

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université Frères Mentouri Constantine -1**  
**Faculté des Sciences de la Technologies**  
**Département Génie des Transports**



N° de série :09/D3C/2023

N° d'ordre :01/TR/2023 .



## **Thèse**

Pour l'obtention du diplôme de

Doctorat 3ème cycle

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des Transports

Spécialité : Ingénierie des Transports

Présentée par : Mr. SOULMANA Billal

## **Thème**

---

**Contribution à l'étude du comportement aux volants  
des conducteurs de véhicules en situation d'urgence**

---

Soutenue le, 01/03/2023

Devant le Jury :

Mr. CHAIB Rachid	Prof	Université des Frères Mentouri Constantine 1	Président
Mr. BOUKEBBAB Salim	Prof	Université des Frères Mentouri Constantine 1	Rapporteur
Mr. MEZIOUD Chaker	Prof	Université Abdelhamid Mehri – Constantine 2	Examineur
Mr. TOLBA Cherif	prof	Université Badji Mokhtar-Annaba	Examineur
Mr. BOUZERARA Ramdane	MCA	Université des Frères Mentouri Constantine 1	Examineur
Mr. BOULAHLIB Med Salah	Prof	Université des Frères Mentouri Constantine 1	Invité

## *Dédicaces*

*À celui qui m'a fait de moi un homme ambitieux, mon père*

*À l'être le plus chère de ma vie, ma mère.*

*À mes chères Frères et Sœurs qui m'avez toujours soutenu et  
encouragé durant ces années d'étude.*

*À toute la famille*

*À tous ceux qui me sont cher(e)s*

*À mes enseignant(e)s*

*Billal*

## **Remerciements**

*Tout d'abord, j'exprime ma gratitude et mes remerciements les plus sincères et les plus profonds à Dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience pour pouvoir accomplir ce travail à terme.*

*Mes premiers remerciements vont à mon Directeur de thèse, monsieur BOUKEBBAB Salim, Professeur à l'Université des Frères Mentouri, Constantine 1. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude et ma reconnaissance pour les efforts fournis et les conseils prodigués, son soutien et encouragement m'ont permis de mener ce travail à bien et dans les meilleures conditions*

*Je remercie Professeur Mohamed Saleh BOULAHLIB de l'Université des Frère Mentouri Constantine 1, de m'encourager et me conseiller à chaque occasion pour réussir. Ses paroles m'ont été comme une bouffée d'air à chaque fois. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.*

*Je remercie très sincèrement les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Je suis très honoré d'être lu par ces personnalités dont je mesure la valeur scientifique.*

*Le plus valeureux remerciement est à ma famille, qui m'a transmis tout ce qui est beau, qui étaient patients, en me soutenant tout au long de ma vie afin d'atteindre mes objectifs.*

*Enfin, j'adresse mes remerciements les plus chaleureux à mes amis, et toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin par le fruit de leur connaissance dans la réalisation de ce modeste travail.*

## *List des tableaux*

<i>Tableau 1. 1 : Augmentation du prix des carburants en Algérie de 2015 à 2020</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 1. 2 : Causes liées aux véhicules [24]</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 1. 3 : Causes liées a la route et son environnement [24]</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 1. 4 : Causes liées aux comportements humain [24]</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 1. 5 : Les principales causes d'accidents de la circulation en Algérie au cours de la période 2016-2018 [19]</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 2. 1: distance d'arrêt pour un véhicule vide et pleine charge</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 2. 2 : La relation entre le taux d'alcool et la gravité des accidents [85]</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 5. 1: Moyennes et écart-types de trois positions du main droite et gauche (hand up, hand down, and zero)</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 5. 2 : Moyennes et écarts types de KSS, ILC, PRT et VAS</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 5. 3 : Analyse de variance (ANOVA) sur les effets de la somnolence de fatigue de 4 séances de conduite successives de 3h sommeil sur KSS, PRT, ILC, VAS et sur la position de la main droite et gauche.</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 5. 4 : Corrélation entre les facteurs de performance du conducteur et les différentes positions des mains.</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 5. 5 : Moyennes et écart-types, maximum, minimum des trois positions (hand up hand down hand zero) de la main gauche et de la main droite sur le volant pour chaque sexe.</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 5. 6 : Résultats de l'ANOVA pour :31 conducteurs, les deux sexes et 6 groupes d'expérience de conduite différents.</i>	<i>90</i>

## Liste des figures

Figure 1. 1 : les trois facteurs qui contribuent aux accidents de la route [3]	5
Figure 1. 2: Représentation des collisions arrière	6
Figure 1. 3: Représentation des collisions en forme de T	6
Figure 1. 4 : Représentation des collisions latérales	7
Figure 1. 5: Représentation des collisions frontales	7
Figure 1. 6 : Nombre et taux de décès dus a des accidents de la circulation pour 100 000 habitants [11]	10
Figure 1. 7 : Taux de décès dû aux accidents de la circulation pour 100 000 habitants par région de l'OMS	11
Figure 1. 8 : Principales causes de décès Comparaison 2004 et 2030 [14]	11
Figure 1. 9 : l'évolution de la sécurité routière sur les routes algériennes durant la période 1970-2018 [19]	12
Figure 1. 10 : la moyenne de 3 facteurs risque d'accidents en Algérie 2011-2018 [19]	14
Figure 2. 1 : Principales catégories de variable tache d'une conduit automobile normale [31].	19
Figure 2. 2 : Anatomie de l'œil humain [35].	20
Figure 2. 3 : Flux optique du pilote lors de l'atterrissage [36] .	21
Figure 2. 4 : Le point tangent est corrélé avec le rayon de courbure du virage [50]	22
Figure 2. 5 : Anatomie de l'oreille interne [51]	22
Figure 2. 6 : Vue en coupe de la peau [53] .	24
Figure 2. 7 : Représentation du modèle du comportement "Skill Rules Knowledge" [69]	27
Figure 2. 8 : Représentation du modèle de Michon (1985) [70]	28
Figure 2. 9 : Représentation du modèle cognitif de la conduite de Brouwer [71]	29
Figure 2. 10 : Adaptation du modèle multifactoriel de la conduite [72]	30
Figure 2. 11 : Risque d'accident mortel et vitesse de collision [78]	33
Figure 2. 12 : Réduction du champ visuel due à la vitesse [76].	33
Figure 2. 13 Pourcentage de conducteurs tués selon le taux d'alcool (France 2002)	37
Figure 3. 1 : Le nombre d'accidents liés à la fatigue en fonction du temps [133].	47
Figure 3. 2 : les signes de fatigue et de somnolence	50
Figure 4. 1: Historique des simulateurs de conduite [161]	53
Figure 4. 2 : Illustration de simulateurs de conduite « bas coût »	56
Figure 4. 3 : Le simulateur SIM2 de l'IFSTTAR	56
Figure 4. 4: Le simulateur du Fraunhofer IAO	57
Figure 4. 5 : Le simulateur statique de l'université de Leeds	57
Figure 4. 6 : un hexapode parallèle 6DdL (Gough-Stewart)	58
Figure 4. 7 : Le simulateur SHERPA de LAMIH	58
Figure 4. 8 : Le simulateur VERA du laboratoire TEST [177]	59
Figure 4. 9 : Le simulateur de l'université du Queensland (Australie)	59
Figure 4. 10 : Simulateur de conduite de l'Université Kookmin	60
Figure 4. 11 : Le simulateur de Centre technologique galicien de l'automobile, Espagne	60
Figure 4. 12 : Le simulateur VIRTTEX de Ford	61
Figure 4. 13 : Le simulateur MARS de Allemagne	61
Figure 4. 14 : Le simulateur III du Suède	62
Figure 4. 15 : Le simulateur de Daimler (Allemagne)	62
Figure 4. 16 : Le simulateur de l'université de Leeds	62
Figure 4. 17 : Le simulateur de l'université de Tongji	63
Figure 4. 18 : Le simulateur NADS-1 de l'université d'Iowa	63
Figure 4. 19 : Le simulateur de Toyota	63
Figure 4. 20 : Le simulateur Ultimate	64

Figure 4. 21 : Le simulateur CyberMotion du MPI (Max Planck Institute, Allemagne).....	64
Figure 4. 22 : Le simulateur Desdemona du TNO .....	64
Figure 4. 23 :Photos de l'intérieur du véhicule instrumenté,[190].....	65
Figure 4. 24 :Les dispositifs anthropomorphes d'essai .....	67
Figure 4. 25 : un appareil de contrôle de l'alcoolémie .....	67
Figure 4. 26 : un appareil de contrôle de vitesse .....	67
Figure 4. 27:Méthodes de statistiques pour comparer les échantillons [192].....	70
Figure 4. 28 :la variation d'indice de Pearson .....	71
Figure 4. 29 :test d'électroencéphalographie (EEG) sur simulateur .....	73
Figure 4. 30 :Description de l'emplacement des capteurs de l'EOG [197] .....	73
Figure 4. 31:le signal émis par l'œil au moment d'un clignement avec différentes phases de vigilance [198] .....	74
Figure 4. 32 : Appareil de mesure de l'activité électrodermale .....	75
Figure 4. 33 :L'échelle de somnolence d'Epworth [201] .....	76
Figure 5. 1 : simulateur de conduite de l'université de Constantine 1 .....	81
Figure 5. 2 : Principe de calcul des franchissements inappropriés de lignes .....	82
Figure 5. 3 : Cette figure montre les tailles et visibilité de la forme du signal d'arrêt qui a été choisie dans cette expérience parmi de nombreuses autres tailles fournies par ce simulateur pour tester le temps de perception-réaction [PRI].....	82
Figure 5. 4 : Six positions courantes du volant lors de la conduite.....	83
Figure 5. 5 : Nombre moyen d'ILC, PRT pour 31 sujets sur 4 sessions de conduite consécutives (chaque session 100 km), statistiquement, les valeurs d'ILC et PRT sont affectées par la distance de conduite. Barres d'erreur est l'écart-type moyen .....	84
Figure 5. 6 : La valeur moyenne des neuf niveaux de somnolence KSS pour chaque session. ....	85
Figure 5. 7 : Moyenne des mains des conducteurs sur trois positions de la main droite et de la main gauche (hand up hand down hand zero) pour 4 séances de conduite successives. ....	87
Figure 5. 8 : Moyenne de trois positions de la main droite et gauche sur 9 niveaux de somnolence KSS.....	87
Figure 5. 9 : Moyenne de trois positions de la main droite par année d'expérience de conduite .....	88
Figure 5. 10: Moyenne des trois positions de la main droite et de la main gauche pour 31 conducteurs .....	88
Figure 5. 11 : Répartition de la position des mains droite et gauche pour chaque sexe. Les barres d'erreur représentent les erreurs standard de la moyenne .....	88
Figure 6. 1:Détecter les objets entre l'homme et l'ordinateur .....	93
Figure 6. 2 :Détection d'objets [255]. .....	94
Figure 6. 3 :principales catégories de détecteur d'objet [257, 258] .....	95
Figure 6. 4 : Historique de algorithmes de détection .....	96
Figure 6. 5 :architecture de yoloV5 [262] .....	97
Figure 6. 6 : Environnement de Google Colab .....	102
Figure 6. 7 : programme PyCharm .....	102
Figure 6. 8 : Architecteur de dossier du jeu de donnée .....	104
Figure 6. 9 : Jeu de donnée pour objet volant .....	104
Figure 6. 10 : les annotations par site MakeSense.AI.....	105
Figure 6. 11 : les labels de jeu de donne en forme .txt .....	105
Figure 6. 12 : les différentes architectures de Yolo existent.....	106
Figure 6. 13 : Créer une nouvelle session .....	106
Figure 6. 14 : activation GPU in google Colab.....	107
Figure 6. 15 : code de connexion google drive avec Colab .....	107
Figure 6. 16 : Code pour installer mediapipe et OpenCV.....	107
Figure 6. 17 : Code pour installer toutes les bibliothèques nécessaires .....	108
Figure 6. 18 : import yolo in google Colab .....	108
Figure 6. 19 : montre les modifications sur fiche COCO128 .....	109

Figure 6. 20 : Progression de l'entrainement en 100 époques. ....	109
Figure 6. 21 : Code de lancement de la détection du volant .....	111
Figure 6. 22 : Résultat de la détection de volant.....	111
Figure 6. 23:Résultat de la détection de volant sous forme de cercle.....	112
Figure 6. 24 :: repères de la main selon Mediapipe .....	112
Figure 6. 25 :résultat de détection les mains .....	114
Figure 6. 26 : Résultat de détection volant et les mains.....	114
Figure 6. 27 : Résultat de Calculs des positions des mains.....	115
Figure 6. 28 : représentation d'un système en temps réel avec son environnement [297] .....	116
Figure 6. 29 : Créez un nouveau projet dans PyCharm.....	117
Figure 6. 30 : Importer le dossier yolov5 .....	117
Figure 6. 31:Création fiche run.py.....	118

Figure 7. 1 : le système de détection de la fatigue de Volvo dans la voiture CX90 _____	121
Figure 7. 2 :l'alerte du système de détection de la fatigue de Mercedes-Benz (attention assist) [302] _____	122
Figure 7. 3 :l'alerte du système de détection de la fatigue de Volkswagen [303] _____	122
Figure 7. 4 : la bague stopsleep montrant ses 8 capteurs de détection de la fatigue [305]. _____	123
Figure 7. 5 la camera miniTOUCANOGO et ses 5 niveaux d'alerte lumineux [306]. _____	123
Figure 7. 6 : organigramme des différentes approches de la détection de fatigue et somnolence _____	124
Figure 7. 7 illustration des capteurs utilisés dans les méthodes axées sur les signaux physiologique [309] _____	125
Figure 7. 8 : Représente la structure de notre système. _____	128
Figure 7. 9:Raspberry pi4 model B _____	129
Figure 7. 10 :présente les différentes générations du Raspberry Pi [329] _____	129
Figure 7. 11: Les principales caractéristiques de Raspberry pi [330] _____	130
Figure 7. 12 :GPIO Raspberry pi 4 B [332] _____	131
Figure 7. 13 : caméra Logitech C505 _____	131
Figure 7. 14 : microDS card 32 GB _____	132
Figure 7. 15 : Le buzzer _____	132
Figure 7. 16 : Le principe de fonctionnement des lampes LED _____	132
Figure 7. 17: Power Bank _____	133
Figure 7. 18 ::Ventilateur _____	133
Figure 7. 19 : Le driver de moteur L298n _____	134
Figure 7. 20 : Piles _____	134
Figure 7. 21:Carte d'expérience (breadboard) et fils de liaison _____	134
Figure 7. 22 : Système d'exploitation Raspbian _____	135
Figure 7. 23:Thonny python IDE _____	135
Figure 7. 24 : Les étapes d'installation Raspbian sur carte SD par programme Raspberry Pi Imager _____	136
Figure 7. 25:capture de l'interface PuTTY [333]. _____	137
Figure 7. 26 : VNC interface _____	138
Figure 7. 27:Bureau de Raspberry pi _____	138
Figure 7. 28 : Installation les bibliothèques par terminal _____	139
Figure 7. 29 : 468 points caractéristiques du visage à l'aide de la bibliothèque mediapipe _____	140
Figure 7. 30 : Code de détection visage _____	141
Figure 7. 31:Résultat de détection visage _____	141
Figure 7. 32 : région d'un œil représentée par les points caractéristique _____	142
Figure 7. 33 : région de la bouche représentée par les points caractéristiques _____	143
Figure 7. 34 : le résultat de l'état normal _____	146
Figure 7. 35 :Résultant de Etat de somnolence _____	147
Figure 7. 36 : Résultant de Etat bâillement _____	147
Figure 7. 37 : schéma de fonctionnement pour buzzer et led _____	148
Figure 7. 38 : Code d'envoyé email _____	149
Figure 7. 39 : Schéma de fonctionnement ventilateur _____	149

<i>Figure 7. 40 : code de démarrage du ventilateur</i>	<u>150</u>
<i>Figure 7. 41 : Le résultat global de notre système « vu à l'extérieur »</i>	<u>150</u>
<i>Figure 7. 42 : Le résultat global de notre système « vu à l'intérieur »</i>	<u>151</u>

## *Liste des abréviations*

OMS : Organisation mondiale de la Santé

US: United States

NTHSA: National Highway Traffic Safety Administration

IIHS: The Insurance Institute for Highway Safety

ABS : Système anti-blocage des roues

ESP : Electronic Stability Program

AFU : Aide au freinage d'urgence

GPS : Système mondial de positionnement

WHO : World Health Organization

CNPSR : Le Centre national de prévention et de sécurité routière

SRK : Skill Rules Knowledge

INRETS : Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

SAM : Stupéfiants et accidents mortels de la circulation routière

ETSC: L'European Transport Safety Council

SARTRE: Safe Road Trains for the Environment

COPD : Chronic Obstructive Pulmonary Disease

VTI : institut de recherche suédois sur la sécurité routière

PC : personal computer

LITE : laboratoire Ingénierie des Transports et Environnement

IFSTTAR : L'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

IAO : Institut Fraunhofer de génie industriel

GTi : Grand Tourisme Injection

SHERPA : Simulateur Hybride d'Etude et de Recherche Pour l'Automobile

PSA : Peugeot société anonyme

LAMIH : Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines

VERA: Virtual Environment for Road sAfeTy

TEST: Technology Environment Safety Transport)

LCD: liquid crystal display  
6DOF:6 degrees-of-freedom  
CTAG : Centre Technologique de l'Automobile de Galice  
VUS : véhicule utilitaire sport  
MPI : Max Planck Institute  
 $H_0$  : hypothèse nulle  
 $H_A$  : l'hypothèse alternative  
ANOVA : analysis of variance  
TILE : Test Itératif de Latence d'Endormissement  
TME : Test de Maintien de l'Éveil  
EEG : Un électro-encéphalo-gramme  
EOG : L'électro-oculo-gramme  
ECG : Un électro-cardio-gramme  
AED : Activité électro-dermale  
PVT : Psychomotor Vigilance Test  
ESS : Echelle de somnolence d'Epworth  
SSS : l'échelle de somnolence de Stanford  
KSS : l'échelle de somnolence de Karolinska  
SDLP: Standard Deviation of Lateral Position  
VAS : visuelle analogique scale  
PRT : perception-réaction time  
ILC: inappropriate Line crossing  
ET: écart type  
IBM: International Business Machines  
SPSS: Statistical Package for the Social Sciences  
IA : Intelligence artificielle  
R-CNN: Region-based Convolutional Neural Networks  
SHRP 2: Strategic Highway Research Program 2  
EMG: électro-myo-gramme  
ML: machine learning

GTX: Giga Texel Shader eXtreme  
CWI: Centrum Wiskunde & Informatica  
CPU: Central Processing Unit  
GPU: Graphics processing unit  
GPGPU: General-Purpose Computing on Graphics Processing Units  
RAM: random access memory  
ADAS: Advanced driver-assistance system  
MAR: Mouth Aspect Ration  
FOM: Frequency Of Mouth  
PERCLOS: Percentage of Eye Closure  
GPIO: General Purpose Input/Output  
LED: light-emitting diode  
DC: direct current  
OS: operating system  
IDE: integrated development environment  
SD: Secure Digital  
SSH: Secure Socket Shell  
TCP: Transmission Control Protocol  
VNC: Virtual Network Computing  
RFB: Remote Frame Buffer  
HDMI: High Definition Multimedia Interface  
EAR: Eyes Aspect Ration  
Tm: tolérance minimale

# Sommaire

Dédicaces.....	I
Remerciements.....	II
List des tableaux.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des abréviations.....	VIII
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 01 : Généralité sur les accidents de la route.....</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction.....	4
1.2 Concepts fondamentaux de l'accidentologie.....	4
1.2.1 Définition d'accident de la route.....	4
1.2.2 Principaux facteurs d'accidents.....	5
1.3 Les types d'accidents de voiture les plus courants.....	5
1.3.1 Les collisions arrière.....	5
1.3.2 Accidents impliquant un seul véhicule.....	6
1.3.3 Accident de voiture T.....	6
1.3.4 Collisions latérales.....	7
1.3.5 Collision frontale.....	7
1.4 Systèmes de sécurité routière.....	7
1.4.1 Systèmes de sécurité passive.....	8
1.4.2 Les systèmes de sécurité active.....	9
1.5 État de la sécurité routière dans le monde.....	9
1.5.1 La charge mondiale des décès dus à des accidents de la circulation.....	10
1.5.2 Des inégalités persistent entre les régions.....	10
1.6 Situation de la sécurité routière en Algérie.....	12
1.6.1 L'évolution des accidents de la route en Algérie.....	12
1.6.2 Le coût des accidents en Algérie.....	14
1.6.2.1 Causes liées aux véhicules.....	15
1.6.2.2 Causes liées à l'environnement.....	15
1.6.2.3 Causes humaines.....	16
1.7 Conclusion.....	17
<b>Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite.....</b>	<b>18</b>
2.1 Introduction.....	18
2.2 La tâche de conduite.....	18
2.3 Le comportement du conducteur.....	19
2.4 Modalités sensorielles.....	20
2.4.1 Le système de vision.....	20
2.4.1.1 Anatomie.....	20

2.4.1.2	Perception visuelle des mouvements .....	21
2.4.1.3	Application à la conduite automobile .....	21
2.4.2	Le système vestibulaire .....	22
2.4.2.1	Anatomie .....	22
2.4.2.2	Application à la conduite automobile .....	23
2.4.3	Le système proprioceptif .....	23
2.4.3.1	Anatomie .....	23
2.4.3.2	Application à la conduite automobile .....	24
2.4.4	L'audition .....	25
2.5	<i>Les Modèles cognitifs de l'activité de conduite</i> .....	26
2.5.1	Modèle « Skill Rules Knowledge » (SRK) .....	27
2.5.2	Modèle de Michon .....	28
2.5.3	Modèle du comportement du conducteur (Brouwer 2002) .....	29
2.5.4	Le modèle multifactoriel de conduite sécuritaire (Anstey) .....	30
2.6	<i>Les principaux facteurs qui influent sur le comportement du conducteur et le mettent en situation d'urgence</i> .....	31
2.6.1	La vitesse .....	31
2.6.1.1	Définitions .....	31
2.6.1.2	Concepts .....	32
2.6.1.3	Contexte .....	32
2.6.1.4	Quelques données sur les effets de la vitesse .....	32
2.6.1.5	Facteurs qui influent sur le choix de la vitesse .....	34
2.6.1.6	Facteurs extérieurs .....	34
2.6.1.7	Facteurs liés au conducteur .....	34
2.6.2	La perte de vigilance .....	35
2.6.3	La prise de médicaments .....	36
2.6.4	Alcool au volant .....	37
2.6.4.1	Graduation du risque lie à l'alcool .....	37
2.6.4.2	L'implication de l'alcool dans les accidents de la circulation .....	37
2.6.5	Le stress .....	38
2.6.6	Le non-respect de code de la route .....	38
2.6.7	La ceinture de sécurité .....	38
2.6.8	L'inattention .....	39
2.6.9	Téléphone au volant .....	39
2.6.10	Les situations combinant plusieurs facteurs de risque .....	40
2.7	<i>Conclusion</i> .....	40

<b>Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur</b> .....	<b>41</b>
3.1 <i>Introduction</i> .....	41
3.2 <i>Définition de la fatigue et de la somnolence au volant</i> .....	41
3.3 <i>Prévalence</i> .....	42
3.4 <i>Lien avec l'insécurité routière</i> .....	43
3.4.1 Influences sur le comportement au volant .....	43
3.4.2 Les conséquences en termes d'accident .....	43
3.4.3 Groupes à risques au volant .....	44
3.4.3.1 Jeunes conducteurs .....	44
3.4.3.2 Conducteurs routiers de poids lourds .....	45
3.4.3.3 Personnes atteintes de troubles du sommeil .....	45
3.4.3.4 Chauffeurs travaillant en équipes .....	45

3.5	<i>Causes de la fatigue du conducteur</i> .....	45
3.5.1	Liens avec la somnolence diurne.....	45
3.5.2	Principaux facteurs.....	46
3.5.2.1	Temps consacré aux activités ou au travail .....	46
3.5.2.2	La privation de sommeil .....	46
3.5.2.3	Biorythme .....	47
3.5.2.4	Activité monotone .....	47
3.5.2.5	Caractéristiques personnelles.....	48
3.5.3	Conditions médicales .....	48
3.5.4	Effet des médicaments et des drogues .....	49
3.6	<i>Les signes de fatigue</i> .....	50
3.7	<i>Les effets de la fatigue sur le comportement du conducteur</i> .....	50
3.8	<i>Stratégies contre la somnolence au volant</i> .....	50
3.9	<i>Conclusion</i> .....	51
<b>Chapitre 04 : Matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur</b> .....		<b>52</b>
4.1	<i>Introduction</i> .....	52
4.2	<i>La simulation de conduite</i> .....	52
4.2.1	Généralités .....	52
4.2.2	Historique des simulateurs de conduite .....	52
4.2.3	Avantages et applications des simulateurs de conduite .....	53
4.2.3.1	L'étude et l'amélioration de la sûreté .....	54
4.2.3.2	La recherche .....	54
4.2.3.3	L'aide à la conception .....	54
4.2.3.4	L'apprentissage.....	54
4.2.3.5	L'importance des études sur le simulateur pour étudier les baisses de vigilance.....	55
4.2.4	Classification des simulateurs de conduite .....	55
4.2.4.1	Simulateurs statiques .....	55
4.2.4.2	Simulateurs dynamiques .....	58
4.2.4.3	Simulateurs dynamiques utilisent une architecture spécifique .....	64
4.3	<i>Conduite sur véhicules réels</i> .....	65
4.4	<i>Les Questionnaires</i> : .....	66
4.4.1	Définition.....	66
4.4.2	Les avantages et les limites du questionnaire.....	66
4.5	<i>Les dispositifs anthropomorphes d'essai en Crash test</i> .....	66
4.6	<i>Les moyens de contrôle de l'alcoolémie</i> .....	67
4.7	<i>Les moyens de contrôle de vitesse (radar)</i> .....	67
4.8	<i>Les méthodes statistiques</i> .....	68
4.8.1	Choisir un test statistique.....	68
4.8.2	Test paramétrique.....	68
4.8.3	Test non paramétrique.....	68
4.8.4	Test de Mann-Whitney.....	70
4.8.5	Test de corrélation .....	71
4.8.5.1	Corrélation de Pearson (r) .....	71
4.8.5.2	Corrélation Spearman( $\rho$ ).....	72
4.8.6	Test de Kruskal-Wallis .....	72
4.9	<i>Les outils de mesure de la somnolence diurne</i> .....	72

4.9.1	Les méthodes objectives .....	72
4.9.1.1	Le Test Itératif de Latence d'Endormissement (TILE) et le Test de Maintien de l'Éveil (TME) 72	
4.9.1.2	L'électroencéphalographie .....	73
4.9.1.3	L'enregistrement vidéo des mouvements oculaires.....	73
4.9.1.4	Électrocardiographie (ECG).....	74
4.9.1.5	Activité électrodermale (EMG).....	74
4.9.1.6	Le test de vigilance psychomotrice.....	75
4.9.1.7	La limite des outils de mesure .....	75
4.9.2	Les méthodes subjectives .....	75
4.9.2.1	L'échelle de somnolence d'Epworth.....	75
4.9.3	Le test de mesure de SDLP .....	76
4.10	<i>Conclusion</i> .....	77
 <b>Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence .....</b>		<b>78</b>
5.1	<i>Introduction</i> .....	78
5.2	<i>Méthodes</i> .....	79
5.2.1	Participants .....	79
5.2.2	Critères d'inclusion.....	80
5.2.3	Procédure de contrôle du sommeil.....	80
5.2.4	Séances de conduite .....	80
5.2.5	Installation de la caméra .....	81
5.2.6	Simulateur de conduite .....	81
5.2.7	Perception de fatigue et somnolence .....	81
5.2.8	Perception des franchissements inappropriés de ligne .....	82
5.2.9	Perception du temps de réaction.....	82
5.2.10	Perceptions de la position des mains et des bras .....	82
5.2.11	Notation de la position des mains.....	83
5.3	<i>Résultats</i> .....	84
5.3.1	Positions des mains .....	85
5.3.1.1	Main droite .....	85
5.3.1.2	La main gauche .....	86
5.4	<i>Discussion</i> .....	90
5.5	<i>Limites</i> .....	92
5.6	<i>Conclusion</i> .....	92
 <b>Chapitre 06 : Création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant. ....</b>		<b>93</b>
6.1	<i>Introduction</i> .....	93
6.2	<i>Qu'est-ce que la détection d'objets ?</i> .....	93
6.3	<i>Les méthodes de localisation et détection des objets</i> .....	95
6.3.1	Détecteurs à deux étages .....	95
6.3.2	Détecteurs à un étage .....	95
6.4	<i>Algorithme Yolo</i> .....	96
6.4.1	Architecture Modèle YOLO V5 (2020) .....	96
6.5	<i>Etat de l'art de la détection des mains au volant</i> .....	97
6.6	<i>Implémentation et résultats</i> .....	99
6.6.1	Matériel utilisé .....	99

6.6.2	Langage de programmation .....	99
6.6.2.1	Python.....	99
6.6.2.2	Bibliothèque Open CV.....	99
6.6.2.3	Bibliothèque NumPy.....	100
6.6.2.4	Bibliothèque Matplotlib.....	100
6.6.2.5	Bibliothèque TensorFlow.....	100
6.6.2.6	MediaPipe.....	100
6.6.2.7	PyTorch.....	101
6.6.3	Environnement de programmation .....	101
6.6.3.1	Google Colab.....	101
6.6.3.2	PyCharm.....	102
6.6.3.3	CUDA.....	103
6.6.4	Approche de détection et d'implémentation .....	103
6.6.4.1	Détection de volant .....	103
6.6.4.1.1	Jeu de données .....	103
6.6.4.1.2	Créer des labels.....	104
6.6.4.1.3	Sélectionnez un modèle.....	106
6.6.4.1.4	Entraînement YOLO en Colab .....	106
6.6.4.1.5	Résultat de la détection du volant .....	110
6.6.4.2	Détection des mains .....	112
6.6.4.3	Calculs des positions des mains .....	115
6.6.4.4	En temps réel.....	116
6.6.4.4.1	Définition système en temps réel .....	116
6.6.4.4.2	Protocole d'exécution .....	117
6.7	Conclusion.....	119
 <b>Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence .</b>		<b>120</b>
7.1	Introduction .....	120
7.2	Qu'est-ce qu'une aide à la conduite ?.....	120
7.3	Etat de l'art.....	120
7.3.1	Relation entre la somnolence et la conduite .....	120
7.3.2	Le système d'aide à la détection de somnolence actuellement utilisé.....	121
7.3.2.1	Contrôle d'alerte du conducteur Volvo (Volvo Driver Alert Control) .....	121
7.3.2.2	Aide À L'attention Mercedes-Benz (Mercedes-Benz Attention Assist) .....	121
7.3.2.3	Alerte du conducteur Volkswagen (Volkswagen Driver Alert) .....	122
7.3.2.4	Alerte Attention Conducteur Peugeot.....	122
7.3.2.5	La Bague Arrêtez de dormir (StopSleep).....	123
7.3.2.6	Boitier MiniTOUCANGO de Innov+ .....	123
7.3.3	Les approches de détection de fatigue .....	124
7.3.3.1	Approches basées sur les performances du conducteur .....	124
7.3.3.2	Approches basées sur les signaux physiologique .....	124
7.3.3.3	Approches basées sur l'analyse faciale.....	125
7.3.3.3.1	Pourcentage de Fermeture des Yeux (PERCLOS) .....	125
7.3.3.3.2	Les bâillements fréquents.....	127
7.3.3.3.3	Mouvement de la tête .....	127
7.4	La méthode proposée de détecter la fatigue et la somnolence .....	128
7.4.1	Structure du système .....	128
7.4.2	Protocole d'application .....	128
7.4.2.1	Matériel .....	128
7.4.2.1.1	Raspberry Pi .....	128
7.4.2.1.2	Camera USB .....	131

7.4.2.1.3	Carte microSD 32GB.....	132
7.4.2.1.4	Le Buzzer.....	132
7.4.2.1.5	LED.....	132
7.4.2.1.6	Batterie externe (Power bank).....	133
7.4.2.1.7	Ventilateur.....	133
7.4.2.1.8	Le driver de moteur.....	133
7.4.2.1.9	Piles.....	134
7.4.2.1.10	Carte d'expérience (breadboard) et fils de liaison.....	134
7.4.2.2	Software.....	135
7.4.2.2.1	Système d'exploitation.....	135
7.4.2.2.2	Thonny python IDE.....	135
7.4.2.3	Installation du système.....	135
7.4.2.3.1	Formater la carte SD.....	135
7.4.2.3.2	Installer Raspbian sur carte SD.....	136
7.4.2.3.3	Mode de connexion.....	137
7.4.2.3.4	Installation les bibliothèques.....	139
7.4.2.4	Architecture de détection.....	139
7.4.2.5	Les points caractéristiques dans un visage.....	140
7.4.2.6	Détection somnolence et fatigue.....	142
7.4.2.6.1	Détection des yeux fermés.....	142
7.4.2.6.2	Détection de la bouche et du bâillement.....	143
7.4.2.7	Le système d'alarme.....	148
7.4.2.7.1	Système d'alerte lorsque les yeux sont fermés (en cas de somnolence).....	148
7.4.2.7.2	Système d'alerte en cas de bâillement.....	149
7.4.2.8	Le résultat global de notre système.....	150
7.5	Conclusion.....	151
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>152</b>
	<b>Références bibliographiques :.....</b>	<b>154</b>
	<b>Annexe.....</b>	<b>173</b>
	<b>Résumé.....</b>	<b>174</b>

---

# *Introduction Générale*

---

## *Introduction Générale*

Le développement des transports est un élément clé de l'expansion économique. Dans les pays développés comme dans les pays en développement, la circulation des personnes, des biens et les investissements consacrés aux infrastructures de transport croissent en réponse à l'accroissement de la population et aux exigences de la vie quotidienne.

Les moyens de transport ont connu un fantastique progrès et une grande diversité, surtout après la révolution industrielle et l'invention des moteurs à vapeur. Ce progrès dans la circulation des véhicules, s'il offre d'importants et nobles services à l'homme en facilitant son déplacement avec confort et rapidité, peut aussi être à l'origine de malheurs sociaux et de pertes matérielles importantes si l'on ne fait pas attention à son utilisation ou lorsque ces véhicules ne remplissent pas les conditions de sécurité et de sûreté, de même que lorsque les conducteurs ne possèdent pas les qualités d'habileté et de compétence dans la maîtrise de ces véhicules.

Par ailleurs, la sécurité routière est un sujet de préoccupation majeur pour tous les pays du monde, développés ou en voie de développement, car les accidents de la route constituent un important problème économique, social et de santé publique. Selon l'OMS, chaque année, 1.3 million de personnes perdent la vie dans les accidents de circulation, et de 20 à 50 millions de blessés à différents degrés de gravité, dont 90% dans les pays en développement.

De plus, les accidents de la route résultent de la combinaison de multiples facteurs : la puissance et la conception des véhicules, leur état de fonctionnement, la qualité des voies de circulation, les conditions climatiques, la réglementation et la façon dont elle est imposée, sont autant de déterminants qui sont à mettre en parallèle avec l'état du comportement des conducteurs, et tout ce qui constitue le « facteur humain » dont on sait qu'il est impliqué dans près de 93 % des accidents corporels.

En outre, la conduite à grande vitesse sur autoroute nécessite des compétences cognitives et motrices importantes, telles que la capacité visuo-spatiale, la mémoire, le traitement de l'information et la réaction rapide, qui nécessitent une grande vigilance mentale. On sait que la fatigue survient chez les conducteurs lorsqu'ils sont exposés à une conduite exigeant une attention soutenue pendant de longues périodes, et qu'elle a un impact marqué sur la psychophysiologie du conducteur pendant la conduite. La détérioration des performances du conducteur associée à la fatigue présente un risque sérieux pour la sécurité. Il est donc essentiel d'identifier les indicateurs significatifs de la fatigue pour améliorer la sécurité des conducteurs sur les routes. En outre, une connaissance explicite des limites de la fatigue peut permettre de déterminer les périodes pendant lesquelles les conducteurs devraient être conseillés de se reposer.

À ce jour, les chercheurs ont examiné au moins 87 mesures différentes de la performance de conduite pour déterminer leur fiabilité à détecter la fatigue chez les conducteurs. Compte tenu du grand nombre de mesures disponibles, on s'attend à ce qu'il y ait un certain degré de chevauchement entre elles. Ces études ont montré qu'il n'y a pas d'accord sur quelle mesure ou combinaison de mesures serait la plus sensible à la fatigue et à la somnolence du conducteur.

De plus, les conseils en matière de sécurité routière restent encore insuffisants du fait que certaines règles de conduite ne s'adaptent pas toujours à nos limites psychique et physiologiques (vision, évaluation de la distance, inattention, etc.). En conséquence, les constructeurs automobiles industriels s'efforcent constamment d'améliorer la sécurité en développant de nouveaux systèmes de sécurité qui aident les conducteurs à éviter les accidents.

Au niveau du système de la sécurité routière, un accent important est mis sur le comportement du conducteur au volant, grâce au développement de systèmes dédiés spécialement en cas d'exposition à une situation à risque. Ceci est concrétisé à travers l'émission des avertissements afin de l'aider à réagir pour éviter une collision probable ou au moins minimiser l'impact d'une collision inévitable. De plus, la technologie utilisée pour les systèmes de sécurité des véhicules commerciaux a considérablement évolué, car l'intelligence artificielle (IA) ouvrant la voie à la création de dispositifs de sécurité avancés et intuitifs, en combinant l'IA, données de capteurs et carte numérique va permettre à ces systèmes de fonctionner de manière encore plus fiable et de maximiser le confort de conduite et la sécurité routière.

L'objectif principal de cette thèse est de contribuer à l'étude du comportement du conducteur dans des situations d'urgence, telles que la vigilance, en étudiant sa relation avec le placement des mains sur le volant. Pour ce faire, nous allons créer un système capable de calculer automatiquement ces positions des mains sur le volant en utilisant des techniques d'intelligence artificielle. Nous allons également développer un autre système d'aide à la conduite fiable pour détecter en temps réel la somnolence et le bâillement du conducteur.

Le présent manuscrit de thèse comporte sept chapitres :

**Le 1<sup>er</sup> chapitre :** Ce chapitre vise d'abord à fournir une synthèse des principaux travaux qui ont été réalisés dans le domaine de la sécurité routière. Pour ce faire, nous définissons les concepts d'accidentologie, type d'accident et de sécurité routière. Ensuite, nous présentons la sécurité routière dans le monde. Ainsi que les causes et les conséquences des accidents de la circulation au niveau de l'Algérie.

