Auto, « **Freinages fantômes : quand les voitures freinent... sans raison** », 2025

- [31] HAIT FATMA Halla, ZERARKA Khaoula, « Étude et Développement d'un Diagnostic Dédié aux Véhicules Électriques », Mémoire de Master, Université Saad Dahlab, Blida, 2025, p : 39.
- [32] Geotab « **Qu'est-ce que l'OBD-II** »
<https://www.geotab.com/fr/blog/obd-ii/> (Consulté le 20 Avril 2026)
- [33] FlexiHub, « **OBD 2 Pinout Explained** »
<https://www.flexihub.com/oobd2-pinout/> (Consulté le 20 Avril 2026)
- [34] SEMGHOUNI Tahar, GHANDOUR Abdelhamid, « **Étude d'un système de diagnostic automobile OBD2** », Mémoire de Master, Université Ahmed Ben Mohamed 2 Oran, 2022, p :28.
- [35] Bekhouche Salah Eddine, « **Réalisation d'un oscilloscope numérique portatif à affichage sur écran PC via le port USB** », Mémoire de fin d'études, Université Mohamed Khider Biskra, 2013, p : 5.
- [36] Diakhaté, Daouda. Diagnostic automobile. Université Virtuelle Africaine, 2014, p :8.
https://www.academia.edu/12149222/COURS_DIAGNOSTIQUE_AUTO
- [37] FERRAH Merouane, « **Systèmes embarques et Reprogrammation d'un véhicule** », Mémoire de fin d'études, Université Hassiba BenBouali Chlef, 2024, p : 47.
- [38] By My Car, « **Comprendre les codes de panne OBD-II lors d'un diagnostic auto** »,
<https://www.bymycar.fr/webzine/comprendre-les-codes-de-panne-obd-ii-lors-dun-diagnostic-auto/> (Consulté le 20 Avril 2026)
- [39] Mister-Turbo, « **Codes d'erreurs moteurs (Code OBD)** »,
<https://www.mister-turbo.com/fr/codes-erreurs> (Consulté le 20 Avril 2026)
- [40] Dewesoft, « **Test et validation des systèmes ADAS** »,
<https://dewesoft.com/fr/applications/adas> (Consulté le 20 Avril 2026)
- [41] Amine (Transf.), « **Tramme de Données en Communication CAN** », Scribd, 12 avr. 2019.
<https://fr.scribd.com/document/406041760/Tramme-de-Donnees> (Consulté le 20 Avril 2026)
- [42] Z. Mammeri, « **Introduction au réseau CAN** », Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT), Université Paul Sabatier, p :11.
https://www.irit.fr/~Zoubir.Mammeri/Cours/Introduction_CAN.pdf
- [43] BABUCHOWSKA Paulina, PIELECHA Ireneusz, « **Camera systems – key technology for ADAS in autonomous vehicles** », Combustion Engines, Polish Scientific Society of Combustion Engines, 2025, p:157.

https://www.researchgate.net/publication/395051381_Camera_systems_-_key_technology_for_ADAS_in_autonomous_vehicles

[44] SmartSafe, « **Tout ce que vous devez savoir sur l'étalonnage des radars de voiture** », 26 Jun 2025,

<https://www.newsmartsafe.com/industry-news/tools-and-equipment-for-radar-calibration>

(Consulté le 26 Avril 2026)

[45] BOGUSZ Joanna, « **Codes de défaut des véhicules : comment les lire et les interpréter** » DTE, 22 mars 2022

<https://dte.com.pl/fr/codes-de-defaut-des-vehicules-comment-les-lire-et-les-interpreter/>

(Consulté le 26 Avril 2026)

[46] iCarsoft France, « **Interpréter les codes défauts C0035 C0040 C0045 C0050 | Causes & Résolutions** »,

<https://www.icarsoft-france.fr/codes-defauts-c0035-c0040-c0045-c0050-causes-resolutions.html> (Consulté le 26 Avril 2026)

[47] La Rédaction BYmyCAR, « **Comment savoir quel capteur ABS est HS ?** », ByMyCar, 8 Aout 2024,

<https://www.bymycar.fr/webzine/comment-savoir-quel-capteur-abs-est-hs/#:~:text=Comment%20tester%20le%20capteur%20ABS,un%20probl%C3%A8me%20avec%20le%20capteur> (Consulté le 26 Avril 2026)

[48] AutoMauritanie, « **Comment tester un capteur de vitesse de roue : la méthode la plus rapide** », 16 Sep 2024.

<https://www.automauritanie.com/en/blog/comment-tester-un-capteur-de-vitesse-de-roue-la-methode-la-plus-rapide> (Consulté le 26 Avril 2026)

[49] Georgia Department of Driver Services, « **Section 11M.12: Braking System** »,

<https://dds.georgia.gov/section-11m12#:~:text=or%20a%20crash.-,Inspection:,as%20specified%20by%20the%20manufacturer> (Consulté le 26 Avril 2026)

[50] Phoenix Systems, « **Pressure testing brake hydraulic system tips** », 17 Juillet 2017.

<https://phoenixsystems.co/blogs/brake-system-tips/pressure-testing-brake-hydraulic-system-tips> (Consulté le 26 Avril 2026)

[51] Tomorrow's Technician Staff, « **ABS Module Diagnostics: Wheel Speed Sensors** », Tomorrow's Technician, 18 mai 2017.

<https://www.tomorrowstechnician.com/abs-module-diagnostics-wheel-speed-sensors/>

(Consulté le 26 Avril 2026)

LES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[52] Gene Markel, « **ABS/ESC Hydraulic Control Unit & Modulator Diagnostics** », TechShop Mag, 12 October 2012.

<https://www.techshopmag.com/abs-esc-hydraulic-control-unit-modulator-diagnostics/>

(Consulté le 26 Avril 2026)

[53] Molando, « **Méthodes de test du système de freinage et évaluation de la performance** », Février 2025.

<https://www.molando-brake.com/fr/blogs/brake-system-testing-methods-and-performance-evaluation.html> (Consulté le 26 Avril 2026).