**Le 2<sup>ème</sup> chapitre :** dans ce chapitre, nous expliquons les concepts liés au comportement du conducteur tels que leurs modèles, les facteurs qui mettent le conducteur dans un état d'urgence, et leur interaction dans la tâche de conduite.

**Le 3<sup>ème</sup> chapitre :** Ce chapitre est consacré à la présentation d'un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur et les stratégies actuelles pour la combattre au volant.

**Le 4<sup>ème</sup> chapitre :** Dans ce chapitre, nous allons présenter la plupart des matériels et des méthodes qui ont été utilisés dans la littérature sur le sujet du comportement des conducteurs. Nous commencerons par une présentation détaillée du simulateur de conduite, puis nous aborderons les méthodes statistiques utilisées dans notre prochaine contribution, et enfin, nous nous concentrerons sur les méthodes objectives et subjectives utilisées pour étudier le comportement des conducteurs somnolents.

**Le 5<sup>ème</sup> chapitre :** Ce chapitre examine la fiabilité de mesure la position des mains des conducteurs (gauche et droite) en tant que facteur pouvant prédire la fatigue et somnolence au volant, par observant si la position des mains peut varier en fonction de différents facteurs tels

que le sexe, l'âge d'expérience, et personnalité des jeunes conducteurs par différents niveaux d'échelle de somnolence (KSS) et de fatigue (VAS), ainsi que son effet sur les facteurs de performance de conduite (PRT, ILC).

***Le 6<sup>ème</sup> chapitre :*** Dans ce chapitre, nous allons utiliser l'algorithme de l'intelligence artificielle pour créer un programme permettant de détecter et de calculer automatiquement la position des mains sur le volant dans les photos et les vidéos.

***Le 7<sup>ème</sup> chapitre :*** Ce chapitre sera consacré à la conception et à la réalisation d'un système d'aide conduite fiable pour détecter la somnolence et les bâillements du conducteur en temps réel, qui peut alerter le conducteur avant que quelque chose de fâcheux se produise. Tout d'abord, nous présentons un état de l'art approfondi sur la technologie actuelle du système d'aide au sommeil et les différentes approches utilisées pour sa fabrication. Ensuite, nous proposons notre propre approche qui s'appuie sur le traitement d'images par IA pour déterminer le statut du conducteur (endormi ou fatigué). De plus nous implémentons notre approche sur système d'alerte capable d'avertir avec de multiples effets Par conséquent, nous fournirons les matériaux, les outils et les plateformes nécessaires pour construire et développer notre code. Nous montrerons également comment mettre en œuvre le concept du système d'alerter sur le terrain, puis discuterons des résultats obtenus. À la fin, nous présenterons quelques images de notre système développé.

Enfin, la thèse se conclut par une présentation générale des principaux résultats de cette recherche et des perspectives envisagées.

---

***Chapitre 01 : Généralité  
sur les accidents de la  
route***

---

## **1.1 Introduction**

Le phénomène des accidents de la circulation routière constitue un fléau social qui exige la mobilisation des pouvoirs publics en vue d'en atténuer les conséquences. La lutte contre l'insécurité routière doit revêtir un caractère prioritaire, animé par une détermination sans faille pour espérer la réduction du nombre des accidents et des victimes de la route, une modification des comportements délictueux, et l'émergence d'une nouvelle culture en matière de sécurité, cette lourde tribu en vies humaines constitue un problème de santé publique à l'échelle nationale et mondiale.

Pour cerner la problématique de la sécurité routière, ce chapitre constitue une synthèse des principaux travaux menés en ce sens. Pour ce faire, nous définissons les concepts d'accidentologie, les types d'accidents et la sécurité routière. Ensuite, nous présentons l'état de la sécurité routière dans le monde, ainsi que les causes et les conséquences des accidents de la circulation en Algérie

## **1.2 Concepts fondamentaux de l'accidentologie**

L'accidentologie peut être définie comme " l'étude des accidents occasionnés par des véhicules automobiles, tant du point de vue de leurs causes que de leurs effets.

Une autre définition est celle qui considère l'accidentologie comme l'étude scientifique des accidents, notamment des accidents mettant en jeu des véhicules automobiles, et de leurs conséquences corporelles.

L'accidentologie est donc une science pluridisciplinaire qui nécessite des compétences en épidémiologie, en statistique, en ingénierie et en psychologie, etc. Il est également possible de rencontrer le terme d'accidentalité (et par conséquent une carte dite d'accidentalité). L'accidentalité peut être vue comme un parallèle du terme mortalité. Ce dernier désigne le taux de décès rapporté à une population. Et l'accidentalité serait le "taux exprimant la fréquence des accidents, comme la mortalité exprime le nombre de morts observés dans une population"[1].

### **1.2.1 Définition d'accident de la route**

L'accident de la route est la cause de nombreux dommages sur les personnes, les biens et l'environnement. Selon la Convention de Vienne, qui constitue la première référence dans le domaine de la sécurité routière, un accident corporel de la route est un accident qui survient sur un chemin (ou rue) ouvert à la circulation des usagers de la route, causant une ou plusieurs victimes (tuées ou blessées) et dans lequel au moins un véhicule en mouvement est impliqué (Convention de Vienne, 1968)[2]. Selon la même source, les accidents matériels sont ceux se rapportant à la même définition et qui n'ont pas eu pour conséquence des victimes tués ou blessés mais seulement des dégâts matériels enregistrés sur les véhicules, les équipements, l'infrastructure ou toute autres constructions.

Par ailleurs, l'OMS définit l'accident comme un événement indépendant de la volonté humaine, provoqué par une force extérieure agissant rapidement et qui se manifeste par un

## Chapitre 1 : Généralité sur les accidents de la route

dommage corporel (OMS, 2004). Selon la même organisation un accident de la route, entraînant un traumatisme mortel ou non, résulte d'une collision sur la voie publique avec au moins un véhicule en déplacement.

### 1.2.2 Principaux facteurs d'accidents

De ce qui précède, nous pouvons retenir que l'accident de la route est un événement soudain et involontaire dont les conséquences peuvent être matérielles liées au véhicule ou à l'infrastructure routière ou corporelles liées à l'état des victimes. Dans tous les cas, l'accident est au cœur d'un système composé de trois éléments :

- L'homme ;
- Le véhicule ;
- L'environnement.

Toutefois, il faut savoir que 93 % des accidents sont dus à un mauvais comportement du conducteur (négligence, inattention, fatigue, imprudence, prise de risque) lié paradoxalement à un excès de confiance [3].

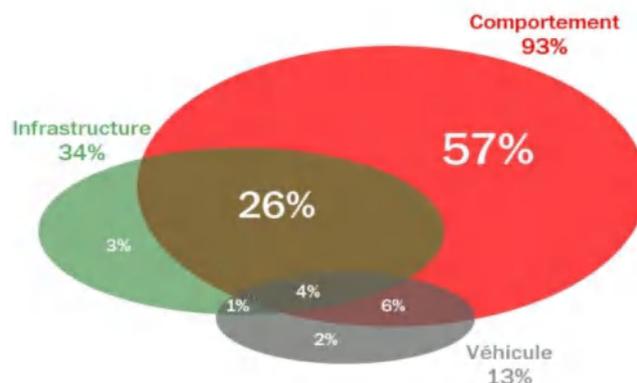


Figure 1. 1 : les trois facteurs qui contribuent aux accidents de la route [3]

### 1.3 Les types d'accidents de voiture les plus courants

Lorsqu'il s'agit de types d'accidents de voiture, il existe plusieurs classifications qui peuvent affecter l'enquête. Les types d'accidents de voiture les plus courants sont les suivants :

#### 1.3.1 Les collisions arrière

Une collision par l'arrière se produit lorsqu'un véhicule percute celui qui le précède. Les facteurs courants contribuant aux collisions arrière sont l'inattention ou la distraction du conducteur, le mouvement vers l'arrière et les arrêts d'urgence. Selon la National Highway Transportation Safety Administration (US), les collisions par l'arrière sont le type de collision le plus fréquent et représentent environ 29 % de tous les accidents. Ils affirment également que 87 % des collisions par l'arrière sont dues à un conducteur distrait, textant, mangeant et interagissant avec les passagers.[4]



Figure 1. 2: Représentation des collisions arrière

### 1.3.2 Accidents impliquant un seul véhicule

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les accidents automobiles n'impliquent pas toujours plusieurs usagers, en effet, on distingue de nombreux cas impliquant un seul véhicule :

- La perte de contrôle du véhicule, ce qui conduit à quitter la route, notamment lorsque les conditions climatiques sont mauvaises (brouillard, verglas) ;
- Un accident après s'être endormi au volant ;
- Un accident de voiture contre un poteau ou un autre élément fixe (panneau de signalisation, arbre, clôture, etc.) ;

### 1.3.3 Accident de voiture T

Un accident en T se produit lorsque l'avant du véhicule ou du camion entre en collision avec un autre véhicule. Habituellement, ces accidents se produisent lorsque l'un des conducteurs ne s'arrête pas à un panneau d'arrêt ou à un feu de circulation, ou ne cède pas le passage à l'autre conducteur. Les accidents en T sont souvent les types d'accidents les plus terribles, causant de graves dommages aux personnes impliquées dans l'accident. Selon la NTHSA(US), environ 8 000 personnes sont tuées chaque année aux États-Unis dans des collisions en T[5] .

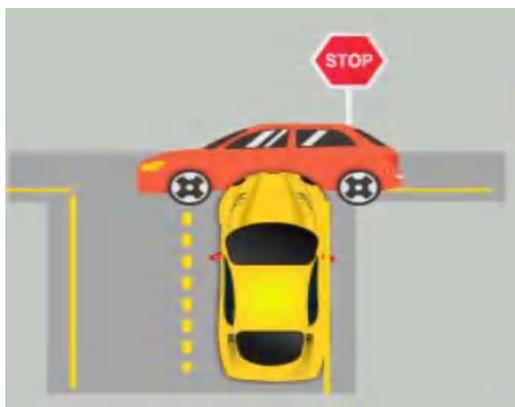


Figure 1. 3: Représentation des collisions en forme de T

### 1.3.4 Collisions latérales

Ce type d'accident se produit lorsque deux véhicules roulent l'un à côté de l'autre dans la même direction et que les côtés des deux véhicules entrent en contact. Les accidents latéraux se produisent également lorsqu'un conducteur change de voie et ne regarde pas avant de traverser. Selon les données de l'IIHS, 242 000 collisions latérales chaque année[6] .

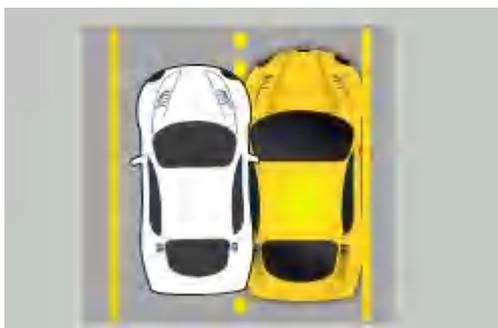


Figure 1. 4 : Représentation des collisions latérales

### 1.3.5 Collision frontale

On parle de choc frontal lorsque l'extrémité avant d'un véhicule percute l'avant d'un autre véhicule. Ce qui rend ce type de collision particulièrement dangereuse, lorsqu'elle implique plusieurs conducteurs, réside dans le fait que l'intensité du choc est proportionnelle à la vitesse des deux véhicules. Ces types de collisions sont généralement causés par des conducteurs négligents, notamment par une distraction au volant, vitesse excessive ou un conducteur ivre.



Figure 1. 5: Représentation des collisions frontales

## 1.4 Systèmes de sécurité routière

La sécurité routière représente l'ensemble des normes, des mécanismes et des mesures prises par les différents acteurs en charge de la construction des infrastructures routières et de la gestion du trafic routier afin d'assurer la protection des usagers de la route, et aussi de leurs biens. De nos jours, les automobiles sont remplies de différentes technologies visant à garantir la sécurité des usagers, et elles appartiennent à deux catégories différentes : la sécurité active et la sécurité passive, ces deux catégories d'équipement de sécurité sont différentes, complémentaires et travaillent ensemble afin de réduire les risques d'accident de la route, ou pour essayer de minimiser les conséquences si l'accident ne peut pas être évité.

### **1.4.1 Systèmes de sécurité passive**

Les systèmes de sécurité passive ou secondaire sont destinés à protéger les occupants du véhicule en cas d'accidents et à réduire la gravité des blessures. Les principaux systèmes de sécurité passive sont :

- **La ceinture de sécurité**, sert à maintenir les occupants dans leurs sièges tout en limitant leurs mouvements lors d'un choc. En effet, la ceinture de sécurité évite le risque d'être jetée hors du véhicule. Ainsi, elle empêche les occupants de se heurter la tête contre les éléments de l'habitacle tels que le pare-brise, le volant ou le tableau de bord, puisque la ceinture est associée à un prétensionneur pyrotechnique [7] et un limiteur d'efforts [8] qui permet de transférer l'énergie du choc aux attaches de ceinture de sécurité afin de réduire la force de collision.
- **Un airbag** (inventé en 1968 par Allen Breed) est un système constitué d'un sac qui se gonfle automatiquement en cas de choc brutal ou d'accident. Il se déploie en 30 à 150 millisecondes, plus rapidement qu'un clignement d'œil. Cela protège la tête de conducteur contre le volant ou contre tableau de bord.
- **Un appui-tête** est un équipement de la voiture qui est rattaché ou intégré au dossier des sièges, il permet de réduire les risques de blessures cervicales en cas de choc arrière, et est déclenché mécaniquement par le mouvement subi par le dos du passager ou du conducteur [9].
- **La conception du châssis du véhicule** : est conçue pour absorber un maximum d'énergie lors de l'accident, tout en conservant intact l'habitacle. Par conséquent, les parties avant, arrière et latérales d'une voiture sont déformables alors que le centre où se trouvent le conducteur et les passagers (l'habitacle) est renforcé.
- **Pare-brise** composé de deux vitres de verre de 2,1 millimètres d'épaisseur qui encadrent un film plastique de PVB (butyral de polyvinyl) de 0,76 millimètre. Permet aux morceaux de verre de rester collés au film plastique pour éviter les projections en cas de collision.
- **Le tableau de bord, le volant** et toutes les commandes sont fabriqués avec des matériaux absorbant les chocs afin de ne pas blesser le conducteur ou les passagers en cas de collision.

Généralement, les systèmes de sécurité passive assurent la protection des occupants du véhicule contre les chocs violents. Ainsi, ces systèmes rendent les véhicules lui-même moins dangereux en cas d'accidents. Néanmoins, les conseils en matière de sécurité routière restent encore insuffisants du fait que certaines règles de conduite ne s'adaptent pas toujours à nos capacités physiologiques (vision, évaluation de la distance, inattention, etc.). Par conséquent, Les constructeurs automobiles industriels s'efforcent constamment d'améliorer la sécurité en développant de nouveaux systèmes de sécurité qui aident les conducteurs à éviter les accidents.

### **1.4.2 Les systèmes de sécurité active**

La sécurité active désigne l'ensemble des éléments servant à éviter les accidents. Toutefois, il faut savoir que même un véhicule suréquipé ne pourra pas empêcher l'accident en cas de comportement inadapté du conducteur.

De nombreux systèmes de sécurité active ont été développés pour assister le conducteur. Ils sont largement implantés sur les véhicules actuels. Le but de ces systèmes est d'améliorer la contrôlabilité du véhicule et obtenir le meilleur comportement dynamique possible dans toutes les situations, de la plus courante à la plus imprévue. Parmi les éléments de sécurité active, on compte notamment :

- **Les pneumatiques**, avoir des pneus en bon état est essentiel. Ce sont les seuls éléments du véhicule qui sont en contact avec la route. Ils assurent ainsi l'adhérence avec la chaussée.
- **L'éclairage**, la visibilité est un élément indispensable pour la sécurité routière. Pour le conducteur, il s'agit de voir et aussi d'être vu par les autres.
- **Le système de freinage** permet de ralentir ou de stopper un véhicule. De nos jours, il existe de nombreuses aides au freinage : l'ABS, ESP, AFU
- **Le limiteur et régulateur de vitesse** sont des aides à la conduite. Le limiteur permet de déterminer une vitesse à ne pas dépasser et le régulateur permet de maintenir une vitesse constante sans avoir à appuyer sur la pédale d'accélérateur.
- **La caméra de recul** seconde le conducteur dans ses manœuvres. Très pratique, elle offre une visibilité sur l'arrière du véhicule lors du passage de la marche arrière.
- **L'avertisseur d'angle mort**, il s'agit d'un dispositif qui permet de détecter et de prévenir le conducteur lorsqu'un autre usager de la route se trouve dans son angle mort.
- **La direction assistée** : Elle permet de réduire le couple nécessaire à l'actionnement du volant, donc l'effort pour tourner le volant. La direction assistée peut être soit une assistance électrique soit hydraulique.
- **Le GPS** : Permet au conducteur de faciliter sa tâche pour la direction. Pour cela il suffit de programmer le GPS sur un trajet prédéfini et de suivre les instructions de direction données par le GPS.

### **1.5 État de la sécurité routière dans le monde**

La sécurité routière est devenue une préoccupation prioritaire dans de nombreux pays, car les accidents de la route imposent des coûts sociaux énormes, avec des effets négatifs sur l'activité économique et la qualité de vie.

### 1.5.1 La charge mondiale des décès dus à des accidents de la circulation

Dans son rapport de situation sur la sécurité routière (WHO, 2018), l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) indique que Le nombre de décès dus à des accidents de la circulation continue d'augmenter régulièrement, atteignant 1,35 million en 2016, alors que les taux de décès par rapport à la taille de la population mondiale restent constants. Si l'on tient compte de la hausse de la population mondiale et de l'augmentation rapide du nombre de véhicules à moteur survenu au cours de la même période, cela laisse entendre que les mesures de sécurité routière, existantes ont probablement empêché la situation s'aggrave[10]. Mais cela indique également que les progrès vers l'objectif de développement durable consistant à réduire de moitié le nombre de décès dus à des accidents de la circulation dans le monde d'ici 2022 sont loin d'être suffisants.

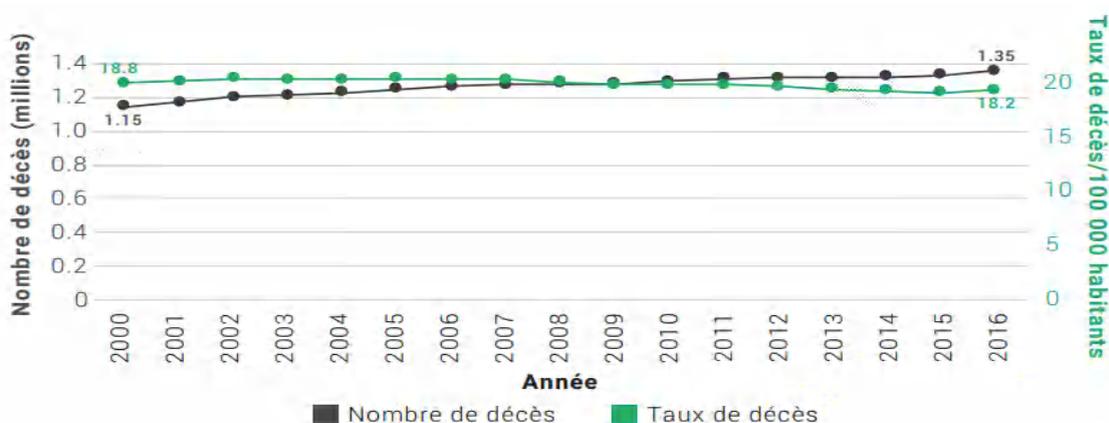


Figure 1. 6 : Nombre et taux de décès dus à des accidents de la circulation pour 100 000 habitants [11]

### 1.5.2 Des inégalités persistent entre les régions

Le taux de décès dus à des accidents de la circulation à l'échelle mondiale est de 18,2 pour 100 000 habitants, mais il varie considérablement selon les régions, se situant entre 9,3 et 26,6 pour 100 000 habitants. Les régions de l'Afrique et de l'Asie du Sud-Est ont les taux régionaux les plus élevés de décès dus aux accidents de la route, avec respectivement 26,6 et 20,7 décès pour 100 000 habitants, suivis par les régions de la Méditerranée orientale et du Pacifique occidental, avec des taux similaires au taux mondial, 18 et 16,9 décès pour 100 000 habitants respectivement.

Par contre, les régions des Amériques et d'Europe ont les taux de mortalité les plus bas, soit 15,6 et 9,3 pour 100 000 habitants. En termes de progrès réalisés, les taux de mortalité ont diminué dans trois régions sur six (Amériques, Europe et Pacifique occidental) depuis 2013.

## Chapitre 1 : Généralité sur les accidents de la route

De plus, les accidents de la route sont en augmentation dans les pays à revenu faible et intermédiaire, où les taux ne sont deux fois plus élevés que dans les pays à revenu élevé, et aucun pays à faibles revenus n'a connu une baisse du nombre de décès sur les routes depuis 2013.

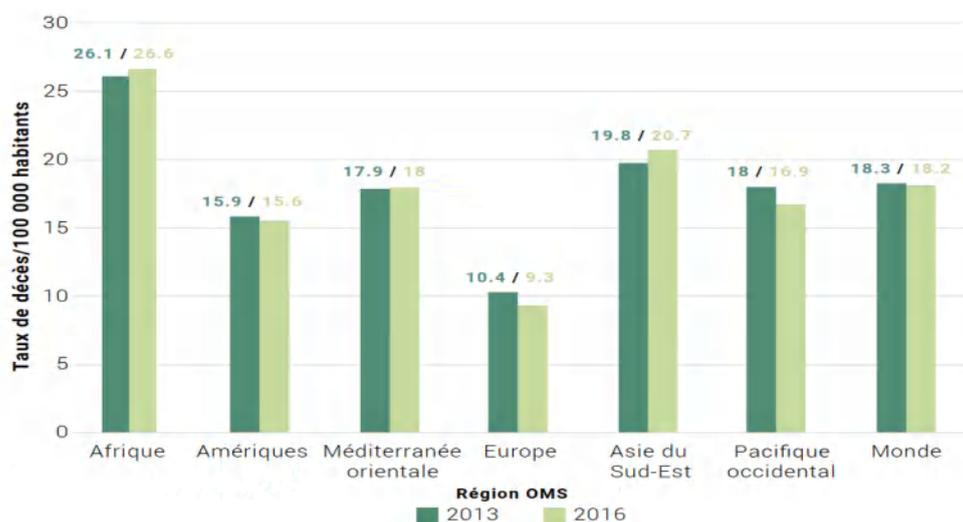


Figure 1.7 : Taux de décès dû aux accidents de la circulation pour 100 000 habitants par région de l'OMS 2013-2016[11]

En effet, les accidents de la route sont estimés aux pays à revenu faible et intermédiaire entre 1-2% de leur Produit National Brut (PNB), environ de 100 milliards de dollars par an [12], et il peut même atteindre jusqu'à 2,5 % [13].

Les traumatismes dus aux accidents de la circulation représentent la huitième cause de décès dans le monde et la première cause de décès chez les jeunes âgés de 15 à 29 ans. Les tendances actuelles semblent indiquer que, si aucune mesure n'est prise très rapidement, les accidents de la route passeront au cinquième rang des causes de décès à l'horizon 2030 [14].

TOTAL 2004			TOTAL 2030		
RANK	LEADING CAUSE	%	RANK	LEADING CAUSE	%
1	Ischaemic heart disease	12.2	1	Ischaemic heart disease	12.2
2	Cerebrovascular disease	9.7	2	Cerebrovascular disease	9.7
3	Lower respiratory infections	7.0	3	Chronic obstructive pulmonary disease	7.0
4	Chronic obstructive pulmonary disease	5.1	4	Lower respiratory infections	5.1
5	Diarrhoeal diseases	3.6	5	Road traffic injuries	3.6
6	HIV/AIDS	3.5	6	Trachea, bronchus, lung cancers	3.5
7	Tuberculosis	2.5	7	Diabetes mellitus	2.5
8	Trachea, bronchus, lung cancers	2.3	8	Hypertensive heart disease	2.3
9	Road traffic injuries	2.2	9	Stomach cancer	2.2
10	Prematurity and low birth weight	2.0	10	HIV/AIDS	2.0
11	Neonatal infections and other	1.9	11	Nephritis and nephrosis	1.9
12	Diabetes mellitus	1.9	12	Self-inflicted injuries	1.9
13	Malaria	1.7	13	Liver cancer	1.7
14	Hypertensive heart disease	1.7	14	Colon and rectum cancer	1.7
15	Birth asphyxia and birth trauma	1.5	15	Esophagus cancer	1.5
16	Self-inflicted injuries	1.4	16	Violence	1.4
17	Stomach cancer	1.4	17	Alzheimer and other dementias	1.4
18	Cirrhosis of the liver	1.3	18	Cirrhosis of the liver	1.3
19	Nephritis and nephrosis	1.3	19	Breast cancer	1.3
20	Colon and rectum cancers	1.1	20	Tuberculosis	1.1

Figure 1.8 : Principales causes de décès Comparaison 2004 et 2030 [14]

### 1.6 Situation de la sécurité routière en Algérie

La situation de la sécurité routière en Algérie s'est détériorée à mesure que le nombre de décédés augmente dus aux accidents de la route, la croissance rapide de la population (37,9 millions d'habitants en 2013 et 53 millions en 2025), les parcs d'automobiles (63,38 % de véhicules de tourisme), l'urbanisation, et le manque des investissements permanent dans la sécurité routière [15, 16]. Suivant l'analyse des chiffres d'accidents enregistrés de 1970 à 2014 en Algérie, on a remarqué qu'il y a une hausse cruelle de l'accidentalité routière [17].

Par contre, les indicateurs de l'insécurité routière en Algérie ont nettement baissé ces dernières années. Il faut dire que les 18 949 accidents enregistrés au cours de l'année 2020 sont le seuil le plus bas jamais enregistré depuis l'année 1995 qui avait enregistré 22 507 accidents de la circulation -15,81 %. Une situation qui a eu un impact positif sur les autres indicateurs de sécurité routière au niveau national : -13,16 % en nombre de tués et -16,68 % en nombre de blessés par rapport à 2019 [18].

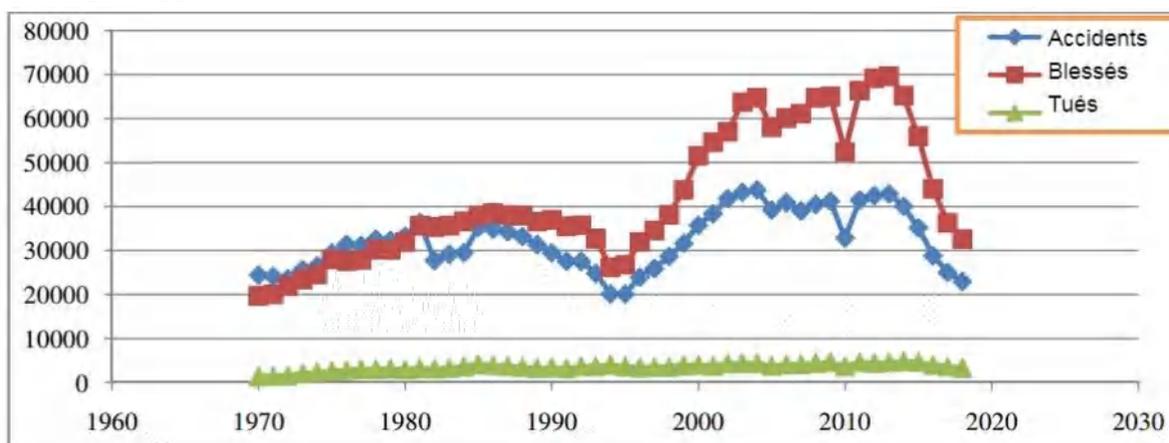


Figure 1. 9 : l'évolution de la sécurité routière sur les routes algériennes durant la période 1970-2018 [19]

#### 1.6.1 L'évolution des accidents de la route en Algérie

- Du début des années 70 au milieu des années 80, nous avons enregistré une augmentation du nombre d'accidents qui ne sont pas tombés à moins de 23 000 accidents. Il en va de même pour l'évolution du nombre de blessés, puisque nous avons enregistré en 1970 le nombre de 19 730 blessés, son pic a été enregistré en 1986, lorsque 38 548 personnes ont été blessées. Pour l'évolution du nombre de morts, on a enregistré en 1970 le nombre de 1 374 décès, et ce nombre est dépassé à 4 134 décès en 1985, le nombre de décès a pratiquement triplé en 15 ans (CNPSR). Ainsi, l'évolution du nombre, d'accidents, de blessés et tués a suivi la même tendance pendant cette période, et a continué d'augmenter, et nous avons enregistré une évolution successive durant cette période +44,48 %, +95,38 % et +201 % [19]. La principale raison de cette évolution est peut-être l'augmentation de la flotte de transport nationale au cours de cette période ;
- De 1990-1994 : Le nombre d'accidents et de blessés a diminué. Cela était dû à la situation sécuritaire à l'époque et que les déplacements pendant la nuit étaient presque inexistants. On peut aussi imaginer un manque d'enregistrement du nombre d'accidents;

## Chapitre 1 : Généralité sur les accidents de la route

- De 1995 à 2000 : le nombre d'accidents a augmenté en raison de la forte croissance du parc automobile et de l'amélioration de la situation sécuritaire dans le pays, cela a entraîné un retour progressif à la mobilité.
- De 2001 à 2006 : il y a eu une légère diminution du nombre d'accidents en 2005 en raison de l'impact de la loi n° 16-04 du 10 novembre 2004 modifiant et complétant la loi n° 01-14 du 19 août 2001 sur la réglementation de la sécurité routière et de la police;
- De 2007 à 2012 : 2009 a été l'année la plus meurtrière avec un bilan de 4607 tués, et en 2010, il y a eu une baisse de -26% de tués par rapport à 2009. Cette baisse s'explique par l'adoption de la loi 09-03 de 2009 appliquée au début de 2010, concernant l'organisation, la sécurité et la police de la circulation routière qui a introduit une réglementation plus coercitive avec la création du nouveau code de la route. Mais le nombre d'accidents et de blessés recensés a encore augmenté en 2011 et 2012 ;
- L'année 2013 : Les statistiques annoncent des chiffres de plus en plus alarmants : 44907 accidents, 69582 blessés et 4540 morts, soit une hausse de 0,70 % du nombre de morts, 1,79 % du nombre de blessés et 1,01 % des accidents par rapport à la même période des deux années (2011, 2012) [20],  
Nous avons constaté qu'un an après l'entrée en vigueur de toute nouvelle loi, le nombre d'accidents, de blessés et de décédés a diminué notablement, mais après quelques mois, les choses sont redevenues ce qu'elles étaient. Ce qui indique que l'application des lois ne reçoit pas l'attention et l'intérêt de tous les groupes ayant un lien avec la sécurité routière. Nous croyons que si le législateur établit une loi, il doit s'assurer qu'elle est appliquée de façon continue et rigoureuse afin de créer une certaine confiance dans cette loi ;
- De 2014 à 2019, le nombre d'accidents, de morts et de blessés a considérablement diminué, et nous pensons que c'est le résultat des politiques économiques et d'austérité menées par l'État algérien à cause de la baisse des revenus pétroliers, qui ont stoppé les importations de tous les types de voitures et a doublé le prix du carburant. Ce qui a un impact direct sur la circulation des personnes ;

Tableau 1. 1 : Augmentation du prix des carburants en Algérie de 2015 à 2020

Column1	2020 (DA)	2015 (DA)
Diesel (gasoil)	29.01	13.7
Essence super	45.97	23
Essence normal	43.71	21.2
Essence sans plomb	45.62	22.6
GPL	9	9

- L'année 2020 : en Algérie, tous les indicateurs d'accidents de la route ont diminué en 2020. Ces baisses exceptionnelles doivent être nuancées en raison des mesures de restriction de déplacements ayant fortement impacté la circulation des usagers, dans le contexte de la crise sanitaire liée à la pandémie de la COVID 19.

### 1.6.2 Le coût des accidents en Algérie

Les accidents de la circulation peuvent avoir de graves conséquences financières sur les familles, car ils doivent souvent supporter les coûts directs (coûts médicaux et sociaux, coûts matériels et les frais généraux) aussi bien que les coûts indirects (coûts futurs ou perte potentielle de production des victimes) induits par l'incapacité de la victime à conserver ses revenus ou par le travail que ses proches devront parfois lui consacrer au détriment de leurs revenus, et les coûts sociaux de l'évaluation économique des effets du préjudice moral ou affectif sur les victimes et leurs familles [21]

Les séquelles des accidents de la route coûtent à l'État environ 2 % de leur produit national brut [22], de plus, le Ministère des transports en Algérie estime le coût annuel des accidents à plus de 1 million de dollars US par an, dont une moyenne de 124 accidents corporels est enregistrée chaque jour pour un parc de 8 millions de véhicules.

Les statistiques de l'année 2012 [23] révèlent que 73,61% des accidents sont dus aux véhicules légers, 10,35% sont dus aux motos, 9,01% aux véhicules lourds et 2,66% aux véhicules de transport des voyageurs. Ces mêmes statistiques confirment que les deux mois de l'année (mai et juin) sont les plus touchés par les accidents respectivement 338 et 399. De plus, Les deux après-midis de Mardi et jeudi (repos) de la semaine pour les élèves de l'enseignement primaire, moyen et secondaire sont les jours les plus accidentés de la semaine, respectivement 15,11% et 15,91%. Aussi, le premier et le dernier jour ouvrable de la semaine comptabilisent 30,55% de la sinistralité routière, alors que le vendredi, avec un taux de 12,02%, reste le jour le moins accidentogène, et l'horaire le plus accidentogène est compris entre 18H00 et 00H00.

Par ailleurs, le conducteur, le véhicule, la route et son environnement sont trois facteurs essentiels qui contribuent à l'occurrence d'un accident de la route en Algérie [24, 25]. Toutefois, il faut savoir que 93 % (voir figure 1.10) des accidents sont dus à un mauvais comportement du conducteur lié paradoxalement à un excès de confiance.

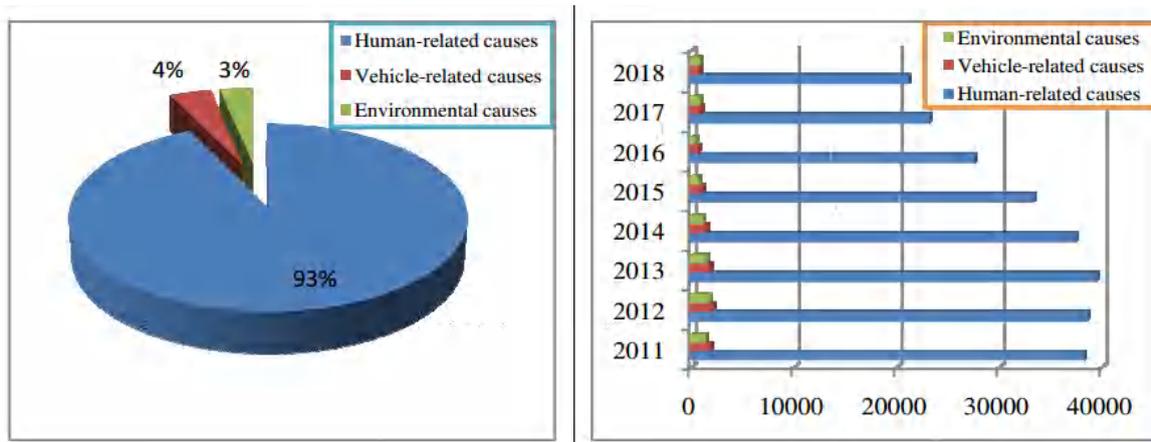


Figure 1.10 : la moyenne de 3 facteurs risque (le conducteur, le véhicule, environnement) d'accidents en Algérie 2011-2018 [19]

## **Chapitre 1 : Généralité sur les accidents de la route**

### **1.6.2.1 Causes liées aux véhicules**

Le rôle principal du véhicule est celui d'un récepteur qui reçoit de la part du conducteur les commandes principales souhaitées telles que : l'accélération, l'angle de braquage et la vitesse sélectionnée... etc. Le véhicule peut aussi avoir un rôle de fournisseur qui envoie des informations haptiques au conducteur lui permettant d'identifier la situation de la conduite par exemple, une secousse sur le siège du conducteur peut indiquer qu'il commence à quitter la route et l'inciter à mieux contrôler sa voiture.

Les véhicules légers sont largement utilisés en Algérie par rapport aux transports en commun et autres moyens de transport. Les défaillances techniques liées au véhicule qui causent des accidents sont généralement des pannes qui surviennent soudainement, souvent en raison d'un manque d'entretien, comme (voir table 1.2)

Tableau 1. 2 : Causes liées aux véhicules [24]

Causes	Taux (%)
Pneumatiques en mauvais état	1,26%
Défaillances mécaniques	0,60%
Freinages défectueux	0,54%
Feux non règlementaires	0,09%
Système de détraction défectueux	0,07%
Autres facteurs	0,05%

### **1.6.2.2 Causes liées à l'environnement**

En 2008, le réseau routier n'a pas suivi l'augmentation du parc automobile, qui a provoqué des embouteillages sur les routes principales, et a enregistré le plus grand nombre d'accidents de la circulation, notamment sur les routes nationales [26].

L'environnement rural en Algérie connaît le plus d'accidents par rapport à l'environnement urbain. Cela semble logique en fonction des caractéristiques de chaque environnement. Les proportions marquées entre les deux zones (rurale et urbaine) peuvent s'expliquer par les caractéristiques géographiques et la longueur de la zone rurale, qui constitue une cause majeure de vitesse excessive, entraînant des risques d'accidents de circulation et l'enregistrement de plus de blessés et de décédés.

D'autre part, l'environnement routier influe également sur les accidents de la circulation avec des accidents qui ont eu lieu à cause de la chaussée glissante et dégradée, du climat, et de la présence d'obstacles sur les routes.

## Chapitre 1 : Généralité sur les accidents de la route

Tableau 1. 3 : Causes liées à la route et son environnement [24]

Causes	Taux(%)
Etat de la route (impraticable)	0,58%
Sortie d'animaux	0,16%
Mauvaises condition climatiques pluie, brouillard, etc.	0,27%
Chaussée glissante	0,16%
Absence de panneaux de signalisation	0,11%

### 1.6.2.3 Causes humaines

Tableau 1. 4 : Causes liées aux comportements humain [24]

Causes	Taux(%)
Excès de vitesse	25,05%
Inattention de conducteur dans les quartiers	10,16%
Dépassement dangereux	7,77%
Manœuvres dangereuses	4,67%
Non-respect de la distance de sécurité	4,42%
Perte de la maîtrise de véhicule	4,17%
Non -respect de la priorité	4,13%
Non -respect de la signalisation	3,97%
Changement de sens sans signalisation	2,54%
Conduite en état d'ivresse	1,51%
Utilisation de mobile	0,39%
Conduite sans permis de conduire	1,39%
Non -respect de stop	1,30%
Circulation en sens interdit	1,15%
Arrêt ou stationnement dangereux	0,67%
Eblouissements par les feux	0,51%
Inattention de conducteurs lors du passage des motocyclistes	0,45%
Inattention des piétons traversant la voie ferrée	0,15%

## ***Chapitre 1 : Généralité sur les accidents de la route***

---

L'excès de vitesse était responsable de 4528 accidents de la route, qui représentaient 19,69% des accidents de la route en 2018, ainsi que la baisse de la vigilance du conducteur a été citée comme la cause de 3778 accidents de la route, tandis que les dépassements dangereux sont impliqués dans 1361 accidents de la route. Ces trois facteurs ont été la cause de plus de 40% des accidents de la route enregistrés sur les différentes routes au cours des trois dernières années. (Table 1.5)

*Tableau 1. 5 : Les principales causes d'accidents de la circulation en Algérie au cours de la période 2016-2018 [19]*

Causes	2016	2017	2018
Excès de vitesse	25.05%	21.76%	19.69%
Baisse de la vigilance	10.16%	13.63%	16.42%
Dépassement dangereux	7.77%	6.33%	5.91%
Total	42.98%	41.72%	42.02%

### **1.7 Conclusion**

En guise de conclusion à ce chapitre, on peut dire que le problème de l'insécurité routière est plus complexe. Et pour l'évaluer, il est nécessaire d'agir sur les trois facteurs fondamentaux qui les sous-tendent à savoir, l'usager, le véhicule et l'environnement routier. Cette trilogie est démontrée depuis longtemps par les responsables de la sécurité routière. Il ressort de ce chapitre aussi que le facteur humain est principal responsable des accidents de la route, représentant plus de 90 % des facteurs. Par conséquent, il est important de pouvoir décrire son comportement durant toutes les phases de conduite, ce qui fera l'objet du deuxième chapitre.

---

***Chapitre 02 :***  
***Comportements du***  
***conducteur dans le***  
***système de conduite***

---

## *Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite*

---

### **2.1 Introduction**

Malgré les dangers générés par l'automobile, cette technologie s'est avérée être le principal mode de déplacement dans les pays développés. Par ailleurs, la capacité d'un conducteur à maîtriser son véhicule est essentielle pour conduire en toute sécurité. Elle consiste en la maîtrise d'un ensemble d'actions techniques que le conducteur doit être en mesure de réaliser. Par conséquent, dans ce chapitre, nous expliquons les concepts liés au comportement du conducteur tels que leurs modèles, les facteurs qui mettent le conducteur en situation d'urgence, et leur interaction dans la tâche de conduite.

### **2.2 La tâche de conduite**

Conduire un véhicule, c'est effectuer un déplacement dans un environnement en perpétuelle évolution. Ce déplacement est orienté vers un but (comme rallier un lieu particulier), il est soumis à différentes règles explicites ou implicites, et il s'effectue au moyen d'un outil particulier, le véhicule (une voiture, une moto, un camion). Cette activité suppose de prendre connaissance des états de l'environnement afin de maintenir le véhicule dans une trajectoire et à une vitesse compatible avec les exigences du système et les critères de sécurité que se fixe le conducteur [27]. Le caractère dynamique de la situation contraint le conducteur à s'adapter en permanence à son environnement. Cet ajustement permanent, soumis aux contraintes temporelles inhérentes au déplacement du véhicule comme à celui des autres usagers de la route (les autres véhicules, les piétons, etc.), fait de la conduite une tâche particulièrement complexe. Toutefois, la complexité de cette tâche pourra varier en fonction du contexte. En effet, comme le rappelle Bellet (1998, p87) « la conduite sur autoroute par faible trafic ne requiert de la part du sujet qu'une activité de contrôle du véhicule, activité à dominante sensori-motrice. En revanche, le franchissement d'une intersection, lieu privilégié d'interactions entre usagers, est une activité à forte dominante cognitive : le conducteur prélève de l'information, détermine son importance, en fait une interprétation, émet un jugement sur l'issue des interactions avec les autres usagers, prend des décisions, planifie et exécute les actions qu'il estime nécessaires sur les commandes (volant, pédales, etc.) afin de modifier ou non la trajectoire et / ou la vitesse de son véhicule ». [28]

Les capacités du conducteur se décomposent au niveau (1) de la perception par l'identification et l'organisation dans l'espace et le temps des informations pertinentes (systèmes opératoires), (2) du traitement de ces informations comportant une phase de prévision et une phase de décision (traitement des informations) et (3) de l'action qui est l'expression comportementale de la décision. La pertinence de la sélection des informations dépend des connaissances acquises par le sujet sur le système de circulation routière ; plus l'expérience croît, moins les indices nécessaires sont nombreux et plus ils sont pertinents [29].

La tâche de conduite automobile est également qualifiée de faiblement structurée parce que ni les règles explicites du code de la route, ni la formation n'en prescrivent clairement les

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

manières d'être, d'agir ou de réagir. Le conducteur se situe dans un espace à la fois topographique et symbolique. Cet espace est changeant et dynamique, il offre une grande diversité de conducteurs (expérience, âge, familiarité aux lieux), de véhicules (caractéristiques dynamiques, gabarits du véhicule) et d'environnements (infrastructure, nature du trafic). Le conducteur est ainsi contraint de s'adapter en permanence à des situations en évolution constante [30].

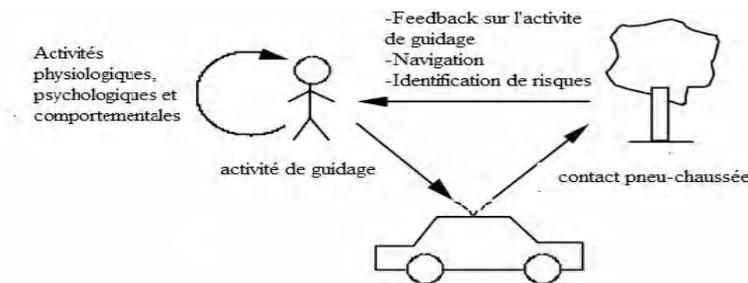


Figure 2.1 : Principales catégories de variable tâche d'une conduite automobile normale [31].

Selon le schéma de la figure 2.1, les conducteurs sont placés au sein d'un système incluant le véhicule et son environnement. En situation de conduite normale, les conducteurs prélèvent d'une part des informations dans leur environnement et sur leur véhicule et d'autre part, agissent sur leur véhicule principalement via le pédalier, le volant et le choix du rapport de vitesse. La perception de l'environnement est fonction des déplacements réalisés, mais la perception de l'environnement guide aussi les conducteurs dans le choix de leurs déplacements. De plus la situation de conduite place les conducteurs dans un environnement dynamique. Ainsi, l'environnement évolue même si le conducteur n'agit pas sur les commandes de son véhicule. Une manœuvre de freinage implique, par exemple, de prévoir la distance nécessaire à l'arrêt du véhicule.

Le système de circulation routière comporte plusieurs niveaux d'analyse. Pour cela, ce travail se concentrera sur l'examen de l'expression des éléments du comportement du conducteur.

### 2.3 Le comportement du conducteur

L'être humain a la capacité d'attribuer un état mental à un individu, permettant ainsi la prédiction de ses actions et de celles des autres. De plus, il peut adopter une multitude de comportements complexes, notamment lors d'interactions sociales : communication, collaboration, compétition,...etc[32]. Ses comportements nécessitent donc une étude particulière.

La complexité des comportements humains vient notamment de la variabilité interindividuelle [33]. Les variations de comportement d'un individu dépendent de ses préférences, ses désirs, ses motivations, ses affects, ses pensées et ses croyances [34]. Ils ne sont ainsi pas nécessairement rationnels (i.e. basés uniquement sur un raisonnement) et parfois

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

difficilement explicables. C'est pourquoi l'analyse du comportement humain est une tâche difficile.

Constatons que le comportement du conducteur est avant tout un être humain qui conduit le véhicule. Dès lors, conduire un véhicule n'est pas une fonction naturelle mais artificielle. Pour laquelle nos sens doivent être instruits et adaptés. Donc, les comportements d'un individu sont l'ensemble des actions et réactions observables de ce dernier dans l'environnement [34]. Nous verrons dans les sous-sections suivantes les disciplines s'y intéressant.

### 2.4 Modalités sensorielles

La conduite de véhicule fait intervenir multiples modalités sensorielles : auditive, haptique, visuelle et vestibulaire. Cette section vise à décrire et présenter rapidement leur rôle dans la conduite.

#### 2.4.1 Le système de vision

##### 2.4.1.1 Anatomie

Le rôle de l'œil est de convertir les informations lumineuses qu'il reçoit de l'environnement en informations compatibles avec le système de cerveau. La figure 2.2 montre un schéma en coupe transversale de l'œil humain. Les rayons lumineux traversent le cristallin et la cornée, et sont projetés sur la rétine, ce qui les transforme en signaux neuronaux. La rétine est composée de cônes et de bâtonnets. Les cônes, situés principalement dans la fovéa (zone centrale de la rétine), ont une faible sensibilité à la lumière mais une bonne perception des détails et des couleurs, grâce à leur densité très élevée, et sont donc adaptés à la vision diurne et à des activités demandant une bonne acuité, comme la lecture. Les bâtonnets, situés dans la périphérie de la rétine, ont une grande sensibilité à la lumière mais une faible perception des détails et des couleurs, et sont appropriés pour la vision nocturne [35].

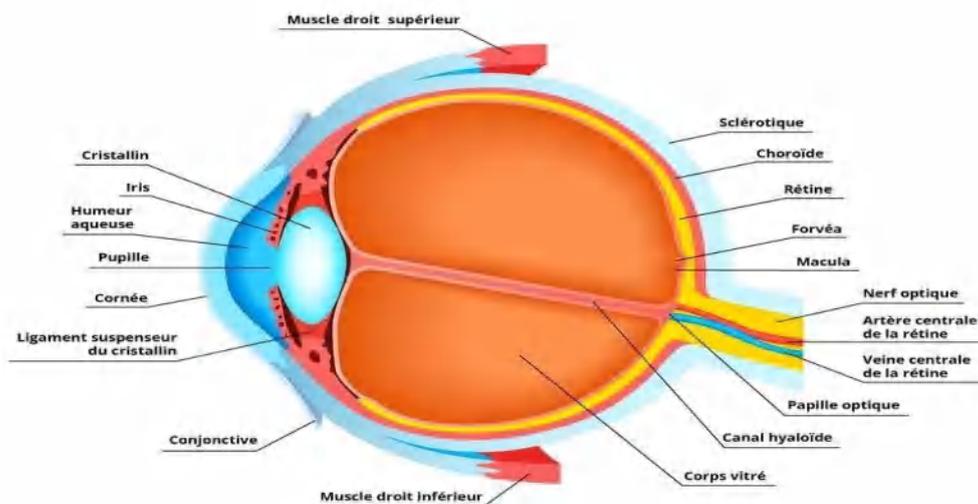


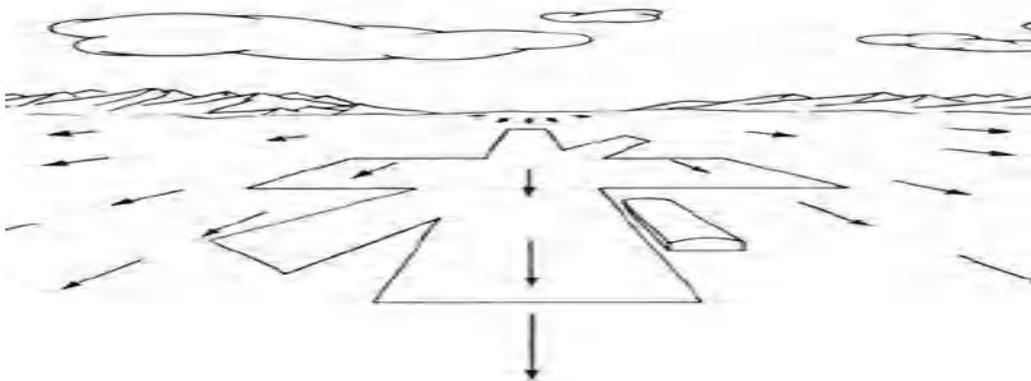
Figure 2. 2 : Anatomie de l'œil humain [35].

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

### ***2.4.1.2 Perception visuelle des mouvements***

D'après les littérateurs, la perception de l'environnement pendant le mouvement se fait à travers le flux et la perturbation d'image perçue plutôt que sa forme. En effet, lorsqu'un observateur se déplace, l'image sur sa rétine est alors déformée. Son déplacement produit un déplacement dans la direction opposée à son champ de vision, ce mouvement, appelé optique flux, peut être représenté graphiquement par un ensemble de vecteurs décrivant la vitesse de déplacement de chaque point sur la rétine [36, 37] (voir figure 2.3). De plus, Berthoz et al. (1975) ont souligné l'importance de la vision périphérique pour une bonne perception du mouvement [38].



*Figure 2. 3 : Flux optique du pilote lors de l'atterrissage [36] .*

### ***2.4.1.3 Application à la conduite automobile***

La vision est un élément prépondérant dans les activités de conduite, et est utilisée comme principale source d'information pour le guidage de l'automobile [39] .

D'après Lee (1976), lorsqu'il approche d'un obstacle, le conducteur estime le délai avant le contact, ou (Time-To-Collision) dû au flux optique [40]. De plus, le taux d'expansion visuelle de l'image de l'obstacle sur la rétine (appelé  $\tau$ ) est directement utilisé par le conducteur pour initier le freinage, et ses variations pour contrôler le déroulement du freinage [41]. Des études ultérieures ont montré que la valeur du TTC pourrait également être affectée par la vitesse d'approche [42] ou, dans le cas d'une simulation de conduite, par le niveau de détails de l'environnement [43] ou encore la vision stéréoscopique [44]. Prost et al. (1984) ont également insisté sur le délai de détection d'une variation de la distance intervéhiculaire, en raison de l'ambiguïté entre la perception du mouvement des objets et du mouvement propre [45].

Dans les virages, Godthelp (1986) indique que l'indice utilisé par le conducteur est le temps de franchissement de la ligne (time-to-line-crossing), qui correspond à l'intersection de l'une des deux lignes délimitant la voie. En s'intéressant à la direction de la vue pendant la conduite [46], Land et Lee (1994) ont démontré que le conducteur, lors d'une prise de virage, concentraient leur regard sur un point appelé point tangent. la direction de ce point particulier par rapport à la direction du véhicule permet aux conducteurs de percevoir la courbure de la route dans les virages [47] (voir figure 2.4). Mars (2008), a été confirmé expérimentalement l'importance du point tangent de virage pour la stabilité du contrôle latéral du véhicule [48]. En

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

addition, Wilson et al. (2007) ont montré une relation entre les mouvements du volant et les mouvements des yeux [49].

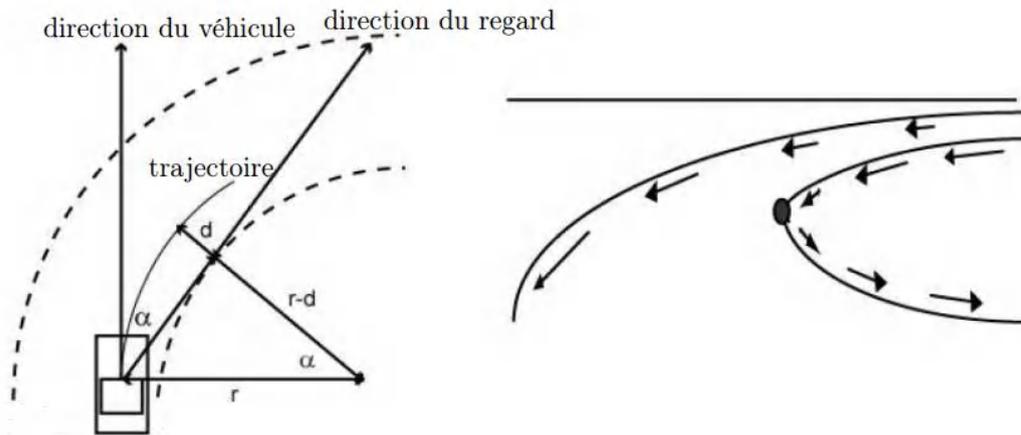


Figure 2. 4 : Le point tangent est corrélé avec le rayon de courbure du virage [50]

### 2.4.2 Le système vestibulaire

#### 2.4.2.1 Anatomie

Situé au niveau de l'oreille interne, le système vestibulaire est l'élément de base dans la détection de mouvements inertiels de la tête. Il est constitué d'un organe sensoriel périphérique composé du labyrinthe postérieur (canaux semi-circulaires, utricule et saccule), du nerf vestibulocochléaire et de ses noyaux encéphaliques. (Voir figure 2.5).

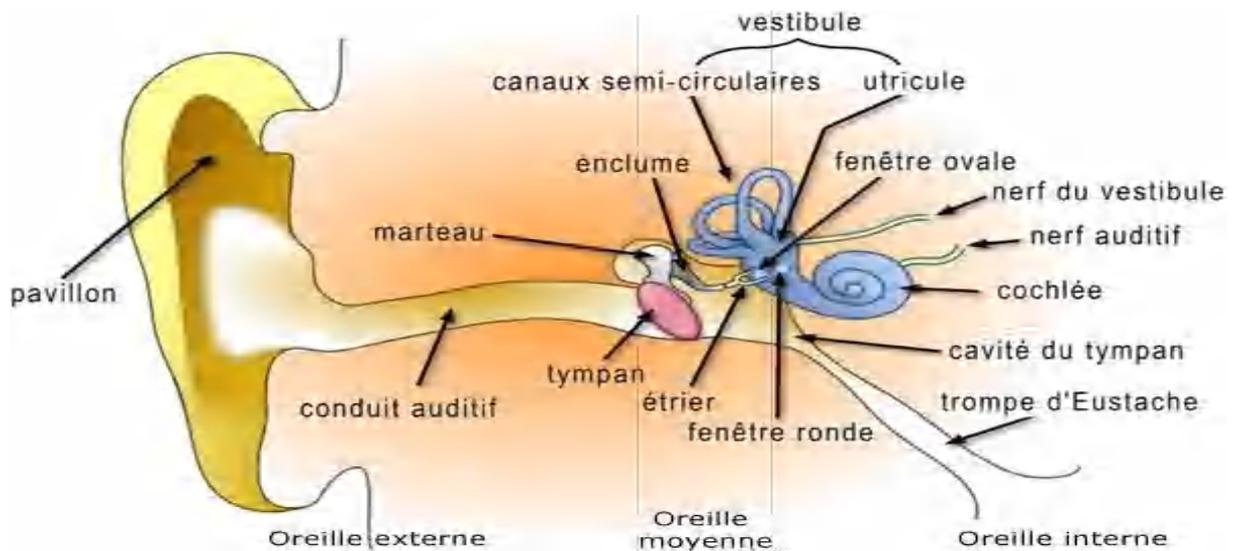


Figure 2. 5 : Anatomie de l'oreille interne [51]

## *Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite*

---

Il existe trois canaux semi-circulaires : antérieur, postérieur et latéral. Lors de la rotation, le fluide contenu dans ces canaux, l'endolymphe, se déplace. Ce déplacement est alors détecté par cils des cellules cillées qui recouvrent la paroi intérieure de ces canaux. Leur disposition permet ainsi de détecter l'amplitude de la rotation angulaire de la tête dans les trois dimensions de l'espace. Les organes otolithiques sont sensibles à l'accélération linéaire verticale (sacculé) ou horizontale (utricule) de la tête dans l'espace et détectent l'inclinaison de celle-ci par rapport à la gravité. Toutefois, ces organes ne permettent pas de faire la distinction entre l'inclinaison de la tête et l'accélération linéaire [38]. Ce type d'ambiguïté est exploité dans les simulateurs de conduite ou de vol.

### *2.4.2.2 Application à la conduite automobile*

Pendant la conduite, le conducteur perçoit l'accélération de la voiture à travers le système vestibulaire. En effet, les patients atteints de troubles de neuro-otologiques (c'est-à-dire de troubles de l'oreille interne) ont des difficultés à conduire une voiture, certains conducteurs éprouvant de la désorientation et des nausées, et d'autres changeant la direction de leur véhicule. Ces résultats ont également été reproduits par Clarke et al. (1996) sur simulateur de conduite, en rendant le système vestibulaire des sujets inopérants par stimulation calorique [52].

## **2.4.3 Le système proprioceptif**

### *2.4.3.1 Anatomie*

Ici, nous décrivons les récepteurs associés à la proprioception, à savoir le toucher (sensation tactile) et de la position et le mouvement des membres (sensation kinesthésique). La peau, ou plutôt les couches qui la composent (derme, hypoderme et épiderme), possède des mécanorécepteurs situés dans les muscles et les articulations, qui peuvent compter environ 17 000 unités dans la seule main. Leur répartition n'est pas uniforme : leur densité surfacique peut atteindre 2500 unités/cm<sup>2</sup> au bout du doigt [53]. Il existe quatre principaux types de récepteurs cutanés (mécanorécepteurs) voir figure 2.6 :

- **Les corpuscules de Pacini**, sont sensibles aux vibrations de faible amplitude et de très haute fréquence (d'1µm et de fréquence de 250 à 300 Hz) [54], et sont les plus nombreuses dans l'hypoderme.
- **Le corpuscule de Meissner** est plus petit que le corpuscule de Pacini (ratio de 1 à 10) et est généralement présent au bout du doigt. Il est sensible aux petites valeurs de pression sur la peau en utilisant une bande passante de 20 à 50 Hz, situés sous l'épiderme, il permet de percevoir les bords des objets.
- **Les disques de Merkel** ont une haute résolution et une bande passante allant jusqu'à 10 Hz. Comme le corpuscule de Meissner, ils se trouvent également dans l'épiderme et peuvent détecter les discontinuités et les textures.
- **Les corpuscules de Ruffini**, ont une adaptation lente, sont dotés d'une résolution médiocre car localisés profondément dans l'épiderme, et sont sensibles à la pression et à des étirements tissulaires et articulaires.

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

Les articulations sont pourvues de deux types des récepteurs :

- **Les corpuscules de Ruffini** fournissent des informations sur la position et le mouvement des articulations. Ils sont situés dans la couche fibreuse externe qui recouvre l'os, généralement répartis dans la position angulaire extrême des articulations.
- **Le corpuscule de Vater-Pacini** est sensible à l'accélération angulaire de l'articulation, mais est insensible à leur position.

Les muscles sont constitués de deux types de récepteurs :

- **Les organes tendineux de Golgi**, sont des mécanorécepteurs constitués de terminaisons nerveuses disposées entre les fibrilles de collagènes de tendon à la jonction myotendineuse, détectent la tension du muscle.
- **Les fuseaux neuromusculaires**, situés parallèlement aux fibres musculaires dans le corps du muscle, ces fibres peuvent détecter les changements de longueur musculaire pendant le mouvement volontaire et pendant la stimulation externe.

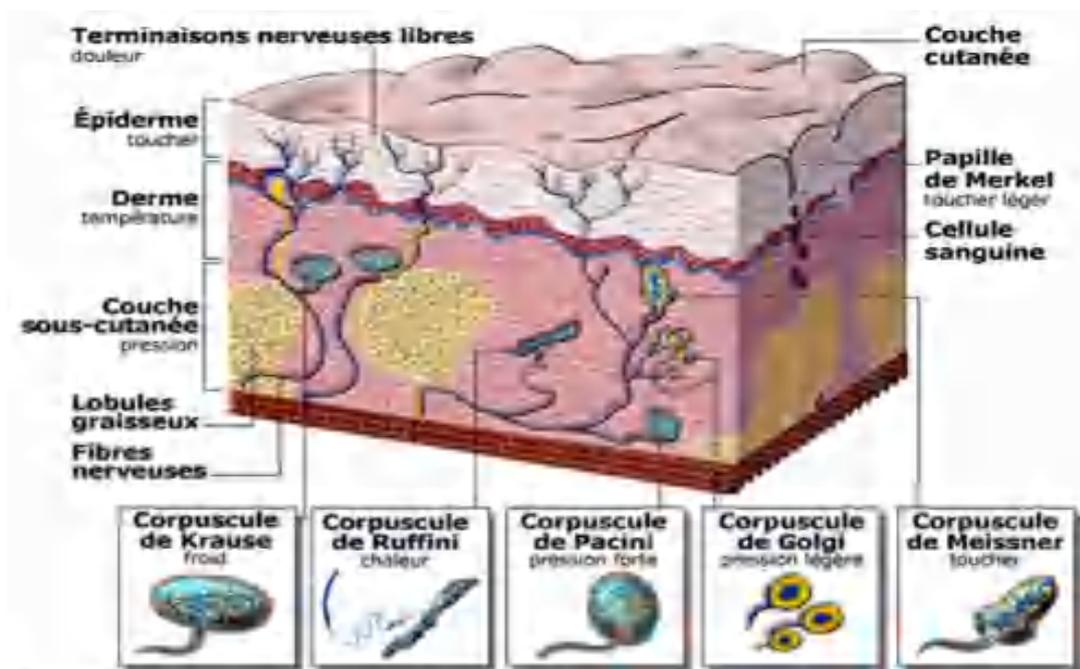


Figure 2. 6 : Vue en coupe de la peau [53] .

### 2.4.3.2 Application à la conduite automobile

Pendant la conduite, les sensations tactiles sont très sollicitées lors de la manipulation des commandes du véhicule telles que le volant et les pédales. En effet, lors par exemple de l'enfoncement de la pédale d'accélérateur, le conducteur reçoit une information tactile sur le contact avec la pédale, ainsi qu'une information kinesthésique sur les mouvements de jambe effectués.

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

En ce qui concerne le volant, le conducteur ressent également un retour d'effort dû à la force de contact des pneus sur la route, ainsi que de la cinématique du système de direction [55]. Ces retours d'effort sont proportionnels à l'angle volant, pour une adhérence et une vitesse donnés [56]. Aussi, ils fournissent au conducteur des informations sur la dynamique de la voiture telles que l'accélération latérale [57].

Par ailleurs, Liu et Chang (1995) ont découvert dans un test sur le simulateur de conduite, que les conducteurs montraient moins de variabilité d'angle au volant en présence de retour d'effort. Les auteurs affirment que lors de la conduite en ligne droite, les retours d'effort aident le conducteur à centrer le volant, là où le couple renvoyé par le volant est minimal [58].

Toflon et al. (2007) ont démontré lors d'un test sur le simulateur de conduite, que les conducteurs étaient encore capables de s'adapter à différentes lois de retour d'effort sans changer leur style de conduite. D'après les auteurs, cette adaptation se fait au niveau tactile plutôt qu'au niveau de la représentation des capacités dynamiques des véhicules [59]. Deborne (2009) a aussi étudié l'adaptation du conducteur à une perte d'assistance du volant (et donc à une augmentation brutale du retour d'effort) et proposé un modèle passant par deux stratégies : la modulation d'impédance du bras (contraction de muscles supplémentaires, permettant d'être plus stable et plus robuste aux perturbations) et la mise à jour du modèle interne que le conducteur possède du volant (entraînant une modification de la cinématique des mouvements, donc de la commande motrice) [60].

### **2.4.4 L'audition**

Historiquement, l'audition est la modalité sensorielle la plus étudiée après la vision. En situation de conduite, c'est aussi la modalité sensorielle la plus sollicitée après la vision. L'audition est utilisée par les conducteurs pour se tenir informés aussi bien de l'état de leur véhicule que de celui de leur environnement. Les bruits environnants le véhicule sont autant d'indices pouvant renseigner les conducteurs sur l'état du monde les entourant. Par exemple, le bruit produit par un autre véhicule participe à l'estimation de sa vitesse et parfois même au sens de son déplacement (ex. : véhicules équipés d'un système émettant un son lorsqu'ils reculent). Les sons émis par le véhicule conduit apportent des indices sur son bon fonctionnement (régime moteur adapté, absence de sons inhabituels...) et sur l'état de la route (bruits de roulement ou présence de graviers).

L'usage des informations auditives revêt également un enjeu sécuritaire. L'avertisseur sonore en est une bonne illustration. Bien que souvent dévoyée, l'utilisation de l'avertisseur est originellement destinée à prévenir d'un danger. Par exemple, lors de la négociation d'un virage sans visibilité sur une route étroite à double sens, les conducteurs font usage de leur avertisseur pour prévenir de leur arrivée. De cette manière, si deux conducteurs doivent négocier le virage en même temps, ils peuvent adapter leur vitesse. En ville, jouer de l'avertisseur peut également s'avérer être utile, essentiellement pour alerter d'un danger qui semble ne pas avoir été pris en compte.

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

De plus, le bruit généré par le moteur du véhicule conduit participe à l'activité de guidage. Mc Lane et Wierwille (1975) ont montré qu'en situation de simulation de conduite, le manque d'informations auditives entraîne une augmentation de la vitesse [61]. Ce manque d'informations auditives donne également lieu à des difficultés d'estimation de la vitesse de conduite [62]. Matthews et Cousins (1980) expliquent la capacité des conducteurs de petites voitures à estimer leur vitesse plus finement que ceux de grosses voitures mieux insonorisées [63].

Le canal auditif est également utilisé pour fournir des informations supplémentaires aux conducteurs. Ainsi, Deartherage (1972) suggère l'usage d'équipements auditifs lorsque le message à transmettre est court et simple, qu'il n'y sera pas fait référence ultérieurement, qu'il ne transmet pas d'informations de nature spatiale et/ou qu'il requiert une action immédiate [64].

Dans le cadre de la conduite automobile, l'utilisation du canal auditif à la place de la vision évite d'entrer en concurrence directe avec l'activité de conduite visuo-motrice. De plus, l'usage d'alertes auditives permet d'attirer l'attention visuelle plus rapidement que l'usage de dispositifs visuels [65]. Sur les véhicules modernes, diverses informations sont transmises via cette modalité sensorielle. À titre d'exemple, un son est émis lorsqu'une personne présente dans le véhicule ne porte pas sa ceinture de sécurité, ou encore lorsque contact éteint, le conducteur ouvre sa portière sans avoir éteint les feux de son véhicule. D'autres systèmes aident les conducteurs à se garer en émettant un son dont la fréquence augmente à mesure que le véhicule se rapproche d'un obstacle

### **2.5 Les Modèles cognitifs de l'activité de conduite**

Modéliser un phénomène permet de réduire sa complexité pour comprendre son fonctionnement [66]. La modélisation de la conduite automobile a commencé dans les années 1960, et son objectif était et est toujours d'améliorer la sécurité routière. Celle-ci commence par un relevé d'activités qui se veut exhaustif et de tâches directement ou indirectement liées à la conduite d'une voiture, avec un objectif simple de classification. Dans une approche plus affinée, d'autres recherches se sont concentrées sur la description du comportement de conduite au volant et la modélisation des mécanismes cognitifs sous-jacents [67].

En outre, différents modèles fonctionnels décrivant l'activité de conduite et le comportement du conducteur ont été proposés, parmi lesquels les modèles motivationnels et les modèles du traitement de l'information. Cependant, ces deux types de modèles ont été critiqués car les premiers ne donnaient pas assez de détails sur les capacités de conduite et les savoir-faire, et les seconds ne prenaient pas en compte les émotions ou la motivation [68]. Les modèles hiérarchiques, basés sur l'organisation de l'activité de conduite en sous-tâches sont apparus dans les années 80. Quatre modèles seront décrits ci-après, parmi lesquels, le modèle « Skill Rules Knowledge » ou SRK de Rasmussen (1983) [69], le modèle tripartite du comportement du conducteur de Michon (1985) [70], le modèle du comportement du

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

conducteur de Brouwer (2002)[71] et le modèle multifactoriel de la conduite sécuritaire d'Anstey (2005)[72].

### 2.5.1 Modèle « Skill Rules Knowledge » (SRK)

En 1983, Rasmussen a proposé un modèle décrivant l'association entre différents niveaux de comportements et les risques associés (figure 2.7). Ce modèle distingue trois types de comportements du conducteur : celui reposant sur les savoir-faire ou les habiletés (skill-based behavior), celui reposant sur les règles (rules-based behavior) et celui reposant sur les connaissances (knowledge-based behavior).

- Le **comportement reposant sur les habiletés** est automatique et peu coûteux. Il permet l'exécution d'actions de routine, de coordination entre la perception et les actions motrices (par exemple, maintenir sa trajectoire lors d'un virage). Par opposition, les deux comportements suivants permettent l'exécution d'actions contrôlées et se produisent dans des situations nouvelles ou inattendues.
- Le **comportement reposant sur les règles** permet la réalisation d'une action secondaire à un changement dans l'environnement du conducteur (par exemple, rétrograder et freiner à la suite du passage d'un feu à l'orange). Si ce comportement est efficace, il pourra même devenir automatique (et ainsi, devenir non conscient).
- En revanche, si le comportement reposant sur les règles n'est pas suffisant, le conducteur fera appel à ses **connaissances** pour faire face à la situation en adoptant un comportement qui nécessite des fonctions de plus haut niveau (par exemple, si le conducteur se retrouve face à une route barrée et doit modifier son trajet pour atteindre sa destination, il devra mettre à jour les informations reçues et planifier son nouvel itinéraire).

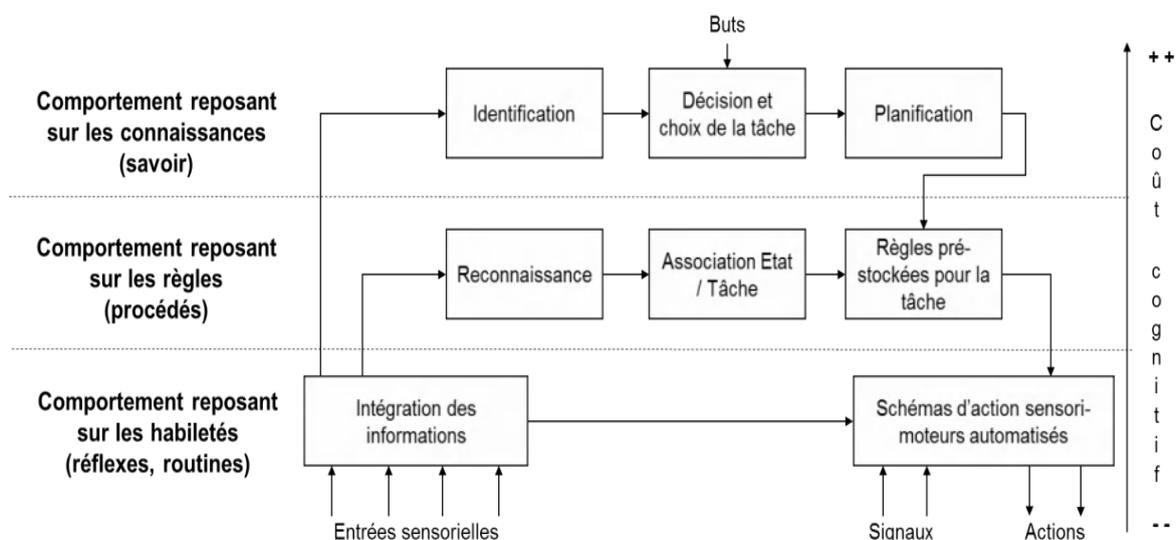


Figure 2. 7 : Représentation du modèle du comportement "Skill Rules Knowledge" [69]

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

### 2.5.2 Modèle de Michon

Selon Michon, la conduite automobile est une activité regroupant de multiples tâches simultanées et chaque tâche présente un coût cognitif lié à son exigence temporelle. Ainsi plus une tâche doit être effectuée rapidement, moins elle est coûteuse cognitivement. En 1985, il a proposé un modèle tripartite pour décrire le comportement du conducteur (Figure 18) [70].

- **Le niveau opérationnel** est le niveau le plus bas du modèle. Il correspond à des actions non contrôlées, requérant peu de ressources cognitives, mais qui doivent être réalisées très rapidement (en moins d'une seconde). L'automatisation est rendue possible par le faible coût cognitif de la tâche. Ainsi, les tâches d'exécution motrice de maniement du véhicule appartiennent à ce niveau (par exemple, le changement de vitesse). Ces tâches requièrent l'implication des capacités d'attention visuelle, visuo-perceptives et de vitesse de traitement de l'information.
- **Le niveau tactique** est le niveau intermédiaire du modèle. Il comprend les actions soumises à un coût cognitif plus important, contrôlées, réalisées dans un délai de l'ordre de la seconde. Les comportements rencontrés lors de situations nécessitant une adaptation, une régulation du comportement (par exemple, lors de dépassements, ou de l'ajustement de la vitesse et de la distance en cas de suivi de véhicule) appartiennent à ce niveau. Ces comportements reposent principalement sur le fonctionnement exécutif (planification, flexibilité mentale, jugement, mémoire de travail) mais aussi sur des processus attentionnels, ainsi que des capacités cognitives de plus bas niveau, telle que la vitesse de traitement de l'information.
- **Le niveau stratégique** est le niveau supérieur du modèle. Il concerne les actions contrôlées ayant un coût cognitif maximal, et une pression temporelle moindre (de l'ordre de quelques minutes). Ces actions font appel à des informations stockées en mémoire et sollicitent les fonctions exécutives (telles que la planification, l'organisation, ou le raisonnement complexe) et les capacités attentionnelles (par exemple, planifier son itinéraire et le suivre pour se rendre à un rendez-vous).

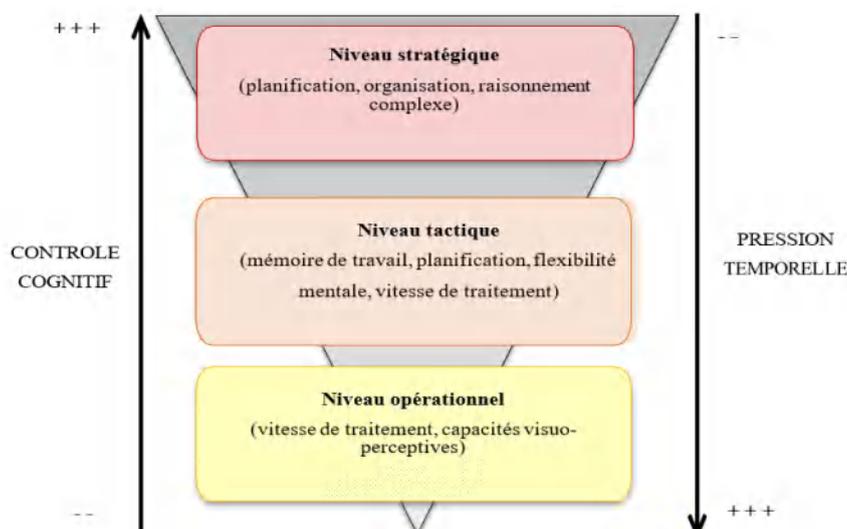


Figure 2. 8 : Représentation du modèle de Michon (1985) [70]

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

### 2.5.3 Modèle du comportement du conducteur (Brouwer 2002)

En 2002, Brouwer a proposé un autre modèle théorique du comportement du conducteur, prenant en compte les aspects neuropsychologiques des conducteurs et la structure complexe de la tâche de conduite. La compétence de conduite repose sur trois composantes (voir Figure 19) [71].

- Le **savoir-faire** (ou « driving skill ») du conducteur correspond au niveau cognitif complexe, reposant sur les habiletés acquises, reflétant l'apprentissage de l'évaluation de situations de conduite et de la sélection des actions à effectuer pour conduire en toute sécurité, et témoignant ainsi de l'expérience du conducteur.
- L'**aptitude à la conduite** (ou « fitness to drive ») est déterminée par les capacités physiques et cognitives du conducteur, suffisantes pour apprendre et appliquer les règles de conduite.
- Enfin, le **comportement au volant** (« driving behaviour ») correspondant aux actions concrètes du conducteur en situation de conduite.

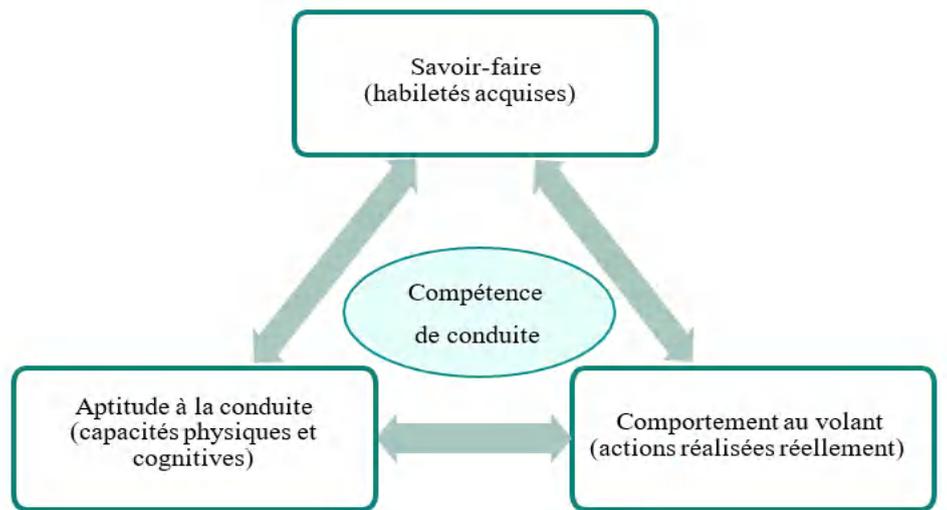


Figure 2. 9 : Représentation du modèle cognitif de la conduite de Brouwer [71]

Ces trois composantes semblent être dépendantes les unes des autres. Théoriquement, l'aptitude à la conduite est liée à l'apprentissage et à l'expérience (au savoir-faire), mais ce n'est pas parce qu'un individu a obtenu son permis de conduire et qu'il a les capacités physiques et cognitives suffisantes pour conduire, qu'il est un conducteur compétent. En effet, il peut adopter un comportement dangereux en se mettant dans des situations qu'il n'arrive pas à gérer.

D'après Brouwer, l'expérience est un élément majeur pour la compétence de conduite. L'apprentissage de procédures, devenant des routines, modifie l'architecture cognitive du conducteur. L'activité de conduite d'un conducteur expérimenté repose alors sur une alternance de séquences comportementales stéréotypées plus ou moins longues et de phases vérification consciente (contrôle) et d'ajustement de l'action.

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

Les séquences comportementales stockées en mémoire dans un répertoire peuvent être réutilisées et adaptées en fonction de la situation de conduite rencontrée. Néanmoins, avec le vieillissement, les personnes âgées, qui sont des conducteurs expérimentés, peuvent présenter un ralentissement du traitement de l'information. Grâce à la compensation au niveau du savoir-faire ou du comportement, cette diminution de l'aptitude à la conduite ne fait pas de la personne âgée un conducteur incompetent.

Les trois modèles théoriques de l'activité de conduite présentés précédemment sont complémentaires sur plusieurs aspects. Tout d'abord, contrairement au modèle de Rasmussen, le modèle de Michon détaille les différentes fonctions cognitives sollicitées lors de l'activité de conduite, en fonction du niveau hiérarchique considéré. Le modèle de Brouwer, lui, prend en compte les capacités cognitives et physiques des conducteurs sur lesquelles repose l'aptitude à la conduite. Ce modèle souligne l'importance de l'expérience du conducteur, notamment dans le cas où les seniors ont besoin de compenser certains déficits cognitifs pouvant altérer la qualité de leur conduite. Néanmoins, ces trois modèles ne prennent pas en compte un facteur subjectif qui influence les choix faits par les conducteurs, à savoir, la conscience des capacités liées à la conduite et leur évaluation par les conducteurs et qui influence l'autorégulation de la conduite. En effet, l'autorégulation du comportement de conduite est fortement dépendante de la manière dont les individus perçoivent leurs capacités [73–75].

### 2.5.4 Le modèle multifactoriel de conduite sécuritaire (Anstey)

En 2005, Anstey et collaborateurs ont proposé un modèle multifactoriel du comportement du conducteur âgé prenant en compte les effets du vieillissement sur l'aptitude à la conduite et la manière dont le conducteur percevait cette aptitude (Figure 2.10). Pour réaliser ce modèle, les auteurs se sont basés sur une revue de la littérature qui a permis d'identifier les changements cognitifs, physiques et perceptifs causés par le vieillissement et leurs conséquences sur la conduite automobile [72].

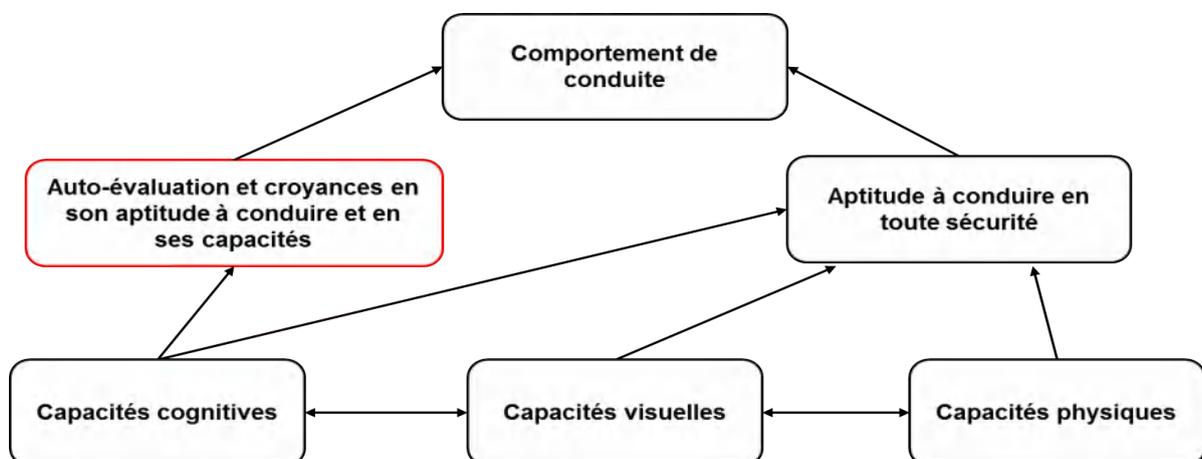


Figure 2. 10 : Adaptation du modèle multifactoriel de la conduite [72]

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

D'après ce modèle, les capacités **cognitives** (telles que la vitesse de traitement, l'attention, la mémoire à court-terme, et les fonctions exécutives), **physiques** (telles la motricité et l'état de santé général), et visuelles (telles que l'acuité visuelle et la sensibilité au contraste) déterminent l'aptitude à conduire en toute sécurité. Le comportement du conducteur dépend à la fois de cette aptitude (qui est objective, réelle) et d'un facteur plus subjectif, appelé « **l'auto-monitoring** » reflétant la manière dont le conducteur perçoit ses capacités de conduite. L'auto-monitoring repose sur l'auto-évaluation des capacités de conduite par le conducteur (sous-tendues par ses capacités cognitives, visuelles et physiques) et influence la manière dont il adapte son comportement (ou « autorégule », notion détaillée dans le prochain chapitre). Ainsi, les difficultés cognitives, physiques ou visuelles affaiblissent les capacités de conduite des conducteurs âgés, mais leur conscience et leur perception correcte induisent une adaptation de leur comportement en conséquence pour ne pas prendre de risque au volant de leur véhicule.

A l'inverse, une absence de conscience des difficultés ou une perception erronée des capacités peut entraîner un comportement dangereux sur la route (Anstey et al., 2005). Ce dernier point est crucial puisque, comme illustré dans le modèle de Michon, les capacités d'auto estimation pourront déterminer la mise en place de comportements liés au niveau stratégique, tels que la planification. Ainsi, quelqu'un qui a conscience du fait qu'il n'arrive pas à maintenir son attention sur le long terme dans des conditions de conduite compliquées pourra se réguler et mettre en place des comportements stratégiques ou bien éviter ces situations compliquées. Par exemple, un conducteur pourra choisir d'éviter de conduire sur les autoroutes en cas de grosse affluence s'il a du mal à gérer cette situation, ou encore instaurer des pauses plus fréquentes que de coutume.

### **2.6 Les principaux facteurs qui influent sur le comportement du conducteur et le mettent en situation d'urgence**

Les études d'accidentologie montrent qu'un comportement inapproprié des usagers de la route est à l'origine de la grande majorité des accidents de la circulation. Ce comportement inapproprié est souvent lié à un non-respect des règles qui concernent notamment :

#### **2.6.1 La vitesse**

##### ***2.6.1.1 Définitions***

La notion de vitesse réfère à plusieurs définitions. La vitesse permise (légale) est celle que la loi autorise et qui correspond aux limites de vitesse affichées sur les routes. La vitesse pratiquée est celle qu'un conducteur décide d'adopter en conformité ou non avec la limite légale. La vitesse tolérée est celle au-dessous de laquelle les policiers n'émettent pas de constat d'infraction [76]. On parle aussi de vitesse de conception, c'est-à-dire celle qui est déterminée par les ingénieurs et qui sert de référence pour appliquer les normes lors de la construction de la route. Celle-ci tient habituellement compte de l'équilibre mobilité et sécurité.

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

### ***2.6.1.2 Concepts***

La vitesse est le rapport entre une distance et le temps mis pour la parcourir ( $v = x/t$ ). Elle est mesurée en kilomètre/heure ou mètre/seconde. Bien qu'on associe plus fréquemment la vitesse à la notion de célérité ou rapidité, même celui qui marche lentement circule à une vitesse donnée.

Dans la relation « homme/machine » qu'implique la conduite d'un véhicule, il faut prendre en compte les lois de la physique qui, au regard de la vitesse, concernent à la fois les capacités et les limites de l'être humain et du véhicule. En effet, avec l'augmentation de la vitesse, les capacités visuelles diminuent, la distance d'arrêt du véhicule augmente, de même que la force centrifuge dans les virages. La seule chose qui reste stable est la capacité limitée du corps à absorber ces chocs lors d'une collision.

### ***2.6.1.3 Contexte***

Les statistiques dans tous les pays montrent que des vitesses pratiquées au-delà des limites autorisées ou une vitesse inadaptée à l'état de la route ou aux conditions de circulation influent à la fois sur les risques d'accidents et sur les conséquences des accidents. En d'autres termes, la vitesse provoque des accidents dans la mesure où elle réduit les possibilités de manœuvrer à temps pour éviter le danger et les aggrave car plus la vitesse est grande, plus le choc est violent et plus les conséquences sont sévères voire dramatiques.

### ***2.6.1.4 Quelques données sur les effets de la vitesse***

- a. La vitesse excessive ou inadaptée est à l'origine, selon les pays, de 30 % à 50 % des accidents mortels ;
- b. La vitesse excessive ou inadaptée a des conséquences dramatiques pour les piétons. En effet, lorsque la vitesse de collision passe de 30 km/h à 50 km/h, la probabilité de heurter un piéton augmente de 8 fois voir figure 2.11 ;
- c. Une variation de la vitesse moyenne induit en général, d'après certaines études, une variation plus grande de même sens (augmentation ou diminution) du nombre et de la gravité des accidents ;
- d. La vitesse augmente la distance d'arrêt qui est égale à la distance de réaction plus la distance de freinage. Il est rappelé que le temps de réaction du conducteur face à un événement imprévu varie de 1 à 2 secondes voir Table 2.1 [77] .
- e. Les vitesses élevées contribuent à augmenter les émissions polluantes et le bruit et donc affectent la qualité de vie de la population, notamment en zones urbaines. Par ailleurs, les coûts de fonctionnement des véhicules (consommation de carburant et d'huile accrue, usure plus rapide des pneumatiques) s'en trouvent augmentés ;
- f. Le temps gagné en roulant plus vite est faible et surévalué : ainsi, sur un parcours de 100 km, rouler à 150 km/h au lieu de 130 km/h ne fait gagner que 6 minutes ;
- g. Avec la vitesse, le risque d'erreur augmente et la fatigue s'installe plus vite ;
- h. Plus la vitesse est grande, moins les pneus adhèrent à la chaussée ;

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

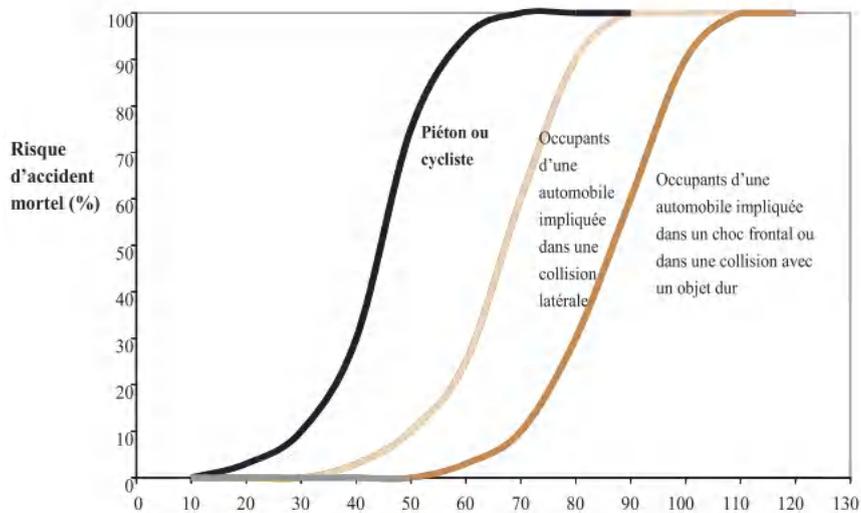


Figure 2.11 : Risque d'accident mortel et vitesse de collision [78]

Tableau 2. 1: distance d'arrêt pour un véhicule vide et pleine charge

Vide			pleine charge		
Vitesses en km/h	Distances d'arrêt sur route sèche (en mètres) avec un coefficient d'adhésion de 0,7	Distances d'arrêt sur route mouillée (en mètres) avec un coefficient d'adhésion de 0,4	Vitesses en km/h	Distances d'arrêt sur route sèche (en mètres) avec un coefficient d'adhésion de 0,7	Distances d'arrêt sur route mouillée (en mètres) avec un coefficient d'adhésion de 0,4
30	17	18	30	18	20
50	34	38	50	38	44
90	82	95	90	95	122
100	96	118	100	113	145
130	147	179	130	176	215

- i. La vitesse requiert une vigilance encore plus accrue la nuit : les feux de croisement n'éclairant qu'à 30 m, dès 70 km/h, l'obstacle qui surgit dans la zone éclairée est inévitable ;
- j. Plus la vitesse est grande, moins les pneus adhèrent à la chaussée ;
- k. Plus on roule vite, plus la perception visuelle diminue : le champ visuel est de 100° à 40 km/h, il passe à 30° à 130 km/h (figure 2.12).



Figure 2.12 : Réduction du champ visuel due à la vitesse [76].

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

### ***2.6.1.5 Facteurs qui influent sur le choix de la vitesse***

Bien que de nombreux facteurs, comme ceux décrits ci-après, puissent influencer sur le choix de la vitesse pratiquée par un conducteur, ce dernier doit, en toutes circonstances, rester maître de son véhicule, de façon à pouvoir se conformer aux exigences de la prudence et à être constamment en mesure d'effectuer toutes les manœuvres qui lui incombent [77].

### ***2.6.1.6 Facteurs extérieurs***

A. La route qui interfère au travers des éléments suivants :

- Type (autoroute, route à chaussées séparées, route de rase campagne, voie urbaine, etc.) ;
- Fonction (transit, desserte locale, etc.) ;
- Profil en travers (notamment largeur et nombre de voies) ;
- Cadre (tunnel, pont) ;
- Configuration des intersections ;
- Marquage au sol ;
- État du revêtement, etc.

B. L'environnement qui interfère au travers des éléments suivants :

- Conditions climatiques ;
- Période de la journée (jour/nuit) ;
- Environnement paysager (plaine, montagne, lieux touristiques, etc.) ;
- Éclairage routier ;
- Signalisation ;
- Limites de vitesse ;
- Radars, etc.

### ***2.6.1.7 Facteurs liés au conducteur***

C. Le conducteur lui-même au travers des critères suivants :

- Âge ;
- Sexe ;
- Temps de réaction ;
- Formation ;
- Fatigue ;
- Attitudes (Perception des dangers, recherche de sensations, etc.) ;
- Conduite sous l'emprise de l'alcool et /ou de drogues et médicaments ;
- Présence d'occupants à bord ;
- Circonstances du déplacement

Mais le choix de la vitesse adéquate dépend essentiellement, abstraction faite de tout facteur psychologique ou subjectif qui pourrait s'intercaler (comme des préoccupations personnelles, peur d'être en retard, etc.), de la perception qu'en a le conducteur : pour bien

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

choisir la vitesse adéquate, il doit être en mesure de l'évaluer. Des études ont mis en évidence que l'évaluation de la vitesse est faite surtout à partir de :

- L'information auditive : la privation de cette information entraîne la sous-évaluation de la vitesse ;
- La vision périphérique : les routes larges et sans points de référence entraînent aussi la sous-évaluation de la vitesse.

Par ailleurs, la sensation de vitesse se réduit à mesure que la conduite se déroule et, quand ils ont besoin de diminuer la vitesse, les conducteurs la modifient toujours moins que ce qu'il est nécessaire. C'est notamment le cas dans les endroits de transition, c'est-à-dire là où des changements se produisent soit au niveau de l'environnement routier soit au niveau des exigences réglementaires.

Enfin, la perception de la vitesse peut être affectée [77]:

- Lorsque la même vitesse est maintenue pendant une longue période ;
- Lorsque la vision périphérique est réduite, particulièrement par l'absence de points de référence.

Pour atteindre de meilleurs résultats en matière de vitesse, des mesures devraient être adoptées afin d'assurer que :

- Les erreurs des conducteurs deviennent moins probables ;
- Les tentations de transgresser les limites de vitesse soient moins aisées ;
- Les erreurs et les transgressions des limites de vitesse n'entraînent pas nécessairement un accident ;
- Les aménagements en bordure de route n'aggravent pas la situation lorsqu'un accident se produit et qu'au contraire ils puissent absorber les erreurs des conducteurs ou en limiter les conséquences.

### **2.6.2 La perte de vigilance**

Une étude, réalisée par l'INRETS en 2009 [79], a fait ressortir que les problèmes de vigilance concernaient 11,9 % des conducteurs impliqués dans les 1 107 accidents analysés. Les facteurs de dégradation de la vigilance peuvent être liés à la fatigue, à la somnolence, à la consommation de psychotropes (alcool, stupéfiants ou/et médicaments), mais aussi au caractère parfois répétitif ou monotone de la conduite. Ces aspects sont parfois difficiles à mettre en évidence dans un accident.

Tous les conducteurs ne sont pas également sujets aux baisses de vigilance. Mc Cartt (1996) a montré que les conducteurs impliqués dans un accident résultant d'une baisse de vigilance étaient essentiellement des jeunes, d'un niveau d'éducation élevé, dormant peu et conduisant beaucoup. Il a également montré que ces accidents se produisent en général quand

## *Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite*

---

le conducteur est seul, entre 23 heures et 7 heures du matin et impliquent dans près de 50 % des cas des sorties de route[80]. Muzet (1996) cite les résultats d'une étude réalisée par l'Association pour la Sécurité sur les Autoroutes au cours des années 1982-1986 et portant sur un nombre global de 300 tués : la perte de vigilance est semble-t-il la première cause d'accidents mortels et représente 34 % des cas. Aux Etats-Unis, l'American Automobile Association Foundation For Traffic Safety estimait à la même époque que la fatigue était très probablement la cause initiale de 41 % des accidents impliquant des poids lourds[81] .

On parle également d'un effet d'hypnose de l'autoroute (Brown, 1991). Elle découlerait du fait que la tâche de conduite dans des situations prévisibles devient quasiment automatique. Cela rend la tâche trop facile pour maintenir un haut niveau de conscience et favorise l'apparition de la somnolence. Si la conduite devient automatique, elle fait alors appel à des représentations internes et à des réflexes et sollicite moins les informations externes[82]. Le temps de réaction à ces informations externes est par conséquent plus long, ce qui est dangereux en termes de sécurité [83]. C'est également ce que l'on appelle la conduite sans attention. Cette conduite que l'on pourrait assimiler à celle d'un pilote automatique ne semble pas liée à la fatigue ou à la somnolence mais semble liée à la monotonie et à la prédictibilité de la situation de conduite [84] (Pour plus de détails, voir le chapitre 3).

### **2.6.3 La prise de médicaments**

Il est à noter que même les médicaments les plus anodins, parfois disponibles sans ordonnance d'un médecin, peuvent troubler la conduite. En effet, certains médicaments peuvent avoir des effets secondaires incompatibles avec la conduite comme la somnolence, les nausées, la perte de vigilance. Depuis 1999, les médicaments susceptibles d'affecter la conduite sont signalés par des pictogrammes. C'est pour cette raison que le conducteur doit être particulièrement attentif au pictogramme présent sur la boîte du médicament, il en existe trois différents :



Soyez prudent ! Ne pas conduire avant d'avoir lu la notice



Soyez très prudent ! Ne pas conduire sans avoir demandé l'avis d'un professionnel de la santé



Attention danger ! Ne pas conduire. Demandez l'avis d'un médecin pour pouvoir reprendre la conduite

## Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite

### 2.6.4 Alcool au volant

Tout comme la vitesse, la consommation d'alcool accroît à la fois la probabilité d'accident et le risque que celui-ci soit mortel ou fasse des blessés graves. La consommation d'alcool avant de s'engager sur la route, que ce soit au volant ou en tant que piéton, accroît la probabilité d'accident, ainsi que le risque afférent de décès ou de blessures graves. Le risque d'accident de circulation commence à croître sensiblement à une concentration d'alcool dans le sang de 0,4 g/l, et augmente rapidement ensuite avec chaque petite hausse du taux d'alcoolémie [85].

#### 2.6.4.1 Graduation du risque lie à l'alcool

Selon l'enquête SAM (publiée en 2005) basée sur 7 458 accidents mortels, l'estimation du risque excessif de responsabilité pour un accident mortel est la suivante :

Tableau 2. 2 : La relation entre le taux d'alcool et la gravité des accidents [85]

Taux d'alcool (en grammes par litre de sang)	Odds Ratio
0	1,0
< 0,5	2,7
0,5-0,8	6,3
0,8-1,2	7,6
1,2-2,0	13,2
2,0 et plus	39,6
Toute dose non nulle	8,5

#### 2.6.4.2 L'implication de l'alcool dans les accidents de la circulation

On observe une relation forte entre le taux d'alcoolémie et la gravité de l'accident. De même qu'entre le taux d'alcoolémie et la responsabilité de l'accident [85]

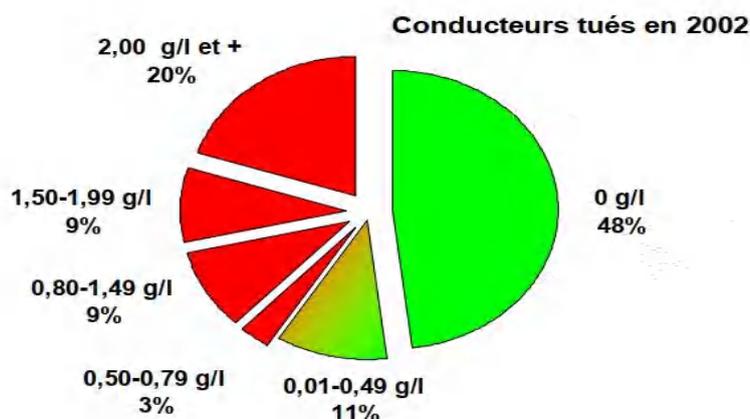


Figure 2. 13 Pourcentage de conducteurs tués selon le taux d'alcool (France 2002)

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

Exemples de situations de conduite impliquant l'alcool :

- Non détection d'un obstacle survenant latéralement (champ visuel rétréci).
- Perception erronée des distances (vision stéréoscopique modifiée).
- Freinage tardif (temps de réaction allongé).
- Sortie de route (faible résistance à la fatigue).
- Erreur de manœuvre (coordination des mouvements perturbée).
- Accroissement de la prise de risque (désinhibition).

### **2.6.5 Le stress**

Le stress est un facteur de prédisposition aux accidents. Pour Brenner (1969), les conducteurs ayant subi un événement stressant récent ont une probabilité d'accident mortel cinq fois supérieure à celle des autres conducteurs. Ceci s'explique par l'anxiété, les soucis, le fait d'être accaparé par des pensées indépendantes de l'activité de conduite ou la négligence des signaux de dangers. Au contraire, chez certaines personnes, le stress peut accentuer la perception des signaux de danger[86]. Matthews (1993) indique que l'on ne peut pas affirmer que le stress se traduise systématiquement par une conduite agressive, mais il agit sur les relations entre le conducteur et son environnement [87].

Robertson (1991) a identifié un certain nombre de mesures susceptibles de révéler un état de stress chez le conducteur : des mesures physiologiques du taux d'adrénaline ou de noradrénaline dans le sang, le rythme cardiaque, la tension, le rythme respiratoire, le tonus musculaire... ; des mesures comportementales comme la tension de la prise du volant, le rythme de clignement des yeux, la posture... et enfin des mesures psychologiques du niveau de stress [88].

### **2.6.6 Le non-respect de code de la route**

Le code de la route détermine la façon dont l'espace public de la rue doit être partagé entre ses différents usagers, piétons, cyclistes, automobilistes, transports en commun, utilitaires, les priorités des uns par rapport aux autres quand ils se croisent et les devoirs de chacun pour un usage harmonieux de l'espace urbain. Le non-respect des règles du code de la route est la principale cause des accidents de la route dans le monde. Autrement dit, le non-respect du code de la route est la principale cause des accidents meurtriers.

### **2.6.7 La ceinture de sécurité**

La ceinture de sécurité est un dispositif de sécurité permettant de limiter les mouvements incontrôlables des passagers d'un véhicule, lors d'un choc. Ainsi, les occupants d'un véhicule en mouvement décélérant brutalement lors d'un choc, ne sont pas projetés contre des obstacles, par l'énergie cinétique qu'ils ont accumulée.

La ceinture de sécurité est sans nul doute l'un des systèmes de sécurité les plus efficaces pour assurer la sécurité des occupants dans un véhicule. Grâce au port de la ceinture, la gravité

## ***Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite***

---

d'un accident est amoindrie et le nombre de victimes de la route est aussi considérablement réduit. On a estimé qu'en 2012, 8.600 personnes ont pu échapper à la mort en Europe parce que celles-ci portaient la ceinture. Selon les estimations de l'ETSC (2014), 900 décès sur la route auraient pu être évités si 99% des occupants avaient bouclé la ceinture [89]. Les conducteurs ou passagers avant courent ainsi de 40% à 50% de risques en moins de perdre la vie quand ils sont attachés [90].

Le non-port de la ceinture de sécurité sur les autoroutes représente également un grave danger. En Belgique, la part des personnes non attachées ayant été impliquées dans un accident mortel sur autoroute représente 46% des conducteurs, 41% des passagers avant [91]

### **2.6.8 L'inattention**

Dans de nombreux cas, l'inattention du conducteur est à l'origine d'accidents. Les facteurs à l'origine de cette inattention ont alors été étudiés : la manipulation du poste de radio, la conversation avec les passagers, fumer une cigarette, attraper un objet dans la boîte à gants, boire de l'eau, manger un sandwich, les enfants. etc. En effet, la distraction causée par le téléphone est la plus dangereuse.

### **2.6.9 Téléphone au volant**

Toutes les études ont démontré l'existence d'un lien entre le fait de téléphoner en conduisant et l'accroissement du risque d'accident. En effet, au volant de sa voiture, le conducteur doit porter une attention constante à la route et à la circulation et ne faire aucun geste réduisant sa maîtrise du véhicule ou entravant les manœuvres de conduite. Il doit être, à tout instant, en mesure d'exécuter commodément et sans délai les manœuvres commandées par les circonstances.

Cependant, tenir un téléphone portable en main empêche d'exécuter ces gestes de manière correcte et sûre. C'est pourquoi, de nombreuses législations nationales interdisent et sanctionnent l'usage du téléphone tenu à la main, tout en tolérant l'usage du kit mains libres. Cependant, même dans ce dernier cas, certaines législations nationales prévoient que la responsabilité du conducteur en cas d'accident peut être retenue. En effet, le risque d'accident est augmenté même avec un téléphone mains libres car une partie importante de l'attention du conducteur est captée par la conversation téléphonique. Ainsi, par exemple, il regarde moins dans son rétroviseur et sur les côtés, il fait moins attention aux différents signaux et aux piétons particulièrement en ville, etc.

## *Chapitre 02 : Comportements du conducteur dans le système de conduite*

---

### **2.6.10 Les situations combinant plusieurs facteurs de risque**

Dans la plupart des cas, les accidents de la circulation combinent plusieurs facteurs de risque : le manque de sommeil, la durée du voyage, la monotonie, les périodes physiologiques de somnolence, les mauvaises conditions environnementales - comme une mauvaise visibilité -, l'utilisation de substances psychoactives ou de médicaments. Certaines sous-populations sont plus touchées par l'accumulation de ces facteurs de risques et donc par le risque d'accident de la circulation : ce sont les conducteurs professionnels et les jeunes conducteurs [92].

### **2.7 Conclusion**

Les faits et chiffres évoqués dans ce chapitre concluent que parmi tous les facteurs à l'origine des accidents de la route, il est indéniable que le comportement humain joue un rôle majeur. À cet égard, la vitesse et le manque de vigilance sont parmi les causes humaines les plus fréquentes dans les accidents de la route. Cette dernière cause sera étudiée en détail dans le chapitre suivant.

---

***Chapitre 03 : Un état de  
l'art sur l'influence de  
la fatigue et de la  
sommolence sur le  
comportement du  
conducteur***

---

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

### **3.1 Introduction**

Les défis auxquels est confrontée la sécurité du conducteur automobile sont multiples et les solutions proposées ne sont pas moins nombreuses. Le problème de somnolence au volant est considéré comme un défi très important puisqu'à cet état sur une autoroute, cela peut causer certainement un accident mortel (30 % des accidents).

De plus, il est difficile d'estimer l'état d'un conducteur juste avant un accident, ce qui complique la collecte de données objectives. Ainsi, la proportion d'accidents liés à la somnolence est-elle fréquemment sous-estimée : d'une part, en raison de l'incapacité du conducteur à se rappeler de la période précédant immédiatement la collision, d'autre part, en raison de l'impossibilité de réaliser des mesures objectives au moment de l'accident pour attribuer cet accident à la somnolence.

De ce fait, le développement de nouveaux protocoles de détection de la somnolence au volant s'avère indispensable. Pour cela, plusieurs études ont été rapportées sur la détection de la somnolence du conducteur en utilisant différentes méthodes, protocoles et techniques. Ce chapitre sera consacré à la présentation et à l'étude critique de certaines recherches récemment proposées sur l'axe de détection de somnolence au volant trouvées dans la littérature.

### **3.2 Définition de la fatigue et de la somnolence au volant**

La fatigue et la somnolence au volant sont des préoccupations majeures en matière de sécurité routière. Dans la littérature, différentes définitions de somnolence et fatigue coexistent et parfois, ces deux termes sont confondus. Il n'y a vraiment pas de différence claire entre les deux, car la somnolence favorise la fatigue et vice-versa [93].

La fatigue réfère à une réticence progressive à l'effort en raison de l'usure qui s'accumule dans le temps suite à l'accomplissement de tâches. Elle a pour conséquence de réduire l'efficacité dans l'exécution de la tâche [94–96]. La fatigue peut être de type physique (ex : après une séance de sport ou du travail intensif), mais aussi de type psychologique (après une activité intellectuellement, mentalement ou psychologiquement exigeante). Il en résulte une difficulté à continuer une tâche ou un manque d'énergie pour entamer une activité [97].

La somnolence fait référence à la difficulté à rester éveillé même lors de l'exécution d'activités. Elle a été liée au processus biologique de l'éveil et du sommeil, qui sont associés aux rythmes circadiens [97, 98]. Donc, elle n'est pas liée directement à l'achèvement d'une tâche. Au cours d'un cycle de 24 heures, le corps humain montre une plus grande tendance à dormir à certains moments qu'à d'autres. C'est surtout pendant la nuit, entre minuit et 6 h du matin, où le corps humain passe naturellement au sommeil ce qui entraîne une moindre vigilance. Une deuxième période de baisse de vigilance s'est produite environ 12 heures plus tard, entre 14 h et 16 h, avant le renouvellement de l'éveil en fin d'après-midi [99]. Au cours de ces périodes, la somnolence survient lorsque le besoin naturel de sommeil du corps n'est pas satisfait. Bien que répondant à des logiques différentes, la somnolence et la fatigue sont

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

couramment traitées ensemble dans plusieurs études, car leurs conséquences (diminution de la capacité d'agir, de la volonté et de la vigilance) sont similaires. La fatigue et la somnolence peuvent également coexister chez une même personne.

### **3.3 Prévalence**

La fatigue n'est pas une condition facilement observable, il est donc très difficile de mesurer directement la prévalence de la fatigue au volant. Il s'agit d'un phénomène vaste et complexe dont les symptômes physiques vont varier d'une personne à l'autre. Ainsi, pour estimer la prévalence de la fatigue au volant, la plupart des études internationales interrogent les conducteurs en leur demandant d'indiquer à quelle fréquence ils se sentent fatigués au volant pendant une période donnée.

Selon ces différentes études basées sur des questionnaires, la fatigue au volant est un phénomène commun qui touche tous les pays. D'après une enquête européenne SARTRE, menée dans 18 pays européens en 2010, un quart des conducteurs (26,3 %) admettent avoir conduit fatigué au cours de l'année écoulée [100]. Une étude basée sur une enquête menée en 2010 portant sur plus de 2 000 conducteurs néerlandais [101] a montré que 55 % des conducteurs ont ressenti une légère fatigue au moins une fois en conduisant au cours des 12 derniers mois. De plus, un conducteur sur quatre s'est senti fatigué au moins une fois au point qu'il a eu du mal à garder les yeux ouverts et 4 % se sont endormis en conduisant. Une autre étude basée sur des questionnaires téléphoniques auprès de 2 000 conducteurs américains a révélé que 11 % des répondants avaient brièvement dormi au volant [102]. Ce comportement à risque attire les conducteurs les plus jeunes (âgés de 16 à 24 ans). Voici d'autres exemples d'études utilisant des méthodes similaires [103–106].

Bien que ces études donnent une idée générale de la gravité du problème de somnolence au volant, mais ne permettent pas un calcul précis de la prévalence s'il n'y a pas d'estimation du nombre de kilomètres parcourus par les répondants au cours de la période couverte par l'étude.

Il existe d'autres types d'études. Connor et al. (2001), en Nouvelle-Zélande, ont interrogé 588 conducteurs sélectionnés à partir d'un échantillonnage en bord de route dans le cadre d'une étude sur le risque d'accident associé à la fatigue au volant [107]. Hermann et al. (2014) ont utilisé une approche similaire pour 752 automobilistes [108]. Dans les deux recherches, environ 15 % des conducteurs ont déclaré qu'ils n'étaient pas totalement alertes. Cela ne signifie pas nécessairement que les 15 % des conducteurs étaient dans un état de somnolence. Herman et al, ont constaté que seulement 0,1 % des automobilistes ont déclaré avoir de la difficulté à rester éveillé et 0,9 % ont déclaré se sentir fatigués et souhaiter pouvoir aller se coucher [108].

Une étude comportementale récente en Belgique a estimé la prévalence de la somnolence à 4,8 % [109]. Les jeunes conducteurs, qui conduisent la nuit, boivent de l'alcool ou parcourent de longues distances sont les plus vulnérables par la somnolence au volant. Enfin, une autre façon d'évaluer la prévalence de la somnolence consiste à utiliser des études de « conduite en état naturel », sont un type d'étude récemment développé qui observent le comportement naturel

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

des usagers de la route lors d'un trajet habituel grâce à des dispositifs installés dans leur propre voiture. Klauer et al. (2006) ont étudié la fatigue du conducteur sur la base d'une étude de conduite naturaliste de 100 voitures « 100-Car Naturalistic Driving Study » [110]. 14 observateurs indépendants ont évalué le niveau de somnolence chez 241 automobilistes à partir d'un total de 20 000 vidéos de 6 secondes sélectionnés au hasard. Ils ont conclu que la prévalence de la somnolence était de 2 % [111].

### **3.4 Lien avec l'insécurité routière**

#### **3.4.1 Influences sur le comportement au volant**

Diverses études ont examiné l'effet de la fatigue sur le comportement au volant. Selon eux, la fatigue au volant entraîne des effets négatifs sur le comportement dans le trafic routier, tels qu'une diminution de la concentration, un temps de réaction plus lent, un mauvais traitement de l'information et de mauvaises performances [112, 113]. Selon une étude, les performances de conduite d'un conducteur qui n'a pas dormi pendant 17–19 h sont pires qu'un conducteur avec un taux de 0,5 g/L ce qui est la limite légale dans la plupart des pays européens [114]. une étude de Dawson & Reid 1997, ont montré que la capacité de conduire diminue après 16 h sans dormir et que conduire sans dormir après 21 h équivaut à une conduite en état d'ébriété à un taux de 0,8 g/L (0,4 mg/L d'air),, c'est le seuil légal pour US, Canada et Angleterre [115].

#### **3.4.2 Les conséquences en termes d'accident**

Comme signalé par Diependaele (2015), mesurer la prévalence de la fatigue et de la somnolence du conducteur et son rôle dans les accidents n'est pas évident. La raison principale est qu'il n'existe pas de protocole de mesure fiable [109]. En effet, d'une part, il est très difficile d'évaluer la fatigue du conducteur en se basant uniquement sur des caractéristiques physiques (surtout après un accident), et d'autre part, lorsque les conducteurs accidentés sont interrogés, ils rapportent rarement s'être endormis au volant soit parce qu'ils ne s'en rendent pas compte, soit parce qu'ils ne le veulent pas. Par conséquent, les rapports d'accidents ont tendance à être inexacts en ce qui concerne ce facteur et il existe peu d'informations sur l'implication de la fatigue au volant. Cependant, les conducteurs fatigués sont certainement plus susceptibles d'être impliqués dans des accidents que les conducteurs alertes. Les données de l'étude « 100 Car Naturalistic Driving study » montrent que la fatigue au volant peut multiplier par quatre le risque d'accident ou de quasi-accident [110].

De même, Connor et al. (2002) ont constaté que les conducteurs ayant déclaré s'être sentis fatigués lors d'un trajet précédent étaient plus des 8 fois plus susceptibles d'être impliqués dans un accident corporel que les conducteurs vigilants. Les conducteurs qui ont déclaré 5h ou moins de sommeil au cours les dernières 24 h et ceux qui ont conduit entre 2 et 5 heures du matin avaient également un risque de collision 2,7 et 5,6 fois plus élevé, respectivement [116].

Harman et al. (2014) sont parvenus à une conclusion similaire. Ils ont constaté que le risque d'accident corporel était près de six fois plus élevé pour les conducteurs qui déclaraient ne pas être suffisamment alertes, se sentaient fatigués ou avaient des difficultés à rester éveillés.

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

Dans cette étude, au moins un tiers des accidents corporels ont été causés par la fatigue au volant [108].

De plus, les accidents dans lesquels les conducteurs s'assoupissent ont souvent des conséquences graves [117]. En fait, étant donné que la somnolence et la fatigue altèrent les réflexes du conducteur, les collisions induites à la fatigue sont plus susceptibles d'impliquer des véhicules dont les conducteurs n'ont pas freiné ou freiné peu de temps avant l'impact, ce qui aggrave les conséquences de ces collisions. Des estimations scientifiques basées sur une analyse approfondie des accidents de la route suggèrent que 10 à 15 % des accidents sont liés à la fatigue [97].

Un livre blanc sur la somnolence au volant publié en 2013 a estimé que la somnolence est associée à environ 20 à 25 % des accidents de la circulation en Europe [118]. Horne et Reyner (1995) ont estimé que la proportion d'accidents liés à la fatigue dans tous les accidents de véhicules au Royaume-Uni était de 20 % sur les autoroutes et de 16 % sur les routes urbaines [119]. Une étude récente des mêmes auteurs a confirmé que les accidents liés à la fatigue sont plus fréquents sur les autoroutes en raison d'un manque de stimuli et d'un environnement de conduite monotone [120]. Une autre recherche en Europe de plus de 600 accidents des camions, a montré que la fatigue était la cause principale dans 6 % des accidents analysés, dont 37 % mortels [121].

En outre, une analyse approfondie de 125 accidents corporels des bus ou des camions en Belgique, a révélé que la fatigue était la principale cause de 10 % des accidents [122]. Les statistiques d'accidentologie de 2013 montrent également que 15,1 % des accidents impliquaient un seul usager contre un obstacle situé à l'extérieur de la route. On peut soupçonner que la fatigue a joué un rôle dans bon nombre de ces accidents.

En conclusion, bien que les nombres exacts de la proportion des accidents dus à la fatigue varient, on constate néanmoins que ce problème est à l'origine d'un grand nombre d'accidents. La fatigue augmente considérablement le risque et la gravité d'un accident, surtout lorsque la fatigue au volant est associée à d'autres facteurs de risque, comme la prise de médicaments.

### **3.4.3 Groupes à risques au volant**

Les accidents liés à la fatigue au volant sont relativement fréquents chez certains groupes de conducteurs [123], ils comprennent les conducteurs de moins de 25 ans, de ceux qui conduisent la nuit, de ceux souffrant de troubles du sommeil, de ceux qui parcourent de longues distances, des conducteurs professionnels et des chauffeurs travaillant en équipes.

#### ***3.4.3.1 Jeunes conducteurs***

Les jeunes conducteurs conduisent souvent leur voiture en état de fatigue, car d'une part ils ont besoin de plus de sommeil et d'autre part ils ne dorment pas assez à cause de facteurs liés à leur mode de vie. Les jeunes ont besoin de plus d'heures de sommeil comparativement aux adultes, mais leurs vies occupées les empêchent de dormir suffisamment [123]. Les conducteurs de moins de 30 ans sont plus susceptibles que les conducteurs plus âgés d'être impliqués dans

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

des accidents liés à la fatigue [119, 124].Récemment, Reyner, Filtness & Horne (2011) ont remis l'accent sur le risque de fatigue chez les jeunes conducteurs, en arguant que les effets de la fatigue mettent plus de temps à apparaître chez les conducteurs plus âgés et qu'ils souffraient donc moins des altérations de conduite dues à la fatigue [125].

### ***3.4.3.2 Conducteurs routiers de poids lourds***

Le Conseil européen de la sécurité des transports (ETSC) a constaté que la fatigue affecte davantage les conducteurs de poids lourds que les conducteurs de véhicules légers. Selon la même source, la fatigue est la principale cause d'environ 20 % des accidents de transport commercial, une étude américaine met également en évidence le rôle de la fatigue dans les accidents impliquant des véhicules des poids lourds [126].Une enquête menée auprès de chauffeurs de poids lourds dans l'État de New York, aux États-Unis, a révélé que près de la moitié des chauffeurs de camion s'étaient endormis au volant et que 25 % s'étaient endormis au volant au cours de la dernière année [126].La fatigue chez les conducteurs de poids lourds peut être chronique due à l'accumulation de facteurs de risque.

Dans une étude menée auprès des conducteurs de poids lourds néerlandais [127] a identifié les éléments suivants comme les principaux facteurs de risque à l'origine de la fatigue : le manque d'opportunités de développement personnel au travail, le fait que le travail ,en particulier les longues périodes de travail exercent une forte pression sur la vie personnelle - vice-versa-, le fait d'avoir des enfants, des habitudes de vie malsaines (tabagisme, ne pas manger assez de légumes et ne pas prendre le temps pour manger), des troubles du sommeil, la prise de médicaments, des problèmes de santé.

### ***3.4.3.3 Personnes atteintes de troubles du sommeil***

Comme mentionné au paragraphe 3.5.4, il existe divers troubles du sommeil qui empêchent les conducteurs de bien se reposer la nuit, ce qui les rend fatigués pendant la journée.

### ***3.4.3.4 Chauffeurs travaillant en équipes***

En Europe, presque une personne sur cinq travaille en équipe ou à des horaires irréguliers [92]. Les troubles du sommeil dus au travail posté touchent 2 à 5 % de la population [92]. La fatigue et la somnolence au volant affectent les travailleurs après un service de nuit ou les changements de poste de travail [128].Le risque de quasi-accidents et d'accident augmente également lors du changement de longs services. Le risque de somnolence au volant augmente proportionnellement au nombre de longs services effectués par mois [128].

## **3.5 Causes de la fatigue du conducteur**

### **3.5.1 Liens avec la somnolence diurne**

Avant d'aborder les raisons de la fatigue du conducteur au volant, il convient de noter qu'elle s'inscrit souvent dans un contexte global de fatigue en général. De nombreuses études montrent que les personnes présentant un risque élevé de somnolence diurne sont également à risque de fatigue au volant. Ainsi, d'Epworth l'échelle de somnolence, qui utilise un court

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

questionnaire pour mesurer la somnolence diurne, se révèle souvent être un bon prédicteur de la somnolence du conducteur au volant.

Une étude basée sur un questionnaire menée par Goldenbeld a montré que la variable la plus proche de l'endormissement au volant était le score sur l'échelle d'Epworth. Pour les conducteurs qui ont déclaré avoir une petite chance de s'endormir dans des situations de tous les jours, avaient un score de risque de sommeil 4,5 plus élevé que les conducteurs qui ont déclaré n'avoir eu aucune chance de s'assoupir pendant la journée [101]. Une étude britannique a également révélé que la tendance à s'endormir pendant la journée (telle que mesurée par l'échelle d'Epworth) était un prédicteur significatif de l'endormissement au volant.

Une étude menée auprès d'automobilistes et de camionneurs britanniques [129] a révélé que le risque relatif qu'un conducteur s'assoupisse sur le volant augmente en fonction du score sur l'échelle d'Epworth, avec un kilométrage plus élevé parcouru chaque année, au plus on conduit sans faire de pause, au plus on conduit sur autoroutes, au moins on conduit en agglomération et au plus on est jeune.

### **3.5.2 Principaux facteurs**

Comprendre les causes de la fatigue du conducteur au volant peut aider à combattre la fatigue dans la circulation. Il existe 5 principales causes de fatigue [130]

- Privation de sommeil ;
- Temps consacré aux activités ;
- Biorythme ;
- Caractéristiques personnelles ;
- Activité monotone.

#### ***3.5.2.1 Temps consacré aux activités ou au travail***

L'une des causes éventuelles de la fatigue est le temps consacré à une certaine tâche (time-on-task). Lors de la conduite automobile, la plupart des conducteurs ressentent les premiers symptômes de la fatigue physique après environ 2 ou 3 heures de conduite consécutives.[131]

#### ***3.5.2.2 La privation de sommeil***

Stutts et al. (2003) ont rapporté que les conducteurs qui dormaient en moyenne moins de 5 heures par nuit étaient six fois plus susceptibles d'être impliqués dans un accident dû à la fatigue que ceux qui dormaient en moyenne 8 heures ou plus [132].

La privation de sommeil peut être chronique ou aiguë [97]. La privation chronique de sommeil est le résultat d'un manque de sommeil pendant une longue période. En moyenne, un être humain a besoin de 7 à 8 heures de sommeil par jour (24 h) chez l'adulte. Outre la quantité de sommeil, sa qualité est également importante. Lorsque le sommeil est régulièrement agité, ces troubles peuvent, tout comme en cas de la privation de sommeil, entraîner à une privation chronique de sommeil. La qualité du sommeil est significativement affectée par les

## **Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur**

perturbations du sommeil - comme l'apnée du sommeil (arrêt temporaire de la respiration durant le sommeil) et la narcolepsie (un endormissement spontané et involontaire) -, ainsi que par des facteurs externes, tels qu'un environnement de sommeil inconfortable ou bruyant. Les maladies chroniques et/ou les médicaments peuvent également contribuer à la mauvaise qualité du sommeil nocturne [97].

La privation aiguë de sommeil est causée par le fait que l'on dort trop peu mais de manière moins structurée qu'en cas de privation chronique de sommeil. On parle déjà de privation de sommeil aigu après une courte ou mauvaise nuit. Lorsqu'on dort trop peu durant une période de 24 h, on parle de privation aiguë partielle de sommeil. On parle de privation de sommeil totalement aigu lorsqu'on n'a pas du tout dormi durant une période de 24h [97].

### **3.5.2.3 Biorythme**

Comme mentionné précédemment dans la section 3.2, la somnolence peut survenir même sans aucune privation de sommeil. Cette forme de fatigue coïncide souvent avec les cycles de sommeil quotidiens ou les rythmes biologiques [99]. Cela signifie que pendant le cycle de 24 heures, le corps humain a besoin de plus de sommeil à certains moments qu'à d'autres. C'est particulièrement le cas tôt le matin (entre 00 h et 6 h Am) et moins le cas environ entre 14h et 16h (soit 12 heures plus tard). A ces moments-là, une tendance naturelle au sommeil apparaît et si on ne peut répondre à ce besoin (par exemple parce que l'on travaille de nuit) une sensation de somnolence se développe.

Ainsi, l'analyse des incidents dus à la baisse de vigilance révèle qu'il existe deux pics d'incidents. Le premier se situe entre 13h00 et 15h00 et le second, beaucoup plus intéressant, se situe aux alentours 2h00 Am.

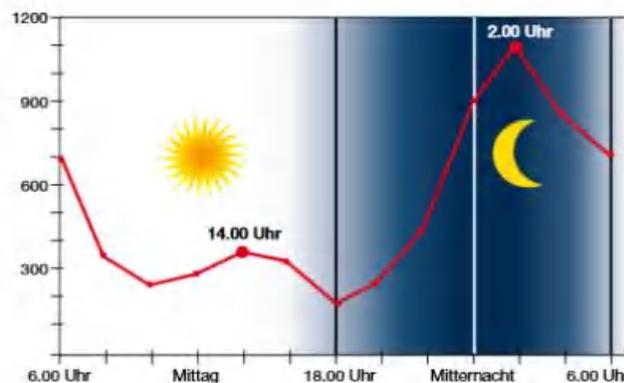


Figure 3. 1 :Le nombre d'accidents liés à la fatigue en fonction du temps [133]

### **3.5.2.4 Activité monotone**

Faire d'activités monotones peut entraîner de la fatigue. Les tâches sont monotones quand elles manquent de stimulation, quand les changements sont trop prévisibles ou souvent répétés

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

[123]. Conduire sur une autoroute avec peu de trafic et peu de changements environnementaux est un exemple de tâche monotone. Des études expérimentales ont également montré que des tâches de conduite monotones entraînent de mauvaises performances de conduite après un certain temps [123].

### ***3.5.2.5 Caractéristiques personnelles***

Bien que les caractéristiques personnelles telles que l'état de santé, l'âge, les médicaments, la consommation de drogues ou d'alcool puissent affecter la sensibilité à la fatigue et la façon d'y résister. Les personnes âgées (plus de 70 ans) et les personnes en mauvaise condition physique se fatiguent facilement. Les adolescents ont souvent davantage besoin de plus d'heures de sommeil alors qu'ils dorment très peu, cette privation de sommeil et la consommation de drogues et d'alcool les rendent encore plus vulnérables aux effets de la fatigue et de la somnolence.

### **3.5.3 Conditions médicales**

L'épuisement physique et/ou mental peut être le résultat de diverses causes médicales. Smolenski et al. (2011) mentionne spécifiquement les causes médicales suivantes : asthme, allergie, dépression, anémie, syndrome de fatigue chronique, diabète, maladie pulmonaire obstructive chronique (COPD), cancer, maladie cardiaque, sclérose multiple, migraine, maladie de Parkinson, troubles rénaux, pathologie au niveau de la glande thyroïde. Dans les prochaines lignes, nous expliquons brièvement certains troubles du sommeil pouvant entraîner une fatigue diurne [134].

Le trouble du sommeil le plus largement répandu à travers le monde est l'insomnie, qui provoque de la somnolence et de la fatigue diurne. Selon Penzel et al. (2013), cette pathologie est présente chez 20 à 30 % de la population adulte [92]. Dans le même contexte, des études aux États-Unis montrent que 10 à 20 % des adultes de ce pays souffrent de symptômes d'insomnie chronique [135]. Le syndrome d'apnées-hypopnées obstructives du sommeil (SAHOS) e caractérise par des pauses respiratoires anormales durant le sommeil [92]. Chez un patient apnéique, la respiration peut être interrompue jusqu'à 60 fois/h et peut parfois s'arrêter jusqu'à 2 minutes. L'apnée du sommeil provoqué une fatigue pendant la journée et affecte les adultes : environ 2-5 % des femmes et 3-7 % des hommes [92]. Ce trouble du sommeil est plus fréquent chez les personnes âgées et les personnes en surpoids, par exemple, 3 à 5 % de la population belge, soit environ 600 000 personnes en 2018, souffrent de SAHOS [136].

D'autres études aux Suède et en Australie ont rapporté des taux encore plus élevés : 17 % à 12 % des conducteurs professionnels souffriraient du syndrome (SAHOS) [137–140]. Comme rapporté par Ellen et al. (2006), les automobilistes souffrant d'apnée du sommeil étaient deux à trois fois plus susceptibles d'être impliqués dans un accident de la route que les automobilistes sans ce trouble du sommeil. Il est étonnant que la grande majorité des personnes souffrant un syndrome d'apnée du sommeil ne le savent même pas qu'ils sont atteints de ce trouble. D'après une vaste étude sur la santé de plus de 4 000 travailleurs, quatre personnes sur cinq souffrants d'apnée du sommeil ignoraient leur état [141]. D'après certaines estimations qu'environ 80 %

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

des patients souffrant de SAHOS ne sont pas conscients de leur état, ou ne demandent pas de diagnostic [142, 143].

La narcolepsie est un trouble du sommeil rare. Les patients atteints de narcolepsie éprouvent un pic de fatigue et s'endorment souvent à des moments et à des endroits inappropriés de la journée [92]. Ce trouble du sommeil touche moins 0.07 % de la population adulte [92].

### **3.5.4 Effet des médicaments et des drogues**

La fatigue peut également être l'une des conséquences de la consommation de médicaments ou de drogues. D'une part, ce dernier peut rendre l'automobiliste se sentir tout mou (par exemple le cannabis) et, d'autre part, provoque indirectement l'effet "gueule de bois". Le cannabis a pour effet que le consommateur se sent euphoriques, détendus ou calmes. Les temps de réaction augmentent, la coordination s'affaiblit et la mémoire se détériore. Par conséquent, les tâches de conduite complexes qui nécessitent de répartir l'attention sur plusieurs tâches, sont moins bien réalisées [144]. Alors que le consommateur de cannabis peut-être ne se sentir pas "fatigués", mais cette drogue peut directement provoquer à des sentiments de fatigue "diminution de la vigilance".

Lors de la prise de drogues telles que les amphétamines ou la cocaïne, a baisse des capacités de conduite ne semble pas être due aux effets stimulants directs de ces drogues sur le comportement du conducteur, mais plutôt de l'effet de "gueule de bois", à savoir les sentiments de l'épuisement et de fatigue surviennent après que la drogue a agi [145].

Divers types de médicaments peuvent causer de la fatigue et somnolence comme effet secondaire. Il s'agit souvent d'une fatigue chronique causée par la prise de médicaments durant une longue période. Neel (2012) discute des benzodiazépines, de l'hypertension artérielle, des antidépresseurs, du cholestérol, des médicaments contre l'allergie, des antibiotiques et des antipsychotiques [146]. Un tiers des consommateurs de benzodiazépines en Belgique se sont plaints de somnolence comme effet secondaire [147].

Dans une étude basée sur un questionnaire menée dans quatre pays (Allemagne Belgique, Espagne, et Pays-Bas), a montré que les consommateurs des drogues et des médicaments dangereux pour les conducteurs (antihistaminiques de première génération, benzodiazépines, antidépresseurs) avaient une connaissance limitée des effets des médicaments sur la capacité de conduire [148]. Cette connaissance était limitée dans tous les pays. Plus de 60 % des répondants belges ont même affirmé qu'ils n'avaient pas été informés par le médecin des dangers que représentent les médicaments au volant. La majorité des patients n'a pas changé sa fréquence de participation au trafic ou l'heure de prise de médicaments pour compenser le risque accru et participer au trafic de manière plus sûre [148].

## Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur

### 3.6 Les signes de fatigue

- Démangeaisons sur tout le corps ;
- Clignement excessif des paupières ;
- Picotements des yeux ;
- Besoin de changer fréquemment de position ;
- Impression d'être serré dans ses vêtements ;
- Brefs passages à vide de la conscience ;
- Regard fixe et difficultés de concentration ;
- Maux de tête ;
- Courbatures ;
- Difficultés à maintenir la trajectoire et une vitesse constante.



Figure 3. 2 : les signes de fatigue et de somnolence

### 3.7 Les effets de la fatigue sur le comportement du conducteur

- Augmente le temps de réaction ;
- Diminue l'acuité visuelle et la vision latérale ;
- Provoque une mauvaise coordination des mouvements ;
- Diminue l'appréciation des vitesses ;
- Rend le conducteur nerveux et anxieux ;
- Entraîne une somnolence qui peut conduire à l'endormissement.

### 3.8 Stratégies contre la somnolence au volant

Quand les conducteurs se sentent fatigués au volant, il existe peu de solutions vraiment efficaces s'offrent à lui pour lutter contre cet état. La solution la plus efficace contre la somnolence au volant est de s'arrêter la voiture et de faire une sieste de quelques minutes. De plus, la littérature scientifique offre peu d'indications sur le temps idéal d'une sieste. L'effet de repos non accompagnées d'une sieste est plus discuté dans la littérature.

La consommation de caféine (dans un café, une boisson énergisante, un verre de cola ou un thé) a aussi des effets sur la vigilance, la prise de décision, le temps de réaction au volant,

## ***Chapitre 03 : Un état de l'art sur l'influence de la fatigue et de la somnolence sur le comportement du conducteur***

---

ce qui est intéressant pour lutter contre les conséquences négatives de la fatigue du conducteur [149]. Certaines études récentes ont également confirmé les effets positifs des boissons énergisantes sur la performance de conduite en termes de réduction des déviations de ligne de voie, de réduction des variations de vitesse et de réduction des situations de conduite dangereuses [150, 151]. Cependant, ces effets bien que statistiquement significatifs, sont encore assez faibles, de sorte que la consommation de caféine seule ne peut être recommandée comme seule stratégie pour lutter contre la somnolence au volant.

L'ouverture des fenêtres pour prendre l'air frais n'a que peu ou pas d'effet sur la somnolence au volant [152]. Aussi, allumer la radio ne provoque qu'un effet très modeste et de courte durée.

Plusieurs autres études effectuées sur les stratégies utilisées par les automobilistes pour combattre contre la fatigue et la somnolence au volant mettent toutefois en évidence que des stratégies reconnues comme peu ou pas efficaces comme discuter avec un passager, allumer la radio ou l'ouverture d'une fenêtre, sont pourtant souvent utilisées. En revanche, les conducteurs semblent moins souvent avoir recours aux stratégies les plus efficaces comme s'arrêter pour une sieste [101, 153–157]. De plus, Gershon et al. (2011) ont par ailleurs montré que les automobilistes non-professionnels préféreraient les stratégies dans leurs véhicules, c'est-à-dire les solutions qui n'impliquent pas de mesures inhabituelles/spéciales avant ou durant la conduite [153].

### **3.9 Conclusion**

Ce chapitre a été essentiellement consacré à rappeler la problématique générale de l'hypovigilance du conducteur automobile et à faire le point sur l'état des connaissances à la suite des nombreux travaux menés depuis une vingtaine d'années

Dans les différents travaux que nous avons passés en revue, plusieurs problèmes ont été soulevés, le principal étant la difficulté de proposer une définition précise de la somnolence et de ses caractéristiques. De plus, la somnolence se manifeste de façon différente et multiple selon les personnes, ce qui rend plus difficile l'identification d'une référence commune pour détecter ce phénomène.

Ce que l'on peut conclure ici, c'est que plusieurs approches sont possibles pour détecter l'hypovigilance, soit par la voie de l'analyse des mesures comportementales telles que la vitesse ou la position du véhicule dans la voie, soit par la voie des caractérisations directes ou indirectes de l'état physiologique de l'individu, telles que les clignements des yeux.

Par conséquent, nous avons convenu qu'il est nécessaire d'identifier de nouveaux outils d'analyse des signaux physiologiques qui soient pratiques et efficaces. Pour cela, le chapitre suivant sera consacré à une description détaillée des équipements et des méthodes de mesure du comportement du conducteur.

---

***Chapitre 04 : Matériel et  
méthodes pour mesurer  
le comportement du  
conducteur***

---

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

### **4.1 Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons explorer la plupart des matériels et méthodes qui ont été utilisés dans la littérature précédente sur le sujet de comportement des conducteurs. Où nous commencerons par une longue explication sur le simulateur de conduite, puis nous passerons aux méthodes statistiques que nous utiliserons dans notre prochaine contribution, et nous terminerons en mettant l'accent sur les méthodes objectives et subjectives utilisées pour étudier le comportement des conducteurs somnolents.

### **4.2 La simulation de conduite**

#### **4.2.1 Généralités**

Les simulateurs de conduite sont des outils qui se sont révélés efficaces dans l'étude des systèmes d'aides à la conduite et, en particulier, en ce qui concerne le comportement du conducteur. Compte tenu du risque pour la sécurité et la difficulté de simuler des situations critiques dans la vie réelle, une grande partie des recherches dans ce domaine a été menée à l'aide des simulateurs de conduite. Dans ce contexte de réalité virtuelle, différents scénarios (autoroute, brouillard, densité du trafic, etc.) peuvent facilement être créés et des situations de collisions peuvent être simulées sans aucun risque pour les conducteurs. De plus, le même type de mesures comportementales que celles obtenues dans des conditions réelles de conduite peuvent être recueillies avec les simulateurs de conduite (par exemple, le temps de réaction au freinage, l'angle du volant ou la vitesse). Reste à savoir si les comportements observés dans des conditions de conduite de la vie réelle se trouvent reflétés dans les études sur simulateurs de conduite. Cette question introduit les concepts de validité absolue et relative [158]. Le premier implique une correspondance presque parfaite entre les mesures obtenues en conduite réelle et simulée (par exemple, même vitesse). Le deuxième implique que les performances observées dans les deux contextes vont dans la même direction même si elles ne sont pas du même ordre de grandeur. Il semble que la validité relative soit suffisante pour justifier l'usage des simulateurs[159] . Plusieurs études ont confirmé cette idée en observant des correspondances entre les comportements observés dans différents types de simulateurs et en conduite réelle[159, 160] .Cependant, même si les simulateurs de conduite peuvent être un outil efficace pour étudier le comportement des conducteurs, la sensation de risque dans cet environnement virtuel reste une notion assez distante de la réalité.

#### **4.2.2 Historique des simulateurs de conduite**

Le premier simulateur de conduite fut construit par Volkswagen (dans les années 1970) et l'institut de recherche suédois sur la route et le trafic (VTI). Ce simulateur comportait seulement 3 degrés de liberté.

Mazda conçut un simulateur à 4 (DOF) en 1985, ce fut Daimler-Benz qui sortit la même année un simulateur de conduite à 6 (DOF). Dans les années 90, de nombreux simulateurs à 6 (DOF) furent développés (Renault, Ford, Nissan...).

## Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur

De nombreux simulateurs de conduite pour les automobiles ou les camions furent développés durant le début du 21ème siècle (SimuSys, Mark III, TUTOR, Katech, SimCar, UoLDS, ...), d'autres ont été améliorés (FORD, VTI-III, BMW, MARS Renault ULTIMATE).

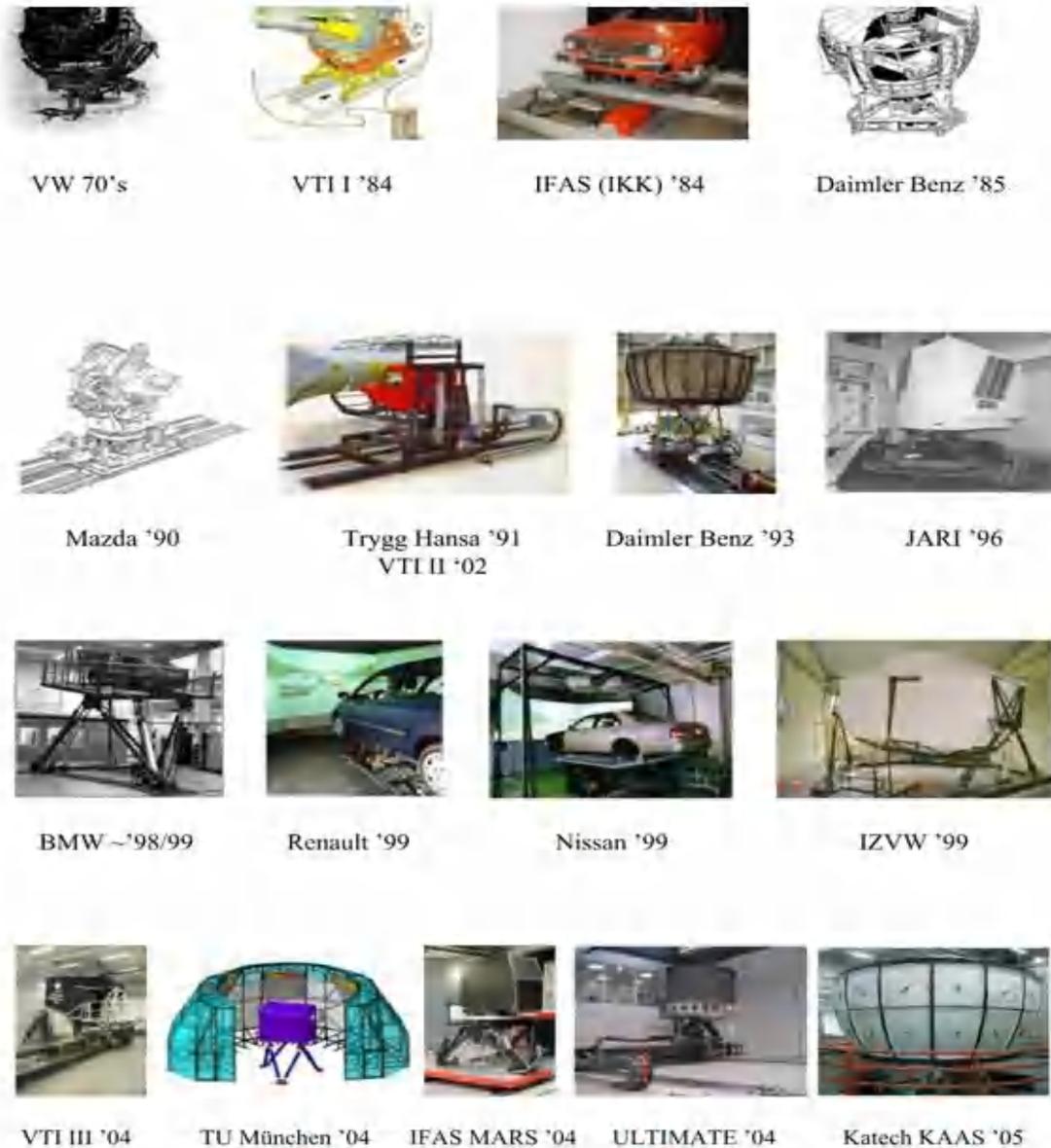


Figure 4. 1: Historique des simulateurs de conduite [161]

### 4.2.3 Avantages et applications des simulateurs de conduite

Par rapport à la conduite sur route, les simulateurs de conduite offrent trois avantages majeurs : (a) ils présentent un environnement sans danger pour le conducteur (ex. accidents virtuels) (b) une même expérience peut être répétée aussi souvent que nécessaire dans des conditions identiques (c) ils permettent une économie considérable. Ces avantages ont permis le développement des thèmes suivants :

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

### ***4.2.3.1 L'étude et l'amélioration de la sûreté***

Différents thèmes ont été abordés :

- Éviter les collisions et les crashes et développer des systèmes d'alerte face à un danger potentiel [162] ;
- Étudier les effets sur la performance de conduite (cette performance est mesurée par des indicateurs de la recherche visuelle, de la capacité de discrimination, de la prise de décision, de la vitesse de réaction, etc.) ;
- De la charge mentale (mental workload). Un phénomène caractéristique de la charge mentale est le phénomène de "période réfractaire psychologique" qui indique la difficulté de traiter simultanément deux tâches mentalement exigeantes. Typiquement il s'agit de faire des tests d'utilisation de gadgets électroniques pendant la conduite : systèmes embarqués, téléphones portables, systèmes d'alerte anticollision, etc. Par exemple, l'étude [163] , met en évidence, les effets de la charge mentale sur la taille des pupilles, le niveau de concentration visuelle, la fréquence d'inspection du rétroviseur ;
- Des conditions naturelles : la nuit, le brouillard, le climat, etc. ;
- Des paramètres humains : l'âge, le sexe, les handicaps, la fatigue, la somnolence, l'alcool ...etc. ;
- Déterminer l'impact de la conception de la route sur le conducteur ;
- Étudier la réhabilitation à la conduite des personnes victimes, entre autres, de traumatisme crânien, de blessures à la colonne vertébrale, de maladies des coronaires... ;

### ***4.2.3.2 La recherche***

La possibilité de reproduire identiquement les tests de conduite a permis l'élaboration de modèles cognitifs de l'homme. Nous citons par exemple la thèse [164] où un simulateur de conduite a été utilisé dans la construction d'un modèle de fusion multisensorielle (stimuli visuels, vestibulaires et proprioceptifs). D'autres sujets de recherche traitent de l'étude de la dynamique du véhicule, l'interface homme machine, les véhicules intelligents (autoroutes automatiques). Par rapport à des expériences réelles, la simulation présente l'avantage d'un coût réduit pour la mise en œuvre et la collecte des données.

### ***4.2.3.3 L'aide à la conception***

Les approches d'aide à la conception peuvent être séparées en deux familles. Dans la première, il s'agit de concevoir le véhicule (système d'éclairage, le tableau de bord, etc.). Dans la seconde, on traite de la conception des routes (position des signalisations, type d'éclairage dans les tunnels, esthétique, paysage). Par exemple, le choix des délimiteurs lumineux dans un tunnel au Japon, a été fait suite à une étude statistique réalisée sur un simulateur [165] .

### ***4.2.3.4 L'apprentissage***

Pour des raisons économiques, l'apprentissage sur un simulateur de conduite est essentiellement réservé à la conduite d'engins militaire et à la conduite des grands camions. Néanmoins, des simulateurs rudimentaires sont utilisés pour la conduite des véhicules classiques. Dans ce cas, l'objectif est plus une familiarisation avec l'environnement de conduite qu'un apprentissage à proprement parler. Dans l'avenir, les problèmes de congestion des routes

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

et le changement des standards de sécurité vont prendre une place plus importante. L'apprentissage de la conduite sur simulateur pourrait aussi acquérir plus de notoriété [166].

### ***4.2.3.5 L'importance des études sur le simulateur pour étudier les baisses de vigilance***

Les études sur simulateur ont apporté de nombreuses améliorations dans les connaissances relatives à l'hypovigilance des conducteurs. En effet, seule la conduite simulée permet de provoquer des épisodes d'hypovigilance, voire des endormissements sans qu'il y ait de risque pour le conducteur. Ces études permettent, dans des conditions parfaitement contrôlées et mesurables, d'améliorer la connaissance :

- De l'influence bénéfique ou négative des facteurs physiques ambiants (bruits, vibrations, température, hygrométrie, luminosité...),
- Des effets propres à certaines substances (alcool, tabac, café, médicaments, drogues...) et de leurs interactions possibles.
- De l'influence de certains facteurs situationnels (conduite de jour ou de nuit, privation de sommeil, fatigue physique ou mentale, motivation...).

### **4.2.4 Classification des simulateurs de conduite**

On rencontre dans la littérature au moins deux méthodes de classification des simulateurs de conduite : la classification par coût [167] et la classification par niveau de performance technologique[168].

Notre classification est principalement basée sur le potentiel mécanique du système de mouvement et prend en compte les différents types de simulateurs de conduite qu'on rencontre dans l'industrie et la recherche. On distingue :

#### ***4.2.4.1 Simulateurs statiques***

**1. Les simulateurs rudimentaires :** sans cabine de simulation et basés uniquement sur l'environnement de réalité virtuelle. C'est le cas des premiers simulateurs de conduite. Aujourd'hui, ce type de simulateurs est devenu populaire grâce au développement de jeux électroniques très performants en termes de réalisme. Ces simulateurs sont aussi utilisés dans les écoles et les universités dans un objectif éducatif.

Par exemple : De haut en bas : Le simulateur de conduite STISIM de l'Université du Dakota [169]; Simulateur de conduite sur PC avec commandes Microsoft Sidewinder[170]; Simulateur de Laboratoire de recherche Mitsubishi Electric [171] .

## Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur

---



Figure 4. 2 : Illustration de simulateurs de conduite « bas coût »

**2. Les simulateurs avec retour de vibrante.** L'ajout de vibrations au volant permet de meilleures sensations grâce à l'interaction entre la route et la voiture. Exemple : simulateur de LITE Université de Constantine (voir figure 5.1)

**3. Les simulateurs utilisant une cabine fixe.** Ce sont des simulateurs plus développés qui contiennent des véhicules entièrement instrumentés placés devant de grands écrans incurvés ou à facettes. On peut voir par exemple :

- Simulateur SIM2 d'institut Français l'IFSTTAR Il se compose d'un véhicule de type Citroën Xantia placé devant trois grands écrans avec un angle de vision de 150°[172, 173]



Figure 4. 3 : Le simulateur SIM2 de l'IFSTTAR

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

- Dans le simulateur de conduite Fraunhofer IAO, le conducteur est assis au volant d'un véhicule réel (Renault Scénic) avec un angle de vision de 180°. De plus, trois projections frontales simulent la vue dans les rétroviseurs intérieurs et extérieurs, donnant un champ de vision perçu proche de 360°. Pour augmenter encore le sens de la réalité, un système sonore reproduit spatialement tous les signaux acoustiques du véhicule et de l'environnement qui l'entoure. Le simulateur est également équipé d'un système de mouvement qui génère des vibrations du siège et du châssis et simule les mouvements saccadés provoqués par le freinage [174].



*Figure 4. 4: Le simulateur du Fraunhofer IAO*

- Le simulateur de conduite de l'université de Leeds Angleterre, composé d'un véhicule Rover 216 GTI et d'un écran cylindrique de 2,5 m qui affiche une scène graphique 3D en temps réel.[175]



*Figure 4. 5 : Le simulateur statique de l'université de Leeds*

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

### *4.2.4.2 Simulateurs dynamiques*

1. **Les simulateurs basés sur une plateforme de mouvement de type « Gough-Stewart ».** Nous les appellerons les simulateurs d'haute-fidélité. Ils sont non seulement les plus coûteux mais les plus exigeants en termes de mise en œuvre.



*Figure 4. 6 : un hexapode parallèle 6DdL (Gough-Stewart )*

Dans ce type de simulateur le cockpit est monté sur un hexapode Figure 4.6. Nous pouvons les classer en deux sous-catégories :

**(a). La base de l'hexapode est immobile.** C'est le système le plus répandu non seulement dans la simulation de conduite mais aussi pour la simulation de vol. La taille de ce robot est très variable dans le simulateur. Nous pouvons citer :

- Le simulateur de conduite SHERPA (Simulateur Hybride d'Etude et de Recherche Pour l'Automobile) de constructeur PSA Peugeot Citroën ,Il a été installé au Laboratoire LAMIH de l'université de Valenciennes en septembre 1997,Le simulateur se compose d'un véhicule (Peugeot 206) installé sur la plateforme Bosch Rexroth,et d'un 5 vidéoprojecteurs laser LCD WUXGA (Epson EB-L1100U) offrant un champ de vision de 240° avec 3 rétroviseurs.[176].



*Figure 4. 7 : Le simulateur SHERPA de LAMIH*

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

- Le Simulateur de conduite VERA (Virtual Environment for Road sAfety) du laboratoire de l'Université Naples (Italie) TEST. Il est constitué d'une demi-vraie véhicule de type Citroën C2 installé sur une plateforme à six Rexroth Hydraudyne capables de reproduire la plupart des accélérations ressenties par les vrais occupants de la voiture, en particulier celles résultant des manœuvres de virage et de freinage et de l'interaction dynamique entre le véhicule et les irrégularités de la route. Il a été placé devant trois écrans plats (3,00 m x 4,00 m) projetant un champ de vision de 180° avec des rétroviseurs arrière et latéraux remplacés par des moniteurs LCD de 6,5 pouces.[177].



Figure 4. 8 : Le simulateur VERA du laboratoire TEST [177]

- Le simulateur de conduite du centre CARRS-Q de l'université du Queensland Australie est constitué d'un véhicule Holden Commodore, huit ordinateurs, trois écrans, une plate-forme de mouvement à six degrés de liberté (6DOF) qui peut se déplacer et se tordre en trois dimensions. Il utilise le logiciel de studio AVSimulation SCANeR. [178].



Figure 4. 9 : Le simulateur de l'université du Queensland (Australie)

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

- Le simulateur de l'université de Kookmin Corée constitué (1) un système visuel à quatre canaux qui fournit des champs de vision avant et arrière de 140x40 et 50x40 degrés, (2) une plate-forme de mouvement électrique à 4 axes à réponse rapide (3) une cabine complète avec une charge de contrôle réaliste et une instrumentation complète, et (4) un équipement de mesure de la performance humaine comprenant un système de suivi de la tête et des yeux et un appareil de mesure du signal physiologique [179].



*Figure 4. 10 : Simulateur de conduite de l'Université Kookmin*

- Le simulateur de conduite dynamique du CTAG, est composé des sous-systèmes suivants : la plateforme de mouvement de 6 DOF et une charge utile de 4000 Kg, le système visuel (écran cylindrique de 180° et 3 écrans de vue arrière), les systèmes d'acquisition et de contrôle et le logiciel SCANeR© II (version 2.24), qui construit un environnement virtuel réaliste. Le véhicule instrumenté à l'intérieur de la cabine est un véhicule commercial. [180].



*Figure 4. 11 : Le simulateur de Centre technologique galicien de l'automobile, Espagne*

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

- Le simulateur avancé VIRTTEX de Ford, est un grand simulateur de conduite à base mobile à 6 degrés de liberté (DOF), peut accueillir des véhicules gros tel que des VUS pleine grandeur à l'intérieur d'un dôme de 24 pieds de diamètre. Trois projecteurs sont utilisés pour le champ de vision avant couvrant  $180^\circ \times 39^\circ$  et deux projecteurs arrière couvrant  $120^\circ \times 29^\circ$ . [181].



Figure 4. 12 : Le simulateur VIRTTEX de Ford

**(b). La base de l'hexapode est posée sur des rails.** Il s'agit aujourd'hui de la structure mécanique la plus avancée des simulateurs de conduite. On distingue deux familles : les simulateurs à rails unidirectionnelles (ex. rails latérales afin de simuler un changement de couloir) et les simulateurs avec des rails assurant un mouvement dans le plan, qu'on appelle rails X-Y.

### *b.1. Simulateurs dynamiques avec rail à une dimension :*

- Le simulateur de conduit MARS d'Institut d'Ingénierie Automobile et Génie Mécanique (Allemagne), est installé sur un système hexapode de trois vérins de commandé électriquement, et supporté sur un rail permettant un déplacement longitudinal jusqu'à 1,5 m avec une plage d'accélération allant jusqu'à  $7 \text{ m/s}^2$ . [182].



Figure 4. 13 : Le simulateur MARS de Allemagne

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

- Le simulateur de conduite VTI III de l'Institut national de recherche sur la route et les transports (Suède) se compose de trois projecteurs, cela donne au conducteur un champ de vision de 120 degrés avec trois écrans LCD sont utilisés pour simuler les rétroviseurs. La cabine possède la particularité d'être orientée à 90° afin de reproduire des mouvements longitudinaux ou latéraux à l'aide de rails de 7,5 m [183].



*Figure 4.14 : Le simulateur III du Suède*

- Le simulateur dynamique de Daimler (Allemagne), constitué d'un dôme contenant un véhicule et un écran cylindrique de 360°, monté sur une plateforme à six degrés de liberté et un rail permettant une amplitude de mouvement de 12 m [184]. La cabine s'oriente également de 90° afin d'utiliser le rail en longitudinal.



*Figure 4.15 : Le simulateur de Daimler (Allemagne)*

### ***b.2. Simulateurs dynamiques avec rails à deux dimensions :***

- Le simulateur dynamique de l'université de Leeds (Angleterre). Les rails permettent un déplacement de 5 m en longitudinal et en latéral.



*Figure 4.16 : Le simulateur de l'université de Leeds*

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

- Le simulateur de l'université de Tongji (Chine). Les rails permettent un déplacement de 20 m en longitudinal et de 5 m en latéral.



*Figure 4. 17 : Le simulateur de l'université de Tongji*

- Le simulateur NADS-1 de l'université d'Iowa (Etats-Unis) . Les rails permettent un déplacement de 19.5 m en longitudinal et en latéral [185]. La cabine embarque un écran cylindrique de 360°.



*Figure 4. 18 : Le simulateur NADS-1 de l'université d'Iowa*

- Le simulateur dynamique de Toyota. Les rails permettent un déplacement de 35 m en longitudinal et de 20 m en latéral



*Figure 4. 19 : Le simulateur de Toyota*

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

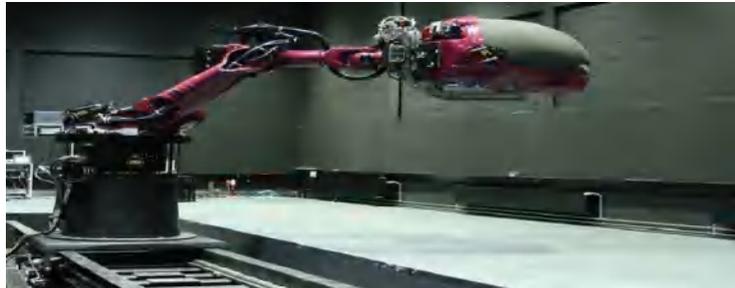
- Le simulateur Ultimate est constitué d'une cabine équipée d'une planche de bord de Renault Laguna complète. Le volant est équipé d'un système de retour d'effort actif (i.e. utilisant un moteur électrique), et les pédales ainsi que le levier de vitesses sont équipés d'un système de retour d'effort passif (i.e. utilisant des ressorts et amortisseurs). L'image est projetée sur un écran cylindrique offrant un champ de vision de 150° horizontalement et 40° verticalement [186].



*Figure 4. 20 : Le simulateur Ultimate*

### ***4.2.4.3 Simulateurs dynamiques utilisent une architecture spécifique***

- Le simulateur CyberMotion du MPI (Max Planck Institute, Allemagne). Il utilise un robot anthropomorphe à six degrés de liberté, sur lequel un poste de conduite et un écran courbe ont été installés [187].



*Figure 4. 21 : Le simulateur CyberMotion du MPI (Max Planck Institute, Allemagne).*

- Le simulateur Desdemona du TNO (Organisation pour la recherche appliquée, Pays-Bas). Il consiste en un système de type centrifugeuse, initialement destiné à l'entraînement à la désorientation, qui a été adapté à la simulation de conduite[188].



*Figure 4. 22 : Le simulateur Desdemona du TNO*

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

### **4.3 Conduite sur véhicules réels**

Dans cette situation, le véhicule est équipé de divers appareillages permettant d'enregistrer (avec plus ou moins de précision) certaines caractéristiques du véhicule et les comportements des conducteurs. Les données minimales recueillies sont la vitesse du véhicule et sa position sur la route. D'autres données et informations sur les conducteurs, tels qu'une analyse des stratégies visuelles, peuvent y être ajoutées. Les véhicules équipés sont souvent choisis car ils offrent la plus grande validité externe [189]. Ainsi, les résultats obtenus lors d'une étude sur véhicule équipé seraient plus facilement généralisables à la situation de conduite naturelle. Pour les expérimentations portant sur les assistances à la conduite, les conducteurs sont souvent placés dans des situations peu fréquentes et parfois critiques. Par exemple, lors d'expérimentations portant sur des dispositifs anticollisions, les conducteurs pourraient être placés dans des conditions de collision imminentes avec un véhicule les précédents. Les conducteurs seraient donc exposés à des situations présentant un fort risque d'accident entre les deux véhicules. Par conséquent, de telles expérimentations ne peuvent être réalisées avant d'avoir obtenu des garanties sur l'efficacité du dispositif considéré et sur ses effets sur les conducteurs.

Au cours de l'expérimentation, les conducteurs sont plongés dans les conditions de conduites naturelles auxquelles ils sont confrontés quotidiennement. Néanmoins, l'utilisation d'un véhicule équipé entraîne des difficultés de standardisation des conditions de recueil des données, notamment le trafic, les conditions météorologiques, les modifications de luminosité, la variabilité à l'abord de certaines parties de l'infrastructure, etc. Les données obtenues sur des véhicules réels sont également plus bruitées (signaux parasites venant s'ajouter aux signaux d'intérêt), de par l'imprécision des capteurs, les vibrations du véhicule, la présence de nombreux équipements embarqués dans le véhicule etc. Les résultats obtenus sont alors plus difficilement exploitables. Des coûts financiers importants et le risque d'accidents, sont également à prendre en considération lors d'études sur véhicules réels.

Certains de ces désavantages peuvent être réduits en utilisant une piste d'essai à la place de la voirie publique. Le contexte expérimental est alors moins naturel (réduction de la validité écologique du véhicule d'essai) que celui de la voirie publique, mais un gain sécuritaire et une meilleure maîtrise des conditions de trafic sont possibles.



*Figure 4. 23 :Photos de l'intérieur du véhicule instrumenté,[190].*

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

### **4.4 Les Questionnaires :**

#### **4.4.1 Définition**

Un questionnaire est une série de questions méthodiquement posées afin de définir un cas, une situation, une demande parmi un grand nombre de possibilités. Les informations obtenues peuvent être analysées à travers un tableau statistique ou un graphique.

Les questionnaires sont aussi des outils de recherche pour les sciences humaines et sociales, en particulier la psychologie, la sociologie, le marketing et la géographie. Il permet aussi de recueillir un grand nombre de témoignages ou d'avis. De plus, il a pour fonction principale de donner à l'enquête une extension plus grande et de vérifier statistiquement jusqu'à quel point sont généralisables les informations et hypothèses préalablement constituées [191].

#### **4.4.2 Les avantages et les limites du questionnaire**

##### **Les avantages du questionnaire :**

- Recueillir l'avis d'un grand nombre de personnes rapidement.
- Réaliser des études statistiques.
- Étudier plusieurs aspects d'un problème.
- Plus simple et plus rapide à mener qu'un entretien ou une observation.
- Les personnes interrogées peuvent répondre quand ils le veulent.
- Inutile pour l'enquêteur de se déplacer, de préparer du matériel : moins de stress.
- Peu coûteux.

##### **Les limites de questionnaire :**

- Le questionnaire ne permet pas d'étudier le fond d'un problème.
- Impossible de poser de nouvelles questions si une nouvelle interrogation apparaît à la vue des premiers résultats.
- Faible contact avec les personnes interrogés.
- Récolte des réponses qui reflètent une pensée d'un individu qui n'est pas forcément la réalité.

### **4.5 Les dispositifs anthropomorphes d'essai en Crash test**

Les dispositifs anthropomorphes d'essai (DAE) ou mannequins d'essai de choc (« Crash test dummies » en anglais), familièrement fantômes, sont des répliques taillées réelles d'êtres humains, lestées et articulées de manière à simuler le comportement d'un corps humain. Ils sont équipés d'instruments enregistrant autant de données que possibles sur les accidents, comme : la vitesse la force d'impact de différentes parties du corps lors d'un choc.

Les dispositifs anthropomorphes d'essai ont sauvé des milliers de vies humaines. Ils restent indispensables pour le développement de nouveaux modèles automobiles, en permettant aux ingénieurs de concevoir des véhicules plus sûrs.

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---



*Figure 4. 24 :Les dispositifs anthropomorphes d'essai*

### **4.6 Les moyens de contrôle de l'alcoolémie**

Le dépistage est effectué électroniquement se fait à l'aide d'un éthylomètre (mesure du taux d'alcool dans l'air expiré, le taux est positif à partir de 0,25 mg par litre d'air expiré) ou chimiquement à l'aide d'une prise de sang.



*Figure 4. 25 : un appareil de contrôle de l'alcoolémie*

### **4.7 Les moyens de contrôle de vitesse (radar)**

Un radar est un dispositif électronique de mesure d'un paramètre souvent la vitesse d'un véhicule, ou d'une situation, comme le franchissement d'une limite. Les plus communs sont les radars dits fixes installés au bord des routes, ils prennent en photo les conducteurs en excès de vitesse. Plusieurs dispositifs coexistent, comme les radars à mesure de vitesse moyenne (tronçon) ou de vitesse instantanée (classique). Les plus récents contrôlent les deux sens de circulation, pour toutes les files, et en discriminant les vitesses autorisées des voitures, bus et camions.



*Figure 4. 26 : un appareil de contrôle de vitesse*

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

### **4.8 Les méthodes statistiques**

Le choix d'une méthode d'analyse de données est une première étape primordiale dans l'exploration des données. Le nombre de méthodes statistiques disponibles augmente de jour en jour avec l'avènement du " machine Learning" et des méthodes liées au " big data"

L'utilisation de statistiques pour comparer les échantillons est nécessaire de disposer de méthodes permettant de définir les variations, les évolutions, les ressemblances ou les différences entre années, entre catégories, entre sites. Après saisie et organisation en tableau des données, et si les représentations graphiques n'apportent pas suffisamment d'éléments, des tests statistiques plus complexes pourront être utilisés.

#### **4.8.1 Choisir un test statistique**

Les objectifs principaux auxquels peuvent répondre les tests statistiques sont :

- L'évaluation de la représentativité des répartitions observées par rapport aux valeurs connues pour l'ensemble de l'échantillon,
- La mesure de la significativité de la différence constatée sur les observations de deux groupes d'échantillon ou d'un même groupe pour deux variables observées,
- L'existence et l'intensité d'une liaison entre deux variables.

Le choix d'un test statistique s'avère tellement lié à celui du plan d'échantillonnage qu'il est souvent difficile de déterminer quel choix précède l'autre. En effet, beaucoup d'analyses factorielles nécessitent une collecte très particulière des données.

Il existe une multitude de tests utilisés pour comparer les échantillons entre eux, mesurer la ressemblance entre les échantillons et vérifier les hypothèses. On distingue deux grandes catégories de tests : les tests paramétriques et les tests non paramétriques. On choisira les tests appropriés en fonction du type de mesure, de la forme de la distribution de fréquences et du nombre d'échantillons dont on dispose.

#### **4.8.2 Test paramétrique**

Un test paramétrique s'applique aux analyses qui mettent en jeu des variables dont l'évolution est susceptible de suivre une loi statistique dont les paramètres sont « connus » ou du moins « estimables ». En général, ces tests ne peuvent s'appliquer qu'aux variables numériques. Quand leurs conditions sont remplies, ils sont plus puissants que les tests non paramétriques.

#### **4.8.3 Test non paramétrique**

Les tests non paramétriques s'appliquent quant à eux, à la fois aux variables numériques et qualitatives. Il est un test dont le modèle ne précise pas les conditions que doivent remplir les paramètres de la population dont a été extrait l'échantillon. Cependant certaines conditions d'application doivent être vérifiées. Les échantillons considérés doivent être aléatoires (lorsque

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

tous les individus ont la même probabilité de faire partie de l'échantillon) et simples (tous les individus qui doivent former l'échantillon sont prélevés indépendamment les uns des autres), et éventuellement indépendants les uns des autres (emploi de tables de nombres aléatoires). Ces tests ne font pas référence à une répartition particulière de la population-mère.

### ➤ ***Avantages des tests non paramétriques :***

1. Leur emploi se justifie lorsque les conditions d'applications des autres méthodes ne sont pas satisfaites, même après d'éventuelles transformation de variables.
2. Les probabilités des résultats de la plupart des tests non paramétriques sont des probabilités exactes quelle que soit la forme de la distribution d'un échantillon dont est tiré l'échantillon.
3. Ils peuvent donc s'appliquer à des petits échantillons. Les tests non paramétriques sont utilisés dès que l'effectif « N » d'un échantillon est inférieur à 30,
4. Pour des échantillons de taille très faible jusqu'à  $N = 6$ , la seule possibilité est l'utilisation d'un test non paramétrique, sauf si la nature exacte de la distribution de la population est précisément connue. Ceci permet une diminution du coût ou du temps nécessaire à la collecte des informations.
5. Il existe des tests non paramétriques permettant de traiter des échantillons composés à partir d'observations provenant de populations différentes. De telles données ne peuvent être traitées par les tests paramétriques sans faire des hypothèses irréalistes.
6. Seuls des tests non paramétriques existent qui permettent le traitement de données qualitatives : soit exprimées en rangs ou en plus ou moins (échelle ordinale), soit nominales.
7. Les tests non paramétriques sont plus faciles à apprendre et à appliquer que les tests paramétriques. Leur relative simplicité résulte souvent du remplacement des valeurs observées soit par des variables alternatives, indiquant l'appartenance à l'une ou à l'autre classe d'observation, soit par les rangs, c'est-à-dire les numéros d'ordre des valeurs observées rangées par ordre croissant. C'est ainsi que la médiane est généralement préférée à la moyenne, comme paramètre de position.

### ➤ ***Désavantages des tests non paramétriques***

1. Les tests paramétriques, quand leurs conditions sont remplies, sont les plus puissants que les tests non paramétriques.
2. Un second inconvénient réside dans la difficulté à trouver la description des tests et de leurs tables de valeurs significatives, surtout en langue française. Heureusement, les niveaux de significativité sont donnés directement par les logiciels statistiques courants.

## Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur

On choisira les tests appropriés en fonction du type de mesure, de la forme de la distribution de fréquences et du nombre d'échantillons dont on dispose (voir schéma).

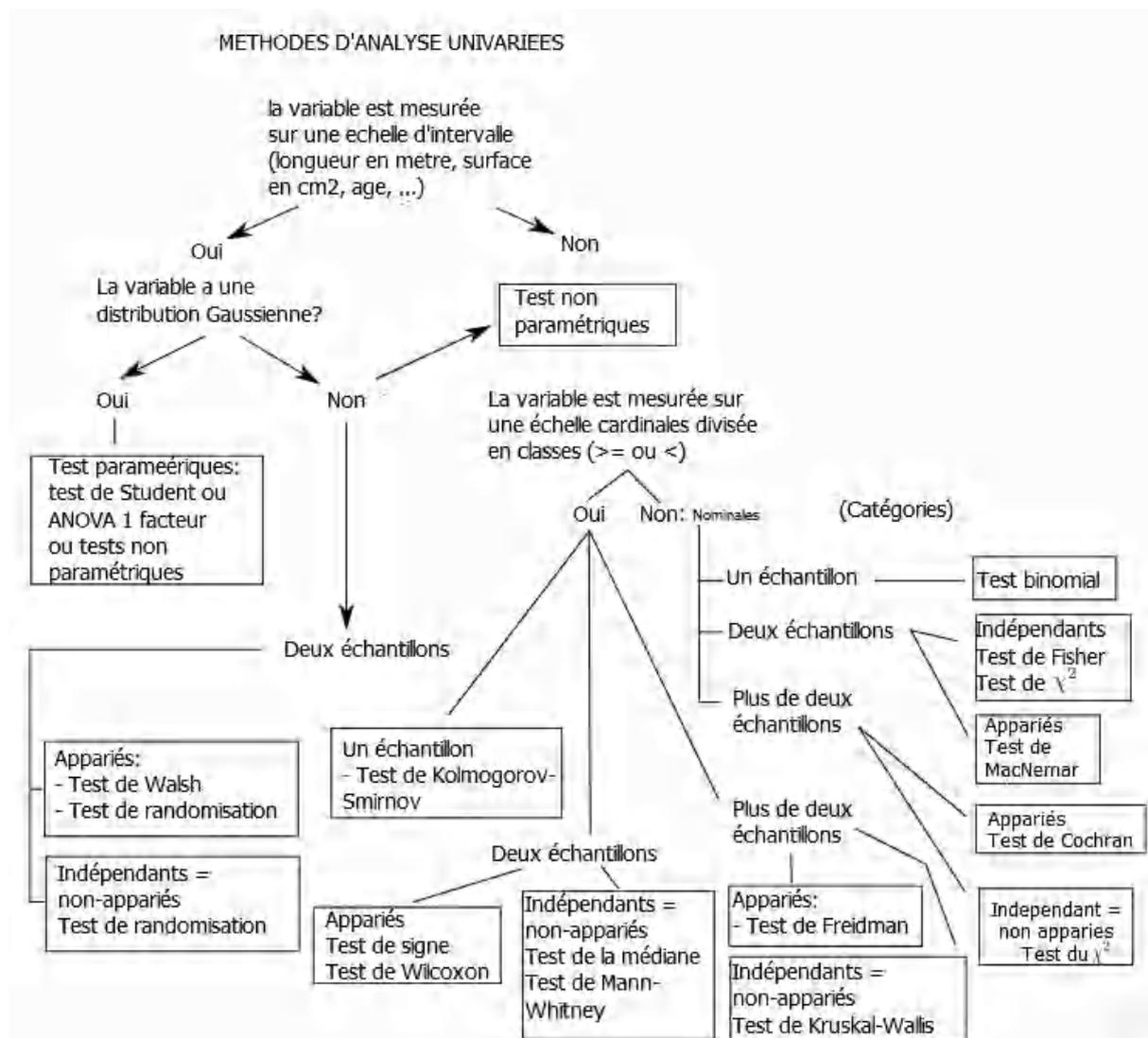


Figure 4. 27: Méthodes de statistiques pour comparer les échantillons [192]

En conséquence, nous utiliserons dans notre thèse les tests suivants :

### 4.8.4 Test de Mann-Whitney

Le test non paramétrique de Mann-Whitney est le bienvenu pour comparer deux échantillons indépendants de petite taille. Il est valide sur des données cardinales ou ordinales, voire des variables différentes observées sur deux populations. Toutefois, en pratique, il permet surtout d'estimer si les variables de deux échantillons suivent la même loi de probabilité. Ce qui permet de tester l'hypothèse selon laquelle les distributions de chacun de deux groupes de données sont proches [193].

## Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur

### 4.8.5 Test de corrélation

La corrélation est une mesure statistique qui indique à quel point deux variables sont liées. Cela implique également la relation entre plusieurs variables. Par exemple, si l'on souhaite savoir s'il existe une relation entre les tailles des pères et des fils, un coefficient de corrélation peut être calculé pour répondre à cette question. Généralement, il est compris entre -1 et +1. C'est une version à l'échelle de la covariance et fournit la direction et la force d'une relation. Il existe principalement deux types de corrélation :

#### 4.8.5.1 Corrélation de Pearson ( $r$ )

Le coefficient de Pearson est un indice reflétant une relation linéaire entre deux variables continues de variables quantitatives. Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1, 0 reflétant une relation nulle entre les deux variables, une valeur négative (corrélation négative) signifiant que lorsqu'une des variables augmente, l'autre diminue ; tandis qu'une valeur positive (corrélation positive) indique que les deux variables varient ensemble dans le même sens. Voici des exemples illustrant les 3 situations :

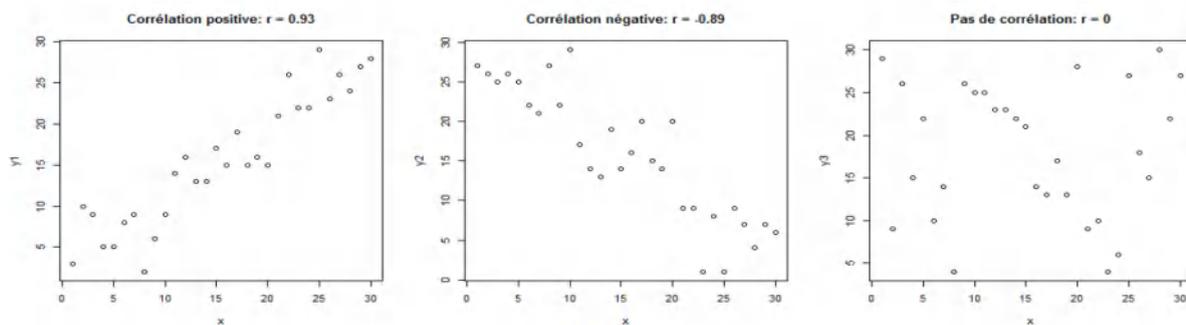


Figure 4. 28 :la variation d'indice de Pearson

Pour rappel, voici la formule pour calculer le coefficient de corrélation de Pearson :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

La valeur de  $r$  obtenue est une estimation de la corrélation entre deux variables continues dans la population. Dès lors, sa valeur fluctuera d'un échantillon à l'autre. On veut donc savoir si, dans la population ces deux variables sont réellement corrélées ou pas. On doit donc réaliser un test d'hypothèse.

- $H_0$  : Pas de corrélation entre les deux variables :  $\rho = 0$
- $H_A$  : Corrélation entre les deux variables :  $\rho \neq 0$

## **Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur**

---

### **4.8.5.2 Corrélation Spearman( $\rho$ )**

La corrélation de Spearman mesure le lien entre deux variables. Si les variables sont ordinales, Le coefficient de corrélation de rang (appelé coefficient de Spearman) examine s'il existe une relation entre le rang des observations pour deux caractères X et Y, ce qui permet de détecter l'existence de relations monotones (croissante ou décroissante), L'interprétation du coefficient de corrélation obtenu reste la même que lorsqu'on utilise une corrélation de Pearson.

Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1, 0 reflétant une relation nulle entre les deux variables, une valeur négative (corrélation négative) signifiant que lorsqu'une des variables augmente, l'autre diminue ; tandis qu'une valeur positive (corrélation positive) indique que les deux variables varient ensemble dans le même sens.

Pour rappel, voici la formule pour calculer le coefficient de corrélation de Spearman :

$$r_s = \frac{\sum(R_X - \frac{N+1}{2})(R_Y - \frac{N+1}{2})}{\sqrt{\sum(R_X - \frac{N+1}{2})^2 \sum(R_Y - \frac{N+1}{2})^2}}$$

La différence entre les deux coefficients repose sur la nature des valeurs numériques. Le coefficient de Pearson est calculé à partir des données brutes des variables numériques. Le Rho de Spearman est calculé sur les rangs d'échelles ordinales.

### **4.8.6 Test de Kruskal-Wallis**

Le test de Kruskal-Wallis est une alternative non-paramétrique à l'ANOVA d'ordre Un (inter-groupes). Il est utilisé pour comparer au moins trois échantillons, et tester l'hypothèse nulle suivant laquelle les différents échantillons à comparer sont issus de la même distribution ou de distributions de même médiane. Ainsi, l'interprétation du test de Kruskal-Wallis est très similaire à une ANOVA paramétrique d'ordre Un, sauf qu'il est basé sur les rangs au lieu des moyennes [194].

## **4.9 Les outils de mesure de la somnolence diurne**

### **4.9.1 Les méthodes objectives**

Les méthodes objectives de mesure de la somnolence diurne reposent sur l'évaluation de variables physiologiques, qui ont l'intérêt de ne pas être influencées par les biais de l'auto-évaluation.

#### **4.9.1.1 Le Test Itératif de Latence d'Endormissement (TILE) et le Test de Maintien de l'Éveil (TME)**

Deux tests physiologiques standardisés : le Test Itératif de Latence d'Endormissement – TILE - (Multiple Sleep Latency Test - MSLT) et le Test de Maintien de l'Éveil – TME - (Maintenance of Wakefulness Test - MWT), sont des références dans l'évaluation de l'état de somnolence et du maintien de la vigilance. Ces tests sont réalisés dans des conditions de laboratoire et reposent sur l'analyse de l'électroencéphalographie. Au cours du TILE, le sujet

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

est allongé dans une pièce sombre et on mesure lors de cinq tests de 20 minutes le délai moyen d'endormissement. Lors du TME, le sujet est assis sur une chaise dans une chambre semi-obscur et doit éviter de s'endormir. On mesure sa capacité à rester éveillé dans des conditions monotones. L'activité cérébrale est enregistrée durant le test. La perturbation du TME a été corrélée avec le risque de somnolence au volant dans des études sur simulateur et en conduite réelle (déviations par rapport à la ligne médiane)[92].

### ***4.9.1.2 L'électroencéphalographie***

L'enregistrement de l'activité cérébrale par électroencéphalographie (EEG) peut être réalisé hors laboratoire pour mesurer la somnolence, sans qu'il soit nécessaire que les sujets dorment. L'électroencéphalographie est considérée comme le test de référence pour objectiver la somnolence d'un individu : elle a été utilisée dans de nombreuses études sur le sommeil en simulation de conduite ou en conduite réelle [195, 196].



Figure 4. 29 :test d'électroencéphalographie (EEG) sur simulateur

### ***4.9.1.3 L'enregistrement vidéo des mouvements oculaires***

L'Électro-oculographie, ou EOG, est la mesure de l'activité électrique de l'œil. Ainsi, elle permet d'analyser les mouvements de l'œil ainsi que les clignements de ce dernier. On mesure l'EOG en posant des électrodes de cette manière :

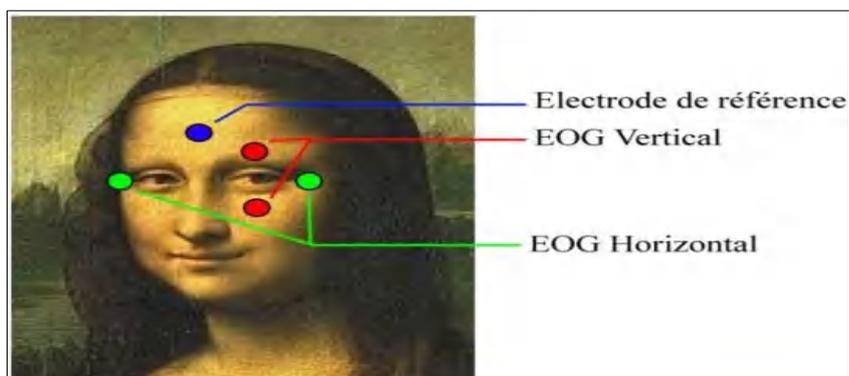


Figure 4. 30 :Description de l'emplacement des capteurs de l'EOG [197]

## **Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur**

On remarque sur cette photo que la mesure de l'EOG se fait grâce à 2 jeux de 2 électrodes ainsi qu'une électrode de référence. Les 2 jeux de 2 électrodes permettent de différencier les mouvements verticaux des yeux des horizontaux. Ainsi on peut obtenir les clignements des yeux grâce à l'analyse du signal des 2 électrodes verticales.

Sur celui-ci, on peut voir le signal émis par l'œil au moment d'un clignement avec différentes phases de vigilance. En effet, à gauche, on peut voir une courbe "propre" et courte qui montre un clignement rapide. De plus, plus on regarde vers la droite, plus on avance vers l'hypovigilance et plus on remarque que le signal est chaotique et long [197].

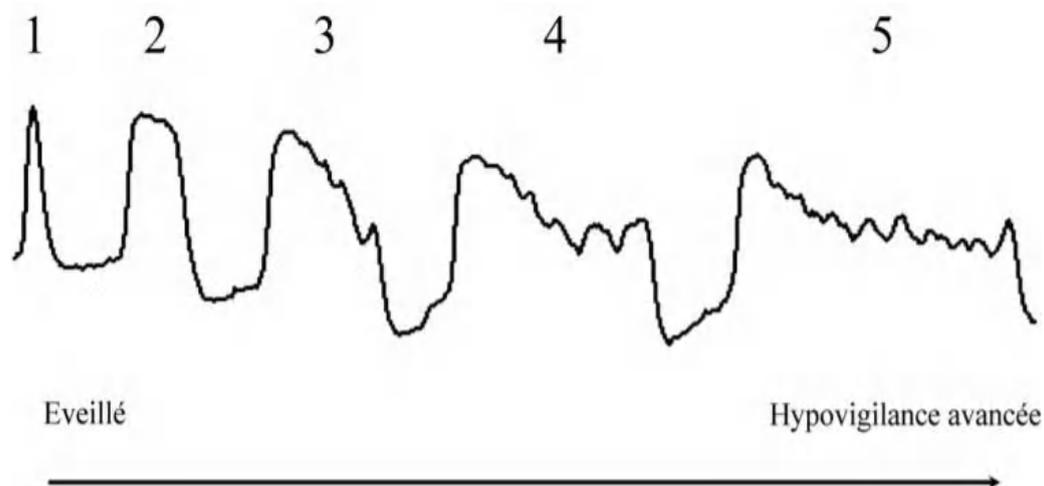


Figure 4. 31: le signal émis par l'œil au moment d'un clignement avec différentes phases de vigilance [198]

### **4.9.1.4 Électrocardiographie (ECG)**

Mesure du rythme cardiaque est bien maîtrisée et l'ECG constitue la méthode la plus complète. Le degré d'alerte du conducteur peut être déterminé en fonction de la variation de la fréquence cardiaque, une personne concentrée aura un rythme cardiaque plus régulier qu'un individu moins concentré.

### **4.9.1.5 Activité électrodermale (EMG)**

On définit l'activité électrodermale (AED, electrodermal activity) de manière générale comme étant l'activité électrique biologique enregistrée à la surface de la peau. Cela correspond à la mesure par des capteurs non-invasifs de grandeurs électriques qui reflètent la manifestation de phénomènes biologiques se déroulant sous la peau et entraînant des variations de ces grandeurs. Les paramètres liés à l'activité électrodermale font partie des variables physiologiques les plus répandues dans le domaine de la psychophysiologie, à la fois pour l'étude des phénomènes mis en jeu mais aussi pour son interprétation clinique. Au cours du dernier siècle, de nombreuses recherches ont permis de développer une standardisation de sa mesure ainsi que de son analyse.

## ***Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur***

---

L'utilisation de l'activité électrodermale comme indicateur de l'hypovigilance du conducteur automobile, fait depuis longtemps l'objet d'études. En 1966, l'organisme national de la sécurité routière en France affirmait déjà que la corrélation en l'activité électrodermale et le niveau de vigilance avait été validée scientifiquement[133]. Depuis d'autres études se sont replongées sur l'utilisation de l'AED comme indicateur de vigilance et plus précisément sur les indicateurs électrodermaux les plus pertinents[199] .

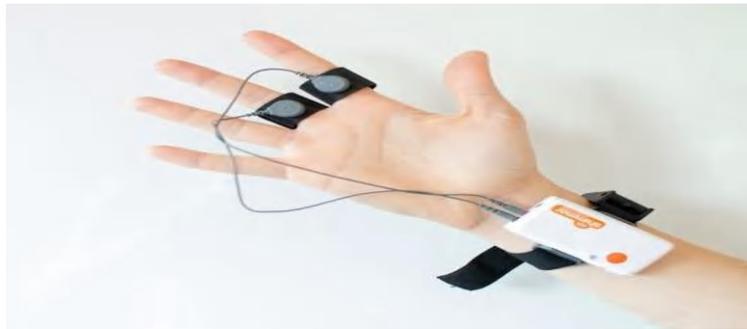


Figure 4. 32 : Appareil de mesure de l'activité électrodermale

### ***4.9.1.6 Le test de vigilance psychomotrice***

Une autre approche est basée sur la mesure du temps de réaction du conducteur. Un de ces outils, le test psychomoteur de vigilance (Psychomotor Vigilance Test - PVT), est notamment utilisé pour évaluer la somnolence chez les commerciaux aux États-Unis. Le PVT est basé sur une tâche simple : le sujet appuie sur un bouton dès qu'un stimulus, comme une lumière, apparaît. Pendant 5 à 10 minutes le stimulus se déclenche au hasard pendant quelques secondes. Sont notifiés le temps de réaction et le nombre de manquements à la tâche (lapses). Le PVT permet d'évaluer le maintien de l'attention et estime la somnolence par le pourcentage de lapses [200].

### ***4.9.1.7 La limite des outils de mesure***

Ces mesures objectives de la somnolence doivent faire l'objet de recherches plus poussées, notamment concernant leur acceptabilité, leur possibilité d'implantation en série dans des véhicules et leur absence d'effet distrayant sur l'attention du conducteur. La différenciation des niveaux de somnolence est à affiner sur de plus grands groupes de conducteurs, et il conviendra de distinguer dans le futur les outils spécifiques de la somnolence de ceux spécifiques de l'attention.

## **4.9.2 Les méthodes subjectives**

### ***4.9.2.1 L'échelle de somnolence d'Epworth***

D'autres méthodes pour mesurer la somnolence, tout à fait différentes de celles décrites précédemment, sont basées sur une approche subjective. Parmi celles-ci, une des méthodes les plus couramment utilisées est l'échelle de somnolence d'Epworth (ESS) [201] (Voir Figure 4.33).

## Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur

Cette échelle est destinée à évaluer l'état général de somnolence diurne d'une personne à l'aide d'un questionnaire court. Les sujets évaluent leur risque de s'assoupir dans différentes situations de la vie courante. Plus le score est élevé, plus le niveau de somnolence est important. Bien que ce test ne fournisse pas un diagnostic en soi, le score ESS est un indicateur simple et internationalement validé permettant de dépister des niveaux élevés de somnolence.

Des tests tels que l'ESS ont l'avantage de ne pas influencer le comportement du conducteur, et de ne pas attirer constamment son attention sur sa somnolence au volant. L'ESS a été largement utilisée comme outil de recherche dans des études portant sur la cause des accidents de la circulation et la responsabilité des facteurs humains. Pour autant, elle n'est pas destinée à évaluer la somnolence instantanée de conducteurs au volant.

0 = aucun risque de somnolence 1 = risque léger de somnolence		2 = risque modéré de somnolence 3 = risque élevé de somnolence	
SITUATION		RISQUE DE SOMNOLENCE	
Assis en train de lire		0	
En regardant la télévision		0	
Assis inactif dans un lieu public (théâtre, réunion)		0	
Comme passager dans une voiture roulant sans pause depuis une heure		0	
Allongé l'après-midi pour se reposer quand les circonstances le permettent		0	
Assis en train de parler à quelqu'un		0	
Assis calmement après un repas sans alcool		0	
Dans une voiture immobilisée depuis quelques minutes dans un encombrement		0	
TOTAL		0	

- Un score  $\geq 10$  indique une réduction significative de la vigilance nécessitant une consultation médicale.  
- Un score  $\geq 16$  indique une somnolence excessive.

Figure 4. 33 :L'échelle de somnolence d'Epworth [201]

D'autres échelles de mesure de la somnolence sont moins fréquemment utilisées : l'échelle de somnolence de Stanford (SSS) et l'échelle de somnolence de Karolinska (KSS). Toutes deux sont validées et fiables

### 4.9.3 Le test de mesure de SDLP

La mesure de l'écart type de la position latérale (Standard Deviation of Lateral Position - SDLP) est aussi utilisée comme indicateur comportemental de la somnolence [202]. Ce test restitue la façon dont le conducteur maintient la position de son véhicule sur la chaussée. Elle fournit des indications sur ses écarts de trajectoire et sa capacité à contrôler le mouvement latéral du véhicule. Ce test possède une haute reproductibilité et est significativement affecté par la somnolence et la diminution de l'attention au volant. La SDLP est mesurée en centimètres, à l'aide d'un dispositif électro-optique monté à l'arrière du véhicule qui enregistre en continu la position latérale du véhicule par rapport à la ligne de délimitation de la voie (ligne blanche).

## *Chapitre 04 : matériel et méthodes pour mesurer le comportement du conducteur*

---

### **4.10 Conclusion**

Ces outils peuvent être considérés comme complémentaires car chacun d'entre eux fournit des types d'informations différents. Les chercheurs peuvent recourir à ces diverses approches, en gardant à l'esprit les limites de chaque méthode et en privilégiant l'une ou l'autre, en fonction de leurs objectifs de recherche.

Les outils de mesure objective sont particulièrement pertinents car ils ne sont pas biaisés par l'auto appréciation du conducteur. Toutefois, certains sont impossibles à mettre en place dans des conditions réelles de conduite. Les méthodes subjectives sont plus faciles à mettre en place mais ne fournissent pas de diagnostic en soi. Il est donc nécessaire de continuer à imaginer et à mettre en place des outils innovants permettant d'intégrer des données provenant du comportement du conducteur vis-à-vis de son véhicule. Le comportement individuel des conducteurs occupe en effet une part déterminante dans les risques liés à la conduite.

Pour cela, dans le chapitre suivant, nous verrons notre contribution à l'étude de la position des mains sur le volant comme méthode d'évaluation de la somnolence et de la fatigue.

---

***Chapitre 05 :***  
***Évaluation de la***  
***position des mains sur le***  
***volant pendant la***  
***fatigue et la somnolence***

---

## *Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence*

---

### **5.1 Introduction**

La conduite automobile est une activité quotidienne essentielle dans tous les pays [203]. Toutefois, la conduite à grande vitesse sur l'autoroute pendant de longues périodes nécessite des compétences intellectuelles et motrices importantes, telles que la capacité visuelle et spatiale, la mémoire, le traitement des données et la réaction rapide, qui nécessitent toutes une vigilance mentale [204]. La somnolence et la fatigue du conducteur surviennent généralement lorsque la conduite nécessite une attention continue pendant de longues périodes [205] et affectent notablement la psychophysiologie du conducteur aux heures de conduite. La détérioration des performances du conducteur due à la fatigue et à la somnolence pose un risque de sécurité grave. Par conséquent, l'identification d'indicateurs importants de somnolence et de fatigue est nécessaire pour améliorer la sécurité des conducteurs sur les routes [202, 206–208]. De plus, une compréhension claire des limites de fatigue peut définir le temps de repos recommandé, qui doit être conseillé aux conducteurs [209].

Pour évaluer la somnolence et la fatigue habituelles chez les conducteurs, l'échelle de somnolence d'Epworth est susceptible d'être utilisée [201], et pour la somnolence immédiate, des échelles de Likert sont utilisées, telles que l'échelle de somnolence de Stanford à 7 niveaux [210], les échelles visuelles analogiques [211] ou l'échelle de somnolence de Karolinska à 9 niveaux (KSS) [212].

Le KSS a été créé principalement pour fournir une mesure unidimensionnelle de la somnolence et a été approuvé par l'activité électroencéphalographique (EEG) et électrooculographique (EOG) [213]. Il a été largement utilisé et a donné des résultats rationnels dans la recherche de travail posté [214], fatigue [215], capacité de conduite [216], vigilance, performance [217] et facteurs cliniques [218].

Dans la revue de la littérature, nous avons constaté que les chercheurs ont examiné au moins 87 mesures différentes de la performance de conduite pour déterminer leur fiabilité à détecter la fatigue du conducteur. Les mesures qu'ils ont testées sont mentionnées dans Forsman et al. [219] l'annexe A et discutées dans [220–227]. De plus, en raison de la multitude de mesures disponibles ; on s'attend à ce qu'il y ait un certain degré de chevauchement linéaire entre eux. Ces exemples de recherche ont montré qu'il n'y a pas d'accord sur quelle mesure ou combinaison de mesures serait la plus sensible à la fatigue et à la somnolence du conducteur.

D'autre part, la fabrication globale du véhicule semble bénéficier pratiquement aux conducteurs droitiers, il ne serait pas commercialement viable pour les constructeurs automobiles de répondre aux besoins des conducteurs gauchers. Cela rend les conducteurs droitiers complaisants, tandis que les gauchers sont poussés – comme ils le font souvent – à dépendre de leur main moins dominante, ce qui les encourage à être plus attentifs à leur environnement/mouvements en raison de l'effort supplémentaire d'utiliser la main non dominante. Par conséquent, il n'est pas clair que la position de la main du conducteur change

## ***Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence***

---

naturellement au cours du déplacement ou qu'il s'agisse principalement d'une habitude ou même liée au comportement de conduite des conducteurs individuels.

Par ailleurs, la fatigue causée par le fait de tenir les bras dans le volant à des positions de 10 et 2 h peut également inciter les conducteurs à rajuster leur position des mains [228]. Les mesures anthropométriques indiquent que lorsque que lorsqu'il est assis au volant, la position du bras droit être pliée d'un angle de 90 ° au niveau des coudes de sorte que les poignets supérieurs et inférieurs soient perpendiculaires [229–231]. Si cela s'applique à la situation de conduite, on peut supposer que le conducteur doit utiliser approximativement à zone située entre 8-4 heures du volant.

Cependant, les positions de points d'intérêt à 9, 3 heures, 10 heures et 2 heures sont enseignées dans les auto-écoles comme des positions idéales offrant un contrôle élevé de la direction [232], au contraire, une simple observation du comportement de placement des mains d'un échantillon pendant la conduite amènerait à la conclusion que les conducteurs s'écartent fréquemment de cette position, et il semble même que les conducteurs conduisent le véhicule d'une seule main.

Par conséquent, les positions des mains adoptées sur le volant sont très probablement liées aux zones de confort ou aux comportements des conducteurs, mais cette hypothèse n'a pas encore été évaluée. Cette note de recherche aborde la question de l'influence de fatigue et somnolence sur la position des mains au volant.

Ce chapitre examine la fiabilité de mesure la position des mains des conducteurs (gauche et droite) en tant que facteur pouvant prédire la fatigue et somnolence au volant, par observant si la position des mains peut varier en fonction de différents facteurs tels que le sexe, l'âge d'expérience, et personnalité des jeunes conducteurs par différents niveaux d'échelle de somnolence (KSS) et de fatigue (VAS), ainsi que son effet sur les facteurs de performance de conduite (PRT, ILC). Grâce aux données du simulateur des participants somnolents, et les contrôles d'alerte examinés en laboratoire,

## **5.2 Méthodes**

### **5.2.1 Participants**

L'ensemble de données total comprenait  $N = 31$  jeunes conducteurs, la majorité des conducteurs étaient à des hommes 74,2 %, tandis que les femmes étaient à 25,8 %. L'âge moyen est  $22,81 \pm 2,4$  (ET) ans, avec un intervalle de 19 à 27 ans, et une expérience de conduite annuelle moyenne de  $3,7 \pm 1,98$  (ET) avec un intervalle de 1 à 7 ans. Le sommeil typique de tous les participants au cours de la dernière semaine précédant l'expérience était de 7,3 h  $\pm 0,5$  (ET) par nuit, entre 23 h et 7 h, selon les autodéclarations des conducteurs. De plus, l'échantillon a été sélectionné en fonction du facteur d'expérience de conduite, où nous avons choisi six groupes, chaque groupe contient cinq conducteurs, sauf un groupe de six conducteurs, étaient des étudiants et du personnel de l'université des frères Mentouri Constantine 1.

## ***Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence***

---

La majorité des participants ont été choisis jeunes, masculin, avec une courte expérience de conduite, car ils sont plus à risque [10, 208] et sont plus représentés dans les accidents liés au sommeil [233]. En outre, l'échantillon représente pleinement la population algérienne pour les raisons suivantes: (1) les jeunes conducteurs algériens sont surreprésentés dans les accidents de la circulation au cours des 12 mois de 2016 ; (2) le groupe de 18 à 29 ans a été impliqué dans 10 192 accidents corporels, soit 35,32 % du nombre total d'accidents de la route enregistrés, (3) Les conducteurs titulaires d'un permis de conduire de cinq ans ou moins, représentent plus de la moitié (54,10 %) des conducteurs impliqués dans des accidents de la route en 2016 [234]. (4) La plupart des conducteurs en Algérie sont des hommes. (5) La population âgée de moins de 30 ans était de 22,48 millions, soit 54% de la population totale [235]. Ils ont un IMC compris entre 16 et 28 et parcourent au moins 1000 km par an.

### **5.2.2 Critères d'inclusion**

On a demandé aux participants de fournir leurs renseignements personnels : sexe, âge et expérience de conduite, ensuite, ils ont lu et signé un document de consentement éclairé. Tous les sujets ont été déclarés comme étant droitiers. Les participants ont passé une courte expérience de conduite afin de s'adapter au simulateur de conduite.

Aussi, on a demandé aux participants de ne pas prendre le médicament, et à conduire le simulateur comme ils le feraient dans leurs vraies voitures. Ils ont mené un entretien clinique sous la forme d'un questionnaire en utilisant le test ESS (Epworth Sleepiness Scale) pour exclure tout troubles du sommeil, car la durée et l'efficacité du sommeil sont cruciales aux protocoles de restriction du sommeil. Les participants ont été inclus s'ils avaient une efficacité moyenne du sommeil inférieure à 10 points.

### **5.2.3 Procédure de contrôle du sommeil**

Une semaine avant le début de l'expérience, les participants ont été contactés quotidiennement pour déclarer leurs heures de sommeil de chaque nuit, jusqu'au jour de l'expérience où ils ont reçu l'ordre de dormir seulement trois heures 3/24 [235–243] entre 23h00 et 6h00.

### **5.2.4 Séances de conduite**

Les sujets ont conduit quatre sessions identiques consécutives en une journée (chaque session 100 kilomètres) sur route sans un virage serré à partir de 9 h à 13.30 h chaque session de conduite n'a pas duré plus de 60 minutes, et l'environnement de conduite a été sur une autoroute, avec des conditions de circulation claires habituelles, dans un climat agréable. Nous avons limité la vitesse du simulateur à 120 km/h (vitesse maximale en Algérie).

## *Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence*

---

### **5.2.5 Installation de la caméra**

La position du conducteur a été enregistrée tout au long de l'expérience par 02 caméras vidéo, permettant des vues de l'écran avant de simulateur, et des mains sur le volant, nous avons également utilisé le logiciel d'enregistrement vidéo ISPY 64 V 7.0.3.0.

### **5.2.6 Simulateur de conduite**

Le simulateur de conduite de l'Université des Frères de Mentouri est représenté sur la figure 5.1. Ce simulateur est une base fixe de Develter Innovation société (dimension 230 cm de long - 85 cm de large - Poids 200 kg) [244] se compose d'un ordinateur, volant avec retour de force, projecteurs vidéo sur 3 écrans, tableau de bord intégré, levier de vitesse, frein à main, siège réglable avec ceinture sécurité et haut-parleur.



Figure 5. 1 : simulateur de conduite de l'université de Constantine 1

### **5.2.7 Perception de fatigue et somnolence**

Dans cette étude, on a demandé à tous les participants d'évaluer leur fatigue sur une échelle visuelle analogique (VAS) de 100 mm et leur somnolence sur une échelle de somnolence de Karolinska (KSS), qui varie de 1 à 9 ((1) *Extrêmement alerte*, (2) *Très alerte*, (3) *Alerte*, (4) *Plutôt alerte*, (5) *Ni alerte ni somnolent*, (6) *Quelques signes de somnolence*, (7) *Somnolent, mais aucune difficulté à rester éveillé*, (8) *Somnolent, quelques efforts pour rester alerte*, (9) *Extrêmement somnolent*) [7] avant de commencer à conduire chaque session (tous les 100 km).

## Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence

### 5.2.8 Perception des franchissements inappropriés de ligne

La performance de conduite a été évaluée après différentes durées de conduite en utilisant le nombre de franchissements inappropriés de ligne ILC [202], il a été compté chaque fois que la voiture a traversé l'un des marqueurs de voie de l'autoroute latérale, sauf pendant une manœuvre de dépassement ou une autre action de conduite nécessaire, en fait, tous les chiffres liés aux perturbations du trafic ont été exclus du comptage pour se concentrer sur les franchissements des lignes liés au statut du conducteur. Figure 5.2 [98].

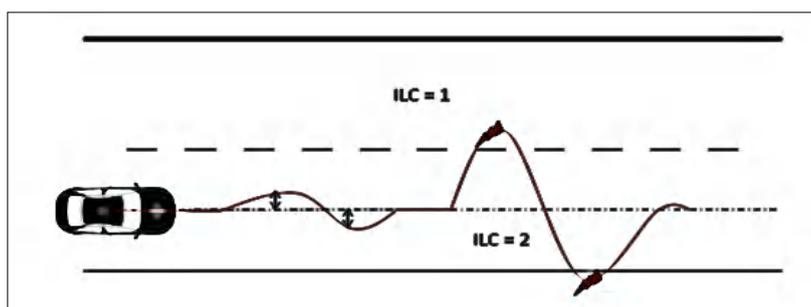


Figure 5. 2 : Principe de calcul des franchissements inappropriés de lignes

### 5.2.9 Perception du temps de réaction

Afin d'évaluer le temps de perception-réaction [PRT], nous avons informé tous les conducteurs qu'il existe un signe d'arrêt, qui apparaît de manière inattendue pendant leur période de conduite, ils doivent s'arrêter immédiatement lorsqu'ils voient ce signal, il est calculé automatiquement par le simulateur. Figure 5.3.



Figure 5. 3 : Cette figure montre les tailles et visibilité de la forme du signal d'arrêt qui a été choisie dans cette expérience parmi de nombreuses autres tailles fournies par ce simulateur pour tester le temps de perception-réaction [PRI].

### 5.2.10 Perceptions de la position des mains et des bras

Les vidéos ont été analysées pour calculer le kilométrage de la position des mains de chaque conducteur à chaque session. Par conséquent, la nomenclature d'horloge standard est utilisée pour expliquer la position des mains, voir la figure 5.4.

## Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence

Au début du test, les participants choisissent la position 10 - 2 h ou la position 9 - 3 h sur le volant du simulateur, cependant, les positions de confort ont été observés après seulement 10 minutes ; pour le bras gauche, les participants reposaient fréquemment leur bras par plaçant leur coude sur leur cuisse, et pour le bras droit, les conducteurs reposaient habituellement leur bras par posant leur main droite sur le levier de vitesse ou l'avant de leur cuisse. Les participants passent d'une position confortable à une autre au manier aléatoirement.

### 5.2.11 Notation de la position des mains

L'une des raisons pour lesquelles nous utilisons le simulateur est la clarté générale de la position des mains du conducteur sur le volant pendant la période de conduite, ce qui nous a amenés à utiliser une méthode plus précise et détaillée que celle utilisée par Walton et Thomas [228] (voir figure 5.4). Par conséquent, nous avons divisé le volant en deux parties, l'une pour la main droite (1, 2, 4 et 5) et l'autre pour la main gauche (7, 8, 10 et 11) avec trois positions :

- **Up hand** : signifiait que les mains étaient dans la position optimale pour le contrôle du véhicule. La main droite doit être sur le volant dans la zone entre (9 - 12 h), et pour la main gauche dans la zone (3 - 12 h)
- **Down hand** : est la position de la main sur la partie inférieure du volant entre (3-6h) pour main droite et entre (6-9h) pour main gauche.
- **Zero hand** : Il n'y a pas de main sur le volant.

Afin d'obtenir des données fiables, et de faciliter l'identification de la position correcte de la main sur le volant, les positions critiques ont été ignorées.

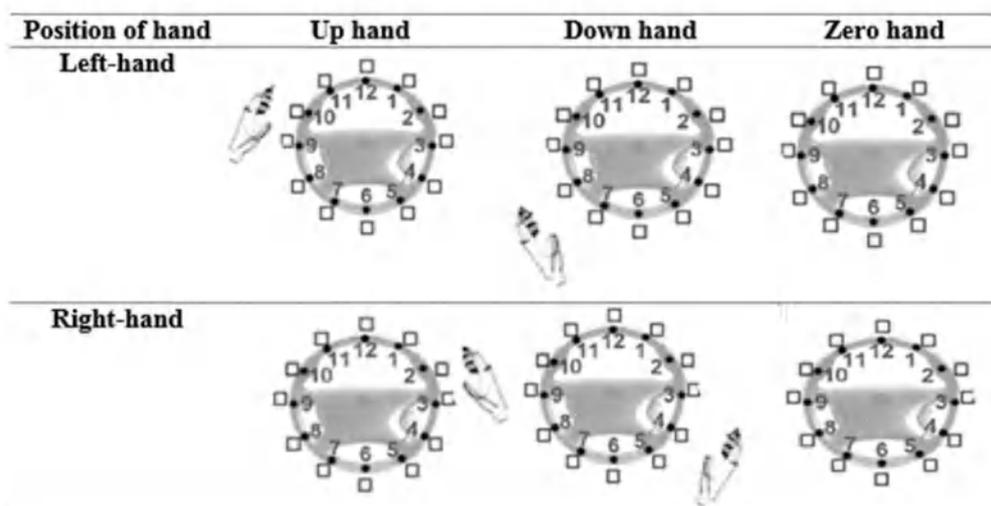


Figure 5. 4 : Six positions courantes du volant lors de la conduite

Les résultats sont donnés sous forme de moyenne et d'écart-type du nombre d'ILC, PRT(s), fatigue (VAS) et la somnolence (KSS) par session, ainsi que les différentes positions des mains en kilomètres (hand up, hand down, zero hand), par sexe, années d'expérience de conduite, personnalité, et par échelle de somnolence KSS pour chaque main (gauche-droite).

## Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence

Toutes les données ont été évaluées par L'analyse de la variance ANOVA (test de Kruskal Wallis), test de Mann-Whitney et test de corrélation de Pearson, par conséquent, nous avons utilisé le logiciel IBM SPSS Statistics version 23 pour ces analyses.

### 5.3 Résultats

Une analyse de la variance ANOVA a été réalisée pour évaluer les effets de la fatigue et somnolence résultant de la conduite simulatrice pendant quatre sessions consécutives sur les facteurs de performance des conducteurs PRT, ILC, KSS et la position de la main gauche et droite (hand up, hand down, hand zéro).

En outre, les facteurs d'expérience, de sexe et de comportement de conduite ont été testés afin de déterminer la signification statistique et le type de relation avec la position de la main sur le volant.

De plus, les corrélations ont été examinées entre la performance du conducteur (KSS, IIC, PRT) et la position de la main droite et gauche. (Hand up, hand down, hand zero) par le test de corrélation de Pearson.

En utilisant le test de Kruskal Wallis, nous avons trouvé un effet de la "session de conduite" sur la fatigue (VAS) [ $x^2 = 105,41$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ], la somnolence (KSS), [ $x^2 = 103,14$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ], ILC [ $x^2 = 92,23$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ] et PRT [ $x^2 = 56,04$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ].

Aussi, nous avons découvert que KSS, ILC, PRT et le nombre de kilomètres sur la position (hand up, hand zero) augmente avec le temps de conduite, comme indiqué dans les Figures 5.5/ 5.6, Tableau 5.1 et Tableau 5.2.

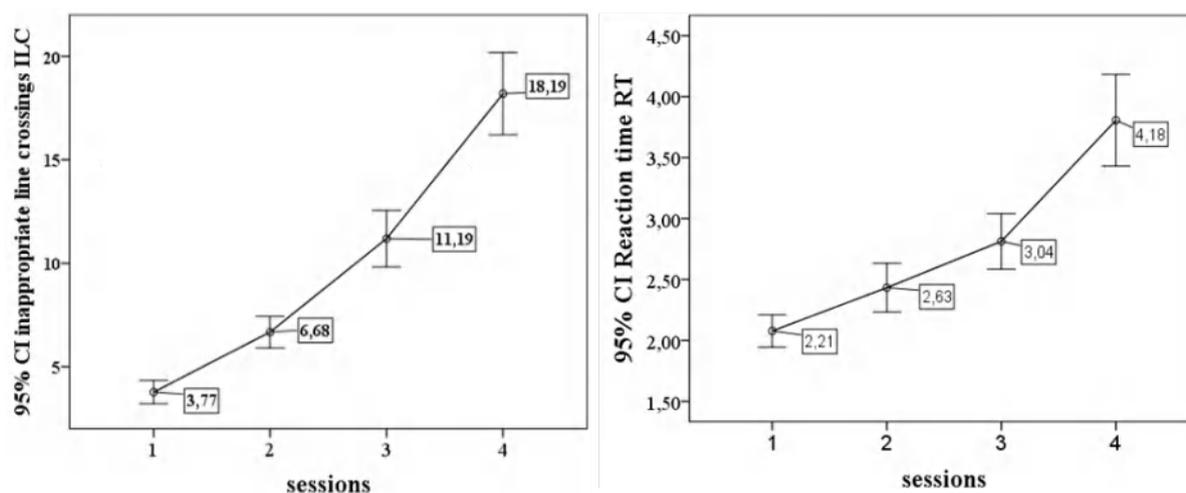


Figure 5. 5 : Nombre moyen d'ILC, PRT pour 31 sujets sur 4 sessions de conduite consécutives (chaque session 100 km), statistiquement, les valeurs d'ILC et PRT sont affectées par la distance de conduite. Barres d'erreur est l'écart-type moyen

## Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence

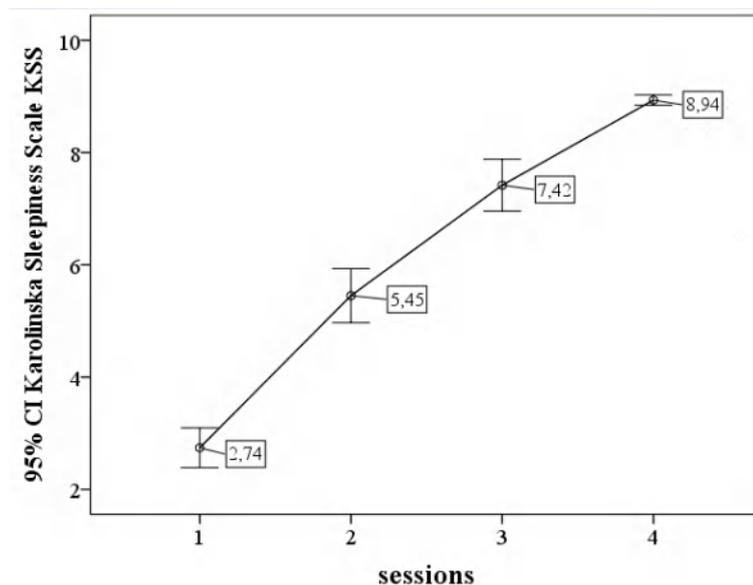


Figure 5. 6 : La valeur moyenne des neuf niveaux de somnolence KSS pour chaque session.

Tableau 5. 1: Moyennes et écart-types de trois positions du main droite et gauche (hand up, hand down, and zero)

S	Main droite						Main gauche					
	Hand up (km)		Hand down (km)		Hand zero (km)		Hand up (km)		Hand down (km)		Hand zero (km)	
	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET
1	56,61	14,31	20,68	11,07	22,71	11,50	81.74	8.9	15.97	8.54	2.29	1.16
2	50,22	12,78	24,39	8,88	25,39	9,11	76.45	10.55	19.52	10.3	4.03	1.94
3	37,80	13,24	33,23	12,79	28,97	6,72	63.71	15.07	30.1	16.44	6.19	3.68
4	30,00	8,56	38,32	7,72	31,68	7,29	55.71	10.97	35.29	9.54	9	6.1

Tableau 5. 2 : Moyennes et écarts types de KSS, ILC, PRT et VAS

Sessions	KSS		PRT		ILC		VAS	
	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET
1	3	1	2.21	0.34	3.77	1.54	21.61	7.89
2	5	1	2.63	0.53	6.68	2.07	43.71	11.97
3	7	1	3.04	0.67	11.19	3.73	66.45	12.40
4	9	0	4.18	0.89	18.19	5.42	87.42	7.40

### 5.3.1 Positions des mains

#### 5.3.1.1 Main droite

À l'aide du test ANOVA Kruskal Wallis, nous établissons un effet de la « fatigue et de la somnolence » sur les profils de position des mains sur le volant : pour "hand up" droite nous avons trouvé [ $\chi^2 = 63,87$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ], "hand down" [ $\chi^2 = 48,58$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ] et "hand zero" [ $\chi^2 = 17,44$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ]. Voir le tableau 5.3.

## ***Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence***

---

Mais le test de Kruskal Wallis n'était pas significatif pour facteur de personnalité sur la position "hand up" de main droite [ $x^2 = 30,98$ ,  $df = 30$ ,  $P > 0,05$ ], cependant, la position "hand down" et "hand zéro" pour main droite étaient significatives [ $x^2 = 49,46$ ,  $df = 30$ ,  $P < 0,05$ ] [ $x^2 = 68,81$ ,  $df = 30$ ,  $P < 0,001$ ] d'autre part, il n'y a pas relation entre les années d'expérience de conduite et les profils de position des mains dans ces conditions de somnolence et de fatigue.

De plus, le test de Mann-Whitney au niveau alpha critique de 0,05 entre le mâle et la femelle était significatif pour la main droite à la position "hand up" ( $U = 1092$ ,  $Z = -2,17$ ,  $P < 0,05$ ), "hand down" ( $U = 1106,5$ ,  $Z = -2,08$ ,  $P < 0,05$ ) et "hand zero" ( $U = 930$ ,  $Z = -3,1$ ,  $P < 0,01$ ).

Par ailleurs, la moyenne des positions des mains chez les femmes est de 51,28 km pour "hand up", 25,69 km pour "hand down", 23,03 km pour "hand zero", alors qu'elles préfèrent utiliser plus souvent la main droite sur la moitié supérieure du volant par rapport aux hommes 41,01 km pour hand up, 30,36 km pour "hand down", 28,63 pour "hand zero".

### **Corrélation**

Il existe une corrélation inverse au niveau alpha critique de 0,01 entre position hand up et : KSS (corrélation de Pearson  $r = -0,50$ ,  $p < 0,001$ ), ILC (corrélation de Pearson  $r = -0,505$ ,  $p < 0,001$ ) et PRT (corrélation de Pearson  $r = -0,406$ ,  $p < 0,001$ ).

Pour "hand down", des corrélations positives ont été établies pour KSS (corrélation de Pearson  $r = 0,47$ ,  $p < 0,001$ ) ILC (corrélation de Pearson  $r = 0,567$ ,  $p < 0,001$ ) et PRT (corrélation de Pearson  $r = 0,41$ ,  $p < 0,001$ ).

Pour "hand zéro", il existe une corrélation positive sur KSS (corrélation de Pearson  $r = 0,25$ ,  $p < 0,01$ ), et aucune corrélation significative sur ILC (corrélation de Pearson  $r = 0,119$ ,  $p > 0,05$ ) et PRT (corrélation de Pearson  $r = 0,1$ ,  $p > 0,05$ ). Voir le tableau 5.4.

#### ***5.3.1.2 La main gauche***

Aide de l'utilisation le test ANOVA Kruskal Wallis, nous avons trouvé un effet de « fatigue et somnolence » sur le nombre de positions de la main sur le volant dans : "hand up" [ $x^2 = 62,8$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ], "hand down" [ $x^2 = 49,13$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ] et "hand zero" [ $x^2 = 47,61$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0,001$ ].

Par ailleurs, le test de Kruskal Wallis était significatif pour facteur de personnalité de conducteur à la position de main gauche : "hand up" [ $x^2 = 43,98$ ,  $df = 30$ ,  $P < 0,05$ ], "hand down" [ $x^2 = 51,68$ ,  $df = 30$ ,  $P < 0,01$ ] "hand zero" [ $x^2 = 45,45$ ,  $df = 30$ ,  $P < 0,05$ ].

Tandis que, il n'y a pas de relation entre les années d'expérience de conduite et la position de la main gauche pour "up et zéro hand" position, mais "hand down" était significative [ $x^2 = 13,85$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0,05$ ]. Voir le tableau 5.6.

## *Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence*

D'autre part, le test de Mann-Whitney au niveau alpha critique de 0,05 entre homme et femme n'était pas significatif pour la main gauche pour position "hand up" et "hand down", mais position "hand zero" était significatif ( $U = 955,5$ ,  $Z = -2,98$ ,  $P < 0,01$ ).

De plus, la position moyenne des mains des femmes est de 70,46 km pour la position "up hand", 24,71 km pour "hand down", 4,81 km pour "hand zéro". Nous obtenons les mêmes résultats pour les hommes. Voir le tableau 5.5.

### Corrélation

Il existe une corrélation inverse au niveau alpha critique de 0,01 entre position "hand up" et : KSS (corrélation de Pearson  $r = -0,54$ ,  $p < 0,001$ ), ILC (corrélation de Pearson  $r = -0,511$ ,  $p < 0,001$ ) et PRT (corrélation de Pearson  $r = -0,46$ ,  $p < 0,001$ ).

De même, pour position "hand down", nous avons trouvé une corrélation positive pour KSS (corrélation de Pearson  $r = 0,44$  ;  $p < 0,001$ ), ILC (corrélation de Pearson  $r = 0,44$ ,  $p < 0,001$ ) et PRT (corrélation de Pearson  $r = 0,40$  ;  $p < 0,001$ ), mais pour position "hand zéro", nous avons découvert une corrélation positive pour KSS seulement.

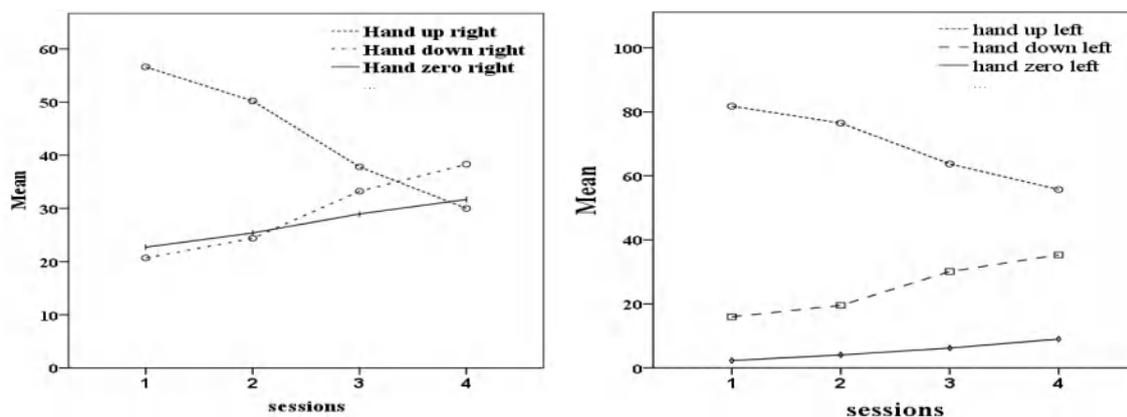


Figure 5. 7 : Moyenne des mains des conducteurs sur trois positions de la main droite et de la main gauche (hand up hand down hand zero) pour 4 séances de conduite successives.

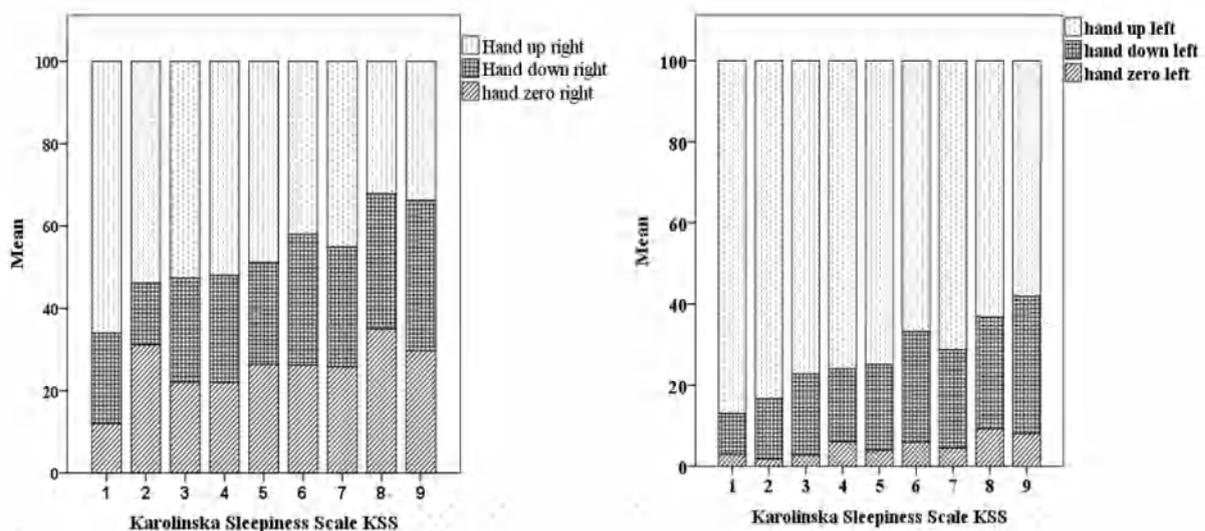


Figure 5. 8 : Moyenne de trois positions de la main droite et gauche sur 9 niveaux de somnolence KSS

## Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence

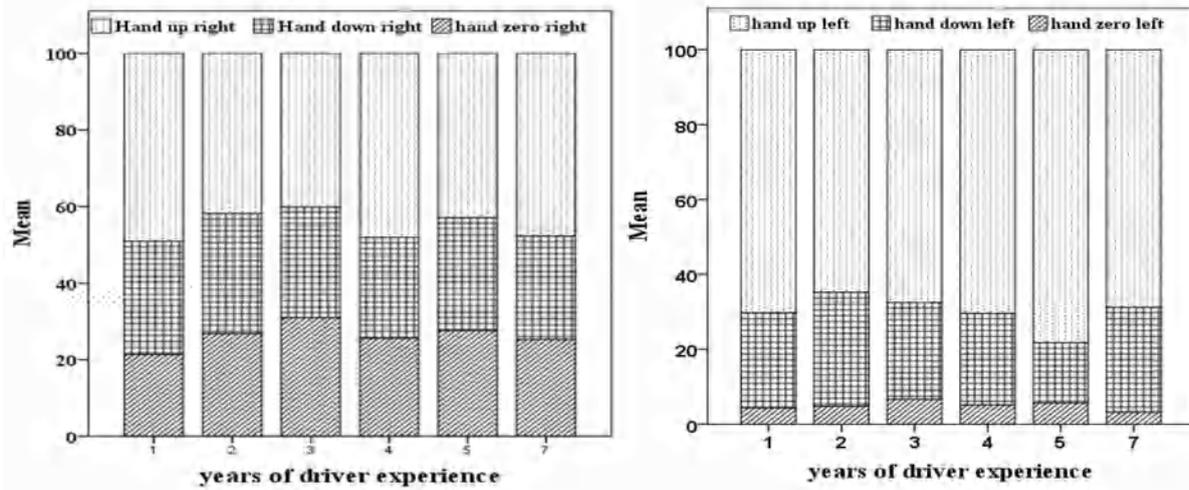


Figure 5. 9 : Moyenne de trois positions de la main droite par année d'expérience de conduite

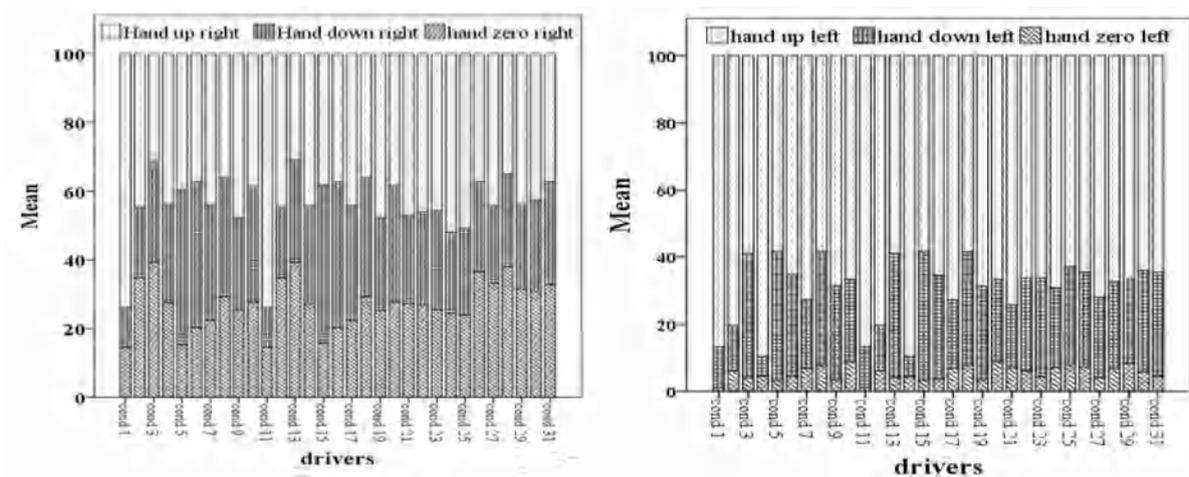


Figure 5. 10: Moyenne des trois positions de la main droite et de la main gauche pour 31 conducteurs

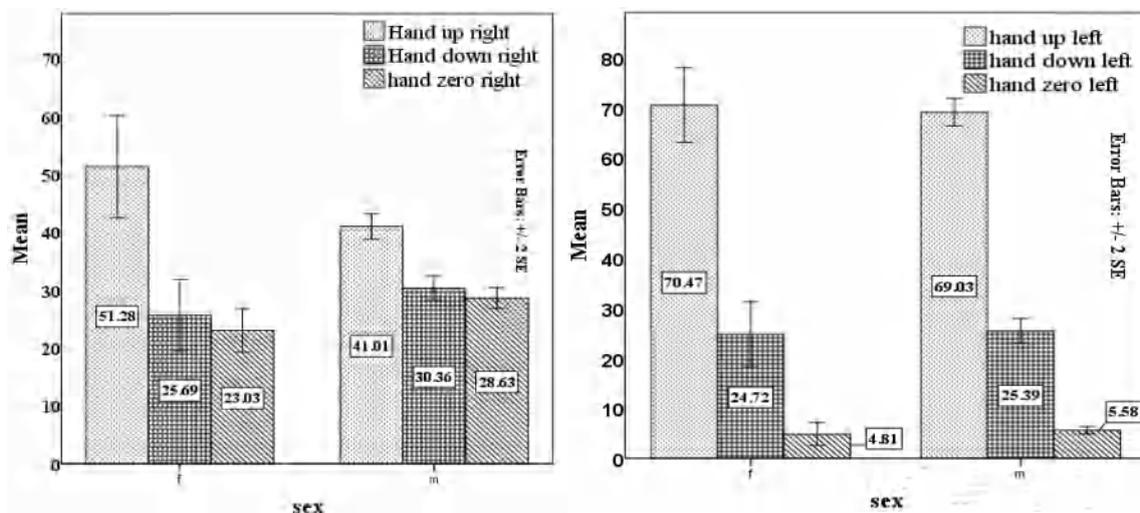


Figure 5. 11 : Répartition de la position des mains droite et gauche pour chaque sexe. Les barres d'erreur représentent les erreurs standard de la moyenne

## *Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence*

Tableau 5. 3 : Analyse de variance (ANOVA) sur les effets de la somnolence de fatigue de 4 séances de conduite successives de 3h sommeil sur KSS, PRT, ILC, VAS et sur la position de la main droite et gauche.

		df	$\chi^2$	P-value
KSS		3	103.14	< 0.001
PRT		3	56.04	< 0.001
ILC		3	92.23	< 0.001
VAS		3	105.41	< 0.001
Main droite	Hand up	3	63.87	< 0.001
	Hand down	3	48.58	< 0.001
	Zero hand	3	17.44	< 0.001
Main gauche	Hand up	3	62.8	< 0.001
	Hand down	3	49.13	< 0.001
	Zero hand	3	47.61	< 0.001

Tableau 5. 4 : Corrélation entre les facteurs de performance du conducteur et les différentes positions des mains.

	Main droite		Main gauche	
	r	PV	r	PV
Hand up × KSS	-0.50	0.00	-0.54	0.00
Hand up × ILC	-0.50	0.00	-0.51	0.00
Hand up × PRT	-0.40	0.00	-0.46	0.00
Hand down × KSS	0.47	0.00	0.44	0.00
Hand down × ILC	0.56	0.00	0.44	0.00
Hand down × PRT	0.45	0.00	0.40	0.00
Zero hand × KSS	0.23	0.00	0.49	0.00
Zero hand × ILC	0.11	0.18	0.37	0.00
Zero hand × PRT	0.10	0.25	0.34	0.00

Tableau 5. 5 : Moyennes et écart-types, maximum, minimum des trois positions (hand up hand down hand zero) de la main gauche et de la main droite sur le volant pour chaque sexe.

		Main droite						Main gauche					
		Hand up (km)		Hand down (km)		Hand zero (km)		Hand up (km)		Hand down (km)		Hand zero (km)	
		Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET	Moyen	ET
Sex	f	51.28	24.9	25.69	17.42	23.03	10.57	70.47	21.1	24.72	18.54	4.81	6.44
	m	41.01	10.56	30.36	9.87	28.63	8.54	69.03	12.99	25.39	12	5.58	3.56

## *Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence*

Tableau 5. 6 : Résultats de l'ANOVA pour :31 conducteurs, les deux sexes et 6 groupes d'expérience de conduite différents.

		Personnalité		Années d'expérience	sex		
ANOVA Kruskal Wallis test	Main droite	up hand	df	30	5	U	1092
			x <sup>2</sup>	30.98	2.41	Z	-2.17
			PV	0.41	0.78	PV	0.02
		down hand	df	30	5	U	1106.5
			x <sup>2</sup>	49.46	2.61	Z	-2.08
			PV	0.01	0.75	PV	0.03
	Main gauche	zero hand	df	30	5	U	930
			x <sup>2</sup>	68.81	2.76	Z	-3.1
			PV	0.00	0.73	PV	0.001
		up hand	df	30	5	U	1297
			x <sup>2</sup>	43.98	0.52	Z	-0.99
			PV	0.04	0.99	PV	0.31
down hand	df	30	5	U	1328.5		
	x <sup>2</sup>	51.68	0.59	Z	-0.82		
	PV	0.00	0.98	PV	0.41		
zero hand	df	30	5	U	955.5		
	x <sup>2</sup>	45.45	2.44	Z	-2.98		
	PV	0.03	0.78	PV	0.002		

Mann-Whitney Test

### 5.4 Discussion

On sait que les humains sont affectés par les mêmes variables biologiques, notamment l'heure de la journée, les heures de sommeil et les heures d'éveil. Par conséquent, lors de l'étude de la somnolence du conducteur, nous devons prendre en compte non seulement des facteurs humains spécifiques, mais aussi reconnaître les limites de leurs différents points critiques qui dépendent du facteur temps [245].

En fait, cette étude a été considérée pour déterminer la relation entre l'impact de la somnolence (c'est-à-dire l'éveil prolongé) et la fatigue (c'est-à-dire la conduite nocturne prolongée) sur les positions des mains au volant qui ont été classées en trois positions pour chaque main.

De nombreux facteurs peuvent influencer sur le positionnement des mains, notamment les habitudes au volant, la conception du véhicule et les conditions de la route [232, 245]. Cependant, la position des mains recommandée est 10 à 2 h pour un contrôle extrême lors de la

## *Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence*

---

conduite d'un véhicule [230]. Par ailleurs, dans cette étude, nous avons trouvé une relation statistiquement significative entre « fatigue et somnolence » et la position de chaque main (droite, gauche) sur le volant pour une distance de conduite 400 km. Par conséquent, nous avons remarqué que la plupart des jeunes conducteurs n'aiment pas placer leurs mains sur la moitié supérieure du volant lorsqu'ils sont somnolents ou fatigués, comme le montre dans figure 5.7.

En outre, la somnolence et/ou la fatigue cumulées causées par une longue conduite sont incitées à contribuer au changement de position des mains, de la position "hand up" à la position "hand down" ou "hand zéro", ce qui signifie mettre les mains dans une situation critique Figure. 5.8, et donc diminuer la performance de conduite (ILC, PRT). Par conséquent, nous avons indiqué que dormir 3 heures par jour n'est pas suffisant pour conduire 400 km successifs sur l'autoroute.

Cependant, mettre une main peut être plus naturel que de conduire avec deux mains sur 10-2 heures au volant [228, 246]. De plus, la position des mains sur le volant n'est pas liée aux années d'expérience (Figure 5.9), ou à personnalité (Figure 5.10) des jeunes conducteurs. L'idée que chaque conducteur a un comportement de conduite particulier est observable dans la position de la main sur le volant, ce qui est confirmé par cette expérience.

Par ailleurs, nous avons aussi conclu que la main gauche était placée sur le volant plus que la main droite tout au long de l'expérience, en outre, les femmes sont aussi plus insistantes que les hommes en ce qui concerne le fait de mettre la main droite en partie supérieure du volant, sur les conditions de l'autoroute, voir Figure 5.11.

Certaines études précédentes ont soutenu l'idée que les performances de conduite peuvent être évaluées par des facteurs de risque liés au temps [229, 247]. Par conséquent, les conducteurs ne peuvent pas éviter les accidents quand les temps de réaction sont longs. Pour étudier la capacité des conducteurs à éviter les accidents, leur temps de réaction moyen n'est pas aussi important que leur temps de réaction maximum [248].

les résultats présentés par les tests de jeunes conducteurs d'un scénario spécifique pour un facteur PRT(max=2,7 s pour h=1, Max=3,5 s pour h=2 max=4 s et max= 5,8 s h=4) faites nous amènent à conclure que le temps de réaction des signaux aléatoires (comme dans notre test) est plus élevé que le temps de réaction normal pour éviter un accident de la circulation [249], et cette différence augmente avec l'augmentation de la valeur de la fatigue et de la somnolence. Cela peut s'expliquer par le fait que le conducteur se concentre principalement sur la route et les voitures environnantes.

D'autre part, l'évolution des infrastructures, sécurité des véhicules et des systèmes d'aide à la conduite (régulateur de vitesse, freins ABS, ESP, GPS, etc.) ont contribué à simplifier la tâche de conduite, pour cette raison, de nouvelles formes d'accidents sont apparues en raison de la fatigue et du manque d'attention du conducteur [250]. Par conséquent, les jeunes conducteurs préfèrent mettre leurs mains sur la partie inférieure du volant « 4,5,7,8 » pour augmenter leur zone de confort dans le véhicule. Par ailleurs, la fatigue due à la monotonie, des stimulants

## *Chapitre 05 : Évaluation de la position des mains sur le volant pendant la fatigue et la somnolence*

---

hautement répétitifs et prévisibles,[251] et même des simulateurs peuvent également être une raison de changer la position de la main sur le volant.

### **5.5 Limites**

Des raisons de sécurité nous ont empêchés d'examiner le cas de conduite sur une route publique, ce cas devrait être examiné sur une autoroute réelle pour confirmer ces résultats. Ainsi, une limitation plus sérieuse concernant le simulateur est qu'il est difficile de simuler de manière réaliste un environnement routier dynamique et complexe, et généralement l'étude du simulateur est très propre et prévisible. Reconnaisant que les résultats actuels soient limités par une taille d'échantillon relativement petite (31 jeunes conducteurs avec seulement 8 femmes), et sont également limités à 3 heures de sommeil par jour, ce qui signifie qu'il est possible de trouver une certaine signification au hasard. De plus, nous avons donné des instructions pour sélectionner uniquement les conducteurs qui utilisent la main droite dominante.

### **5.6 Conclusion**

Les positions des mains sur le volant pourraient être un facteur majeur qui peut optimiser les systèmes d'aide à la conduite de fatigue et de somnolence, en particulier sur l'autoroute. Notre travail nous a amenés à conclure que 3 heures de sommeil par jour et 4 heures de conduite sur l'autoroute en simulateur étaient suffisantes pour mettre les conducteurs dans un niveau élevé de fatigue et de somnolence  $KSS = 9$ , qui a aussi un effet sur la position des mains au volant, cet effet n'est pas le même entre main droite et gauche ou même entre mâle et femelle. De plus, la position des mains n'a rien à voir avec les années d'expériences ou de personnalité chez les jeunes conducteurs. Par conséquent, la plupart des jeunes conducteurs ne peuvent pas rester stables dans une position au volant pendant longtemps.

Dans cette étude, La position des mains sur le volant a été calculée d'une manière manuelle très fatiguée qui nécessite beaucoup d'attention et peut entraîner certaines erreurs dans le processus de calcul. Par conséquent, dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons sur la façon de calculer automatiquement la position des mains sur le volant.

---

***Chapitre 06 : Création  
un système intelligent  
pour détecter le  
comportement des  
mains au volant.***

---

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

### 6.1 Introduction

Lorsque nous regardons des images ou des vidéos, nous pouvons facilement localiser et identifier les objets qui nous intéressent en quelques instants. La transmission de cette intelligence aux ordinateurs n'est rien d'autre que la détection, la localisation et l'identification d'objets.

L'intelligence artificielle est un vaste domaine de recherche qui a connu une révolution rapide ces dernières années grâce au développement de matériels de traitement de données. Parmi les domaines de recherche les plus connus en IA, il y a le "deep learning" ou l'apprentissage profond, ainsi que le traitement d'images. Grâce à ces algorithmes, il est possible d'analyser les images, de détecter et de reconnaître les objets dans les images et les vidéos

Dans ce chapitre, nous allons utiliser l'algorithme de traitement d'images Yolo pour créer un programme permettant de détecter et de calculer la position des mains sur un volant automatiquement.

### 6.2 Qu'est-ce que la détection d'objets ?

La détection d'objets est une technologie informatique liée à la vision par ordinateur et au traitement d'images qui traite de la détection d'instances d'objets sémantiques d'une certaine classe (tels que des humains, des bâtiments ou des voitures) dans des images et des vidéos numériques. La détection d'objets est l'une des applications pratiques les plus intéressantes dans les transports, par exemple elle est utilisée dans la surveillance du trafic, le pilotage automatique des véhicules et dans la construction de systèmes d'aide à la conduite [252].

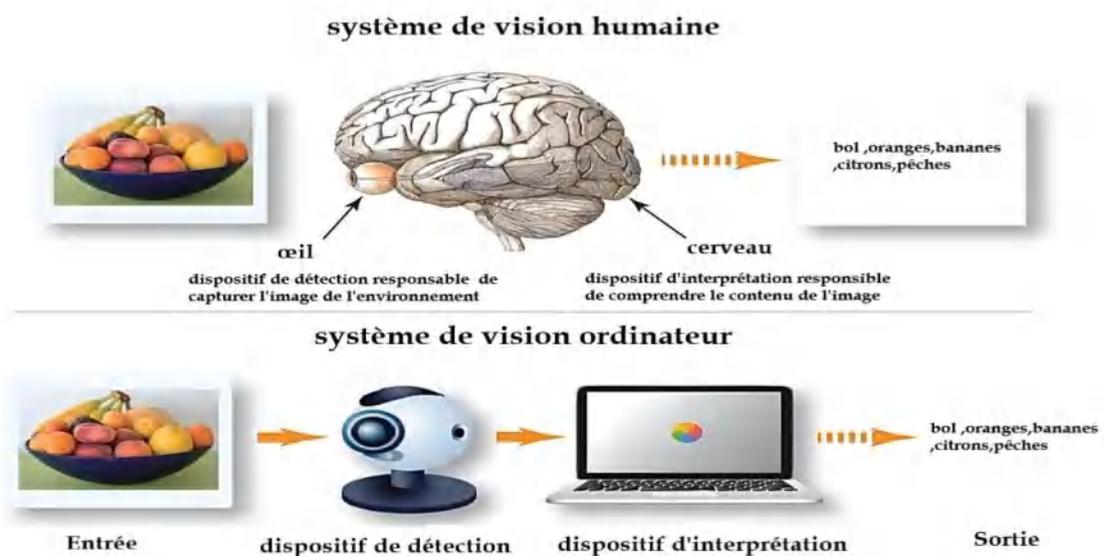


Figure 6. 1: Détecter les objets entre l'homme et l'ordinateur

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

De plus, La localisation et la détection d'objets peuvent être utilisées pour identifier plusieurs objets dans des scènes complexes. Cela peut ensuite être appliqué à des fonctionnalités telles que le comptage de personnes, la détection de visages, la détection de texte, la détection de pose ou la reconnaissance de plaques minéralogiques...etc. [253]

Le problème de la détection d'objets est plus complexe que la classification, qui peut également reconnaître des objets mais n'indique pas où se trouve l'objet dans l'image. De plus, la classification ne fonctionne pas sur les images contenant plus d'un objet. Par contre la détection implique à la fois la classification de chaque objet dans l'image et sa localisation[254].

La localisation d'image est utilisée pour déterminer où se trouvent les objets dans une image. Une fois identifiés, ils sont marqués d'un cadre de délimitation qui classe et s'étend autour des objets identifiés. Ce processus est basé sur des réseaux de neurones convolutifs.

Autrement dit, L'emplacement est indiqué en dessinant un cadre de délimitation autour de l'objet. Le cadre de délimitation peut ou non localiser avec précision la position de l'objet. Il est naturel que la détection d'objets anticipe trop de cadres de délimitation.

De plus, chaque case a un score de confiance qui indique la probabilité que le modèle pense réellement que l'image contient un objet. Au final, toutes les cases dont le score tombe en dessous d'un bord spécifique sont supprimées. La capacité de localiser l'objet à l'intérieur d'une image définit les performances de l'algorithme utilisé pour la détection.

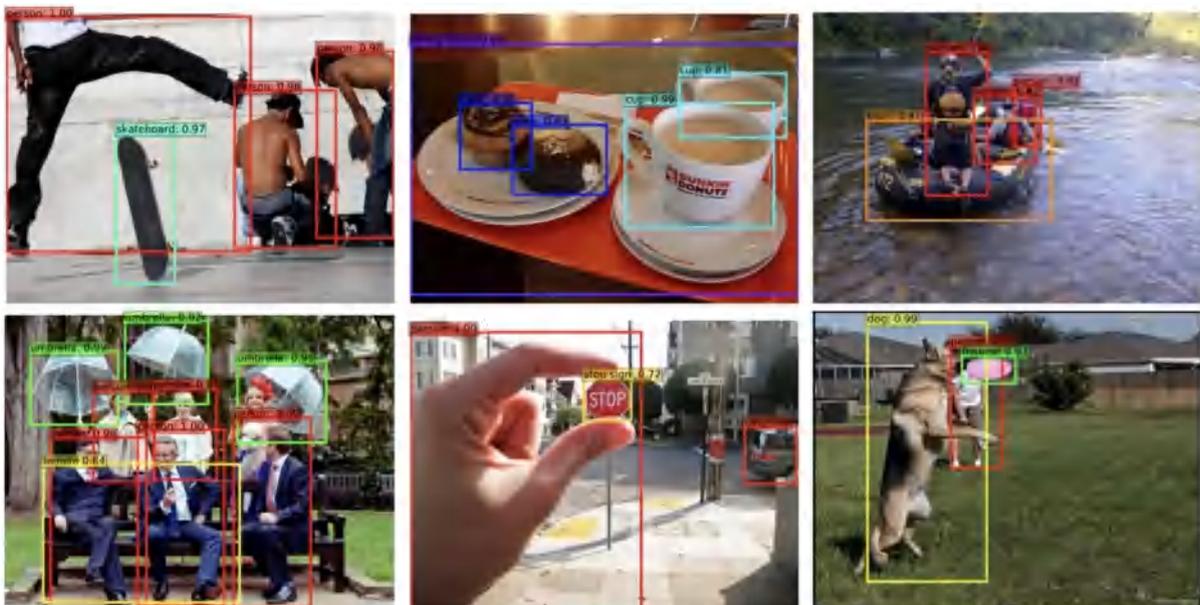


Figure 6.2 :Détection d'objets [255].

### 6.3 Les méthodes de localisation et détection des objets

Actuellement, les cadres de détection d'objets basés sur l'apprentissage profond peuvent être principalement divisés en deux types (figure 6.3) : notamment les méthodes basées sur la proposition de régions (DéTECTEURS à deux étages) et les méthodes basées sur la régression (DéTECTEURS à un étage) [256].

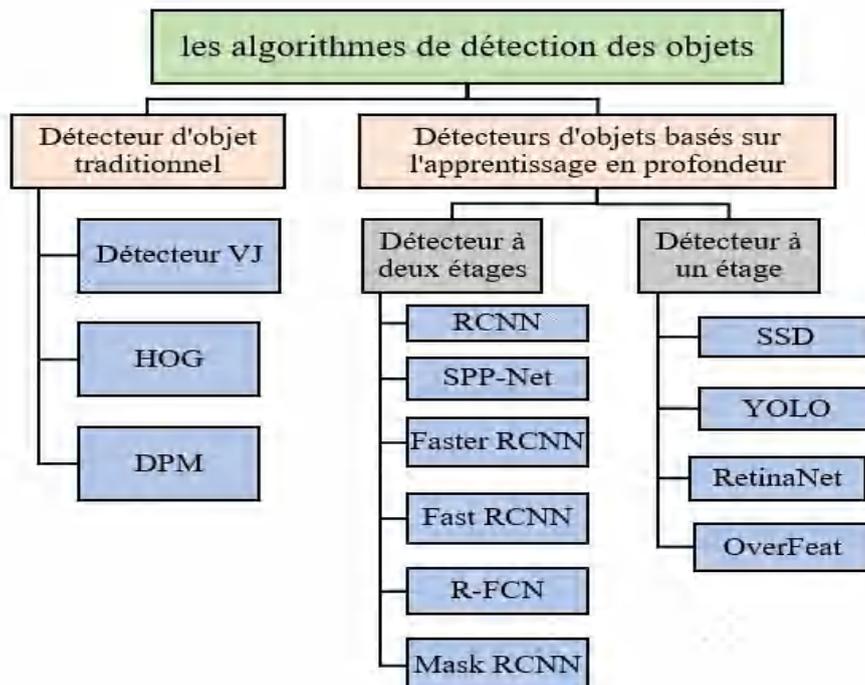


Figure 6.3 : principales catégories de détecteur d'objet [257, 258]

#### 6.3.1 Détecteurs à deux étages

Les détecteurs à deux étages ont donné une plus grande précision avec de meilleures performances et ont fourni des résultats optimaux que les détecteurs à un étage dans la détection d'objets [256], mais ils sont généralement plus lents que les détecteurs à un étage, car ils ont deux étapes : extraire d'abord les propositions de régions, puis classer chaque proposition et prédire la boîte englobante. Même en limitant le nombre de régions à traiter, les améliorations de performance ne sont pas suffisantes pour faciliter le fonctionnement en temps réel [259].

#### 6.3.2 Détecteurs à un étage

Le détecteur à un étage prédit directement la classe et l'emplacement de l'objet en utilisant un seul réseau neuronal convolutif (le réseau est capable de trouver tous les objets d'une image en un seul passage via le convnet). Les détecteurs à un étage sont beaucoup plus rapides et les plus demandés pour les applications de détection d'objets en temps réel. Yolo est l'algorithme le plus important à cet étage [260].

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

### 6.4 Algorithme Yolo

Yolo est un algorithme de détection d'objets basé sur un réseau neuronal profond. Il a été inventé en 2015 par Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick et Ali Farhadi [261]. Il est le résultat de longues années de recherches, comme en témoigne la chronologie des algorithmes de détection d'objets de la figure 6.4 :

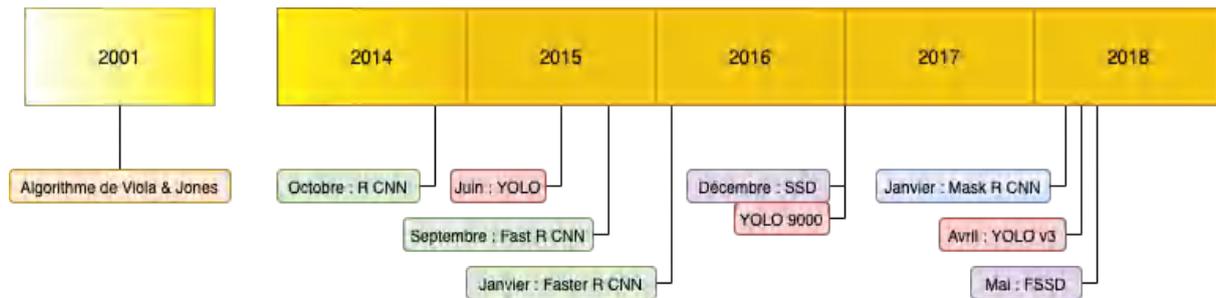


Figure 6. 4 : Historique de algorithmes de détection

YOLO (You Only Look Once) est un algorithme de détection d'objets connu pour sa grande précision et sa rapidité. Contrairement à ses prédécesseurs tels que les R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks) qui détectent des objets en parcourant l'image en différentes étapes, au contraire YOLO ne regarde l'image qu'une seule fois (d'où son nom), ce qui accélère considérablement l'ensemble du processus de détection et de localisation d'un objet dans la même image, d'autre part toutes les opérations dans le YOLO sont effectuées dans un seul Réseau de Neurones avec une vitesse de détection allant jusqu'à 45 images/seconde [261]. Il existe deux options pour démarrer la détection d'objets : en utilisant le modèle pré-entraîné ou en entraînant un modèle personnalisé en prenant des photos prédéfinies.

#### 6.4.1 Architecture Modèle YOLO V5 (2020)

YOLO divise l'image en un système de grille, et chaque grille détecte les objets en elle-même. Ils peuvent être utilisés pour découvrir des objets en temps réel sur la base de flux de données. Cela nécessite des ressources de calcul très importantes [262]. Généralement l'architecture de Yolo V5 se compose de trois pièces principales [263] :

- **Colonne vertébrale "Backbone"** : Un réseau de neurones convolutifs qui agrège et forme des caractéristiques d'image à différentes granularités ;
- **Cou "Neck"** : Une série de couches pour mélanger et combiner les caractéristiques de l'image pour les transmettre à la prédiction ;
- **Tête "Head"**: Consomme les caractéristiques du cou et effectue des étapes de prédiction de boîte et de classe.

L'architecture de modèle YOLOv5 est illustrée à la Figure 6.5 :

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

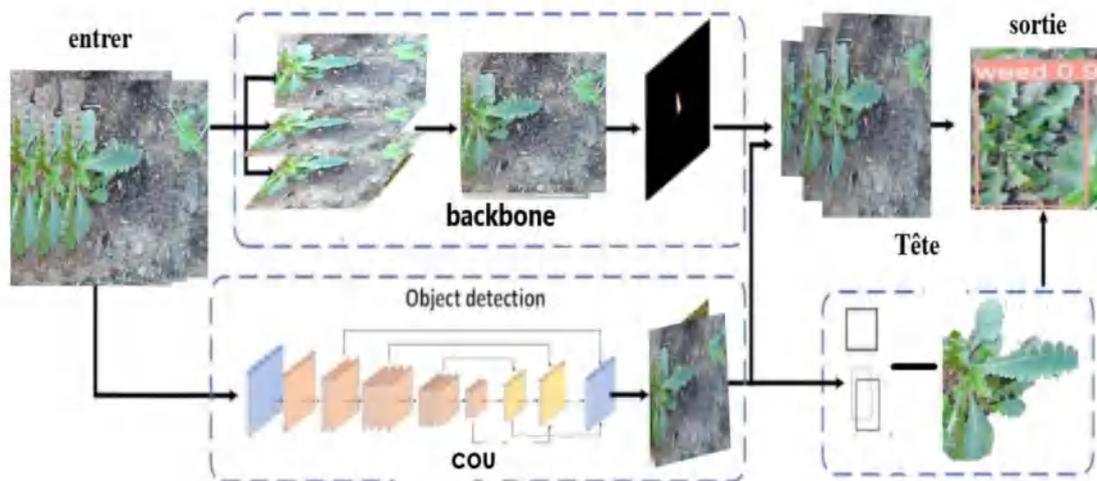


Figure 6. 5 :architecture de yoloV5 [262]

### 6.5 Etat de l'art de la détection des mains au volant

Au cours des dernières décennies, l'étude de la détection et du suivi des mains a été largement étudiée dans la communauté de la vision par ordinateur. En particulier, l'analyse du mouvement de la main est un sujet intéressant dans de nombreux domaines, comme l'interaction homme-machine [264], la compréhension du comportement humain [265] la reconnaissance d'action [266], les applications égocentriques [267, 268] et l'étude des conducteurs [269–271], en raison du fait que les mains sont une riche source d'informations pour étudier le mouvement, l'interaction entre l'homme et l'environnement et le comportement des personnes.

Dans le domaine de la conduite, plusieurs motivations essentielles existent pour l'étude position des mains humaines, tels que la sécurité des conducteurs, car une détection réussie de la position des mains fournira un indicateur clé pour évaluer le niveau d'attention du conducteur à la route, à cause que les conducteurs s'engagent souvent dans des tâches de conduite secondaires distrayantes qui impliquent l'utilisation des mains, comme envoyer des SMS ou manger...etc. [272]. De plus, les mains du conducteur offrent une modalité unique de compréhension du comportement du conducteur [273]. Lors d'une manœuvre sur une autoroute ou d'un virage à une intersection, ils fournissent également des informations sur le style et le niveau d'expérience du conducteur. Par ailleurs, des études de conduite naturalistes à grande échelle pourraient énormément bénéficier d'une analyse automatique ou semi-automatique des mains du conducteur et des tâches secondaires.

Récemment, l'étude sur la conduite naturelle (SHRP-2-) a recueilli des données préliminaires auprès de 3 100 conducteurs tout au long de leurs routines de conduite quotidiennes, contenant des données provenant de l'intérieur et de l'extérieur du véhicule à l'aide de capteurs de caméra [274]. L'objectif de l'étude est de comprendre le rôle du comportement du conducteur dans la sécurité des véhicules. L'étude est utile car les conditions pré-collision et les modèles de comportement du conducteur peuvent être examinés en détail,

## *Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant*

---

ce qui peut mettre en évidence le rôle que joue le comportement du conducteur dans une collision en montrant comment les conducteurs utilisent leurs mains pour reprendre le contrôle du véhicule, et fournit des informations précieuses sur la conception des systèmes de conduite autonome.

En outre, Ohn-Bar et al. ont proposé une approche basée sur la vision par ordinateur pour analyser l'activité de la main en temps réel. Les mains sont détectées et suivies par une seule caméra, ensuite, les trajectoires de mouvement sont étudiées dans des paramètres de reconnaissance d'activité, de prédiction d'activité et de détection d'événements anormaux [271]. Martin et al. ont utilisé deux caméras différentes : l'une regardant les mains du conducteur et l'autre regardant la tête du conducteur [275]. De cette manière, des informations visuelles sont extraites et des données sur les mains et la tête sont combinées pour effectuer une analyse du comportement du conducteur [276]. d'autres recherches ont montré que le suivi des mains permet l'analyse des mouvements préparatoires aux manœuvres, ce qui pourrait être utile pour fournir des alertes et un soutien au conducteur pendant l'activité de conduite [277, 278].

Par ailleurs, plusieurs techniques ont été proposées pour la détection des mains dans la voiture, sur la base de différents types d'entrée [279] : les signaux physiologiques, comme l'EEG, l'ECG et l'EMG, les signaux du véhicule, et les signaux physiques, collectés à partir des caméras dans la cabine. D'autres techniques de détection des mains humaines à partir d'images couleur se sont concentrées principalement sur les caractéristiques de la peau (couleur, texture ou les deux) [280, 281]. Cependant, ces approches échouent à traiter une grande variété de changements d'éclairage ou à travailler sur des scènes inconnues sur lesquelles ils n'ont pas été formés auparavant.

Les progrès récents de l'apprentissage profond et des réseaux de neurones convolutifs (ConvNets) ont permis d'entraîner des réseaux de neurones profonds pour la détection d'objets [282, 283] et en particulier la détection de mains [284, 285]. Ces techniques d'apprentissage peuvent donner de très bons résultats, et leur performance dépend fortement de la qualité des paramètres préalablement trouvés. Il existe plusieurs façons d'extraire et de décrire les paramètres du modèle. Très récemment, le système de détection d'objets You Only Look Once (YOLO) [40] basé sur ConvNets a attiré l'attention de la communauté des chercheurs, principalement en raison de ses performances en temps réel. Il surpasse les autres systèmes de détection en termes de vitesse et offre d'excellentes capacités de généralisation lorsqu'il est appliqué à de nouveaux domaines ou à des entrées inattendues.

Par conséquent, nous proposons une méthode en temps réel pour détecter si les mains du conducteur sont ou non sur le volant et dans quelle position, basée sur la dernière version de l'algorithme de détection de l'IA (Yolo V5). La méthode présentée est considérée comme une première contribution au système de calcul automatique de la position des mains au volant et peut être considérée comme une étape pour le développement de systèmes de divertissement et d'information basés sur l'interaction homme-voiture.

## *Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant*

---

### **6.6 Implémentation et résultats**

#### **6.6.1 Matériel utilisé**

Notre projet a été développé sur un PC portable ASUS Zenbook ux450 avec les caractéristiques suivantes :

- Processeur : Intel(R) Core(TM) i7-8565U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz
- Capacité Mémoire (RAM) : 8.00 Go
- Capacité disque dur : 256 Go SSD
- Capacité GPU : GTX 1050
- Système d'exploitation : Windows 10 Famille (64 bits)

#### **6.6.2 Langage de programmation**

##### **6.6.2.1 Python**



Python est un langage de programmation créé en 1989 par Guido van Rossum au centre de recherche CWI aux Pays-Bas. Il est un langage de programmation de haut niveau simple à apprendre et polyvalent. La syntaxe simple et élégante de Python en fait l'un des langages de programmation idéaux pour le développement rapide des applications. Il est aussi le plus utilisé dans le domaine de l'intelligence artificielle, notamment dans le "deep learning" et le traitement d'images, car il contient un grand nombre de bibliothèques puissantes et préprogrammées qui utilisent des réseaux de neurones. Certains des systèmes renommés développés en Python sont YouTube, Google Search, Bit Torrent, ...etc [286].

Pour nos expérimentations, nous avons choisi Python version 3.7 et 3.9. Les raisons de ce choix sont multiples : Il offre une grande flexibilité, une communauté riche qui fournit une source de documentation non négligeable et une parfaite intégration d'un large éventail des bibliothèques de recherches et de traitement d'images.

##### **6.6.2.2 Bibliothèque Open CV**



OpenCV est une bibliothèque graphique libre, initialement développée par Intel, spécialisée dans le traitement d'images en temps réel. Tous ses travaux et recherches sont dans le domaine open source. Un des buts d'OpenCV est d'aider les gens à construire rapidement des applications sophistiquées de vision à l'aide d'infrastructure simple. Il propose un ensemble de plus de 2500 algorithmes de vision par ordinateur, accessibles au travers d'API (interface de programmation d'application) pour les langages C, C++, et Python [287]. La bibliothèque d'OpenCV contient plus de 500 fonctions [288] telles que:

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

---

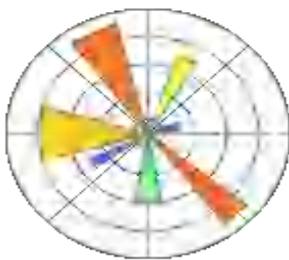
- Lecture, écriture et affichage d'une image et vidéo ;
- Calcul de l'histogramme des niveaux de gris ou d'histogrammes couleurs ;
- Lissage, filtrage ;
- Détection de droites, de segment et de cercles ;
- Cascade de classifieurs ;
- Détection de mouvement, historique du mouvement ;
- Détection de points d'intérêts ;
- Toutes les opérations matricielles.

### 6.6.2.3 Bibliothèque NumPy



NumPy ( l'abréviation de Numerical Python) est une bibliothèque pour langage de programmation Python, destinée à manipuler des matrices ou tableaux multidimensionnels ainsi que des fonctions mathématiques opérant sur ces tableaux. Plus précisément, cette bibliothèque logicielle libre et open source fournit de multiples fonctions permettant notamment de créer directement un tableau depuis un fichier ou au contraire de sauvegarder un tableau dans un fichier, et manipuler des vecteurs, matrices et polynômes.

### 6.6.2.4 Bibliothèque Matplotlib



Matplotlib est une bibliothèque de traçage et de visualisation utilisée pour les graphiques 2D et 3D dans le langage de programmation python. Elle peut être utilisée dans les scripts python, les shells , les serveurs d'applications web et autres outils d'interface utilisateur graphique [289] . L'un des plus grands avantages de la visualisation est qu'elle nous permet d'accéder visuellement à d'énormes quantités de données sous la forme d'images faciles à interpréter. Matplotlib dispose aussi d'une fonction pour générer les graphiques comme la ligne, la barre, la dispersion, l'histogramme ...etc., en quelques lignes de code [290].

### 6.6.2.5 Bibliothèque TensorFlow



TensorFlow est une bibliothèque open source d'apprentissage automatique. Il s'agit d'une boîte à outils et un écosystème complet et flexible de ressources communautaires permettant de résoudre des problèmes mathématiques extrêmement complexes avec aisance. Elle permet aux chercheurs de développer des architectures d'apprentissage expérimentales et de les transformer en logiciels[291].

### 6.6.2.6 MediaPipe



MediaPipe est une bibliothèque multiplateforme développée par Google qui fournit des solutions ML prêtes à l'emploi étonnantes pour les tâches de vision par ordinateur. Certaines des principales applications de MediaPipe sont [292]:

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

---

- Suivi multi-mains ;
- Détection facial Détection et suivi d'objets ;
- Détection et suivi d'objets 3D ;
- Suivi de mouvement instantané, Segmentation des cheveux... etc.

### 6.6.2.7 PyTorch



PyTorch est une bibliothèque d'IA, développée par Meta (Facebook), écrite en Python pour se lancer dans le deep learning (ou apprentissage profond) et au développement de réseaux de neurones artificiels. L'objectif de ce framework est de permettre l'implémentation et l'entraînement de modèles de Deep Learning de manière simple et efficace, soit par le processeur « CPU » soit, lorsque c'est possible, par un processeur graphique « GPU ».

### 6.6.3 Environnement de programmation

#### 6.6.3.1 Google Colab



Colab est un environnement de programmation développé par Google. Il permet à quiconque d'écrire et d'exécuter le code Python de son choix via le navigateur à l'aide de bibliothèques populaires telles que Keras, TensorFlow, PyTorch et Open CV. C'est un environnement particulièrement adapté à l'apprentissage automatique, à l'analyse de données et à l'éducation. En termes plus techniques, Colab est un service hébergé de notebooks Jupyter qui ne nécessite aucune configuration et offre un accès sans frais à des ressources informatiques, y compris les GPU. Ce dernier est la fonctionnalité la plus importante qui distingue Colab des autres services cloud gratuits.

#### Pourquoi les GPU ?

Les GPU sont très rapides et performants, car ils sont efficaces pour la multiplication de matrices et la convolution (les couches de réseau de neurone). Au cours de la dernière décennie, les GPU ont pris une place essentielle dans des domaines comme le jeu vidéo, les cryptomonnaies et les superordinateurs. Ils sont aussi très utilisés dans Deep Learning car les modèles requièrent beaucoup de temps pour s'entraîner et les CPU ne sont pas suffisamment efficaces pour effectuer autant de calculs simultanément que les GPU.

En général, un CPU complète les tâches de manière séquentielle. Il peut être divisé en quelques cœurs (typiquement 8 ou 16 cœurs), et chaque cœur peut effectuer une tâche différente, tandis qu'un GPU est doté de centaines ou de milliers de cœurs dédiés simultanément à une tâche unique. La parallélisation des traitements est fondamentale dans le design des algorithmes pour GPU, c'est pourquoi programmer des instructions sur GPU est complètement différent de la programmation traditionnelle sur CPU.

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

Colab propose un GPU Nvidia Tesla K80 gratuit qui est une véritable bête de performance. Nous utiliserons ce GPU pour former notre réseau de neurones sur le cloud et profiter des performances rapides et sans tracas.[293].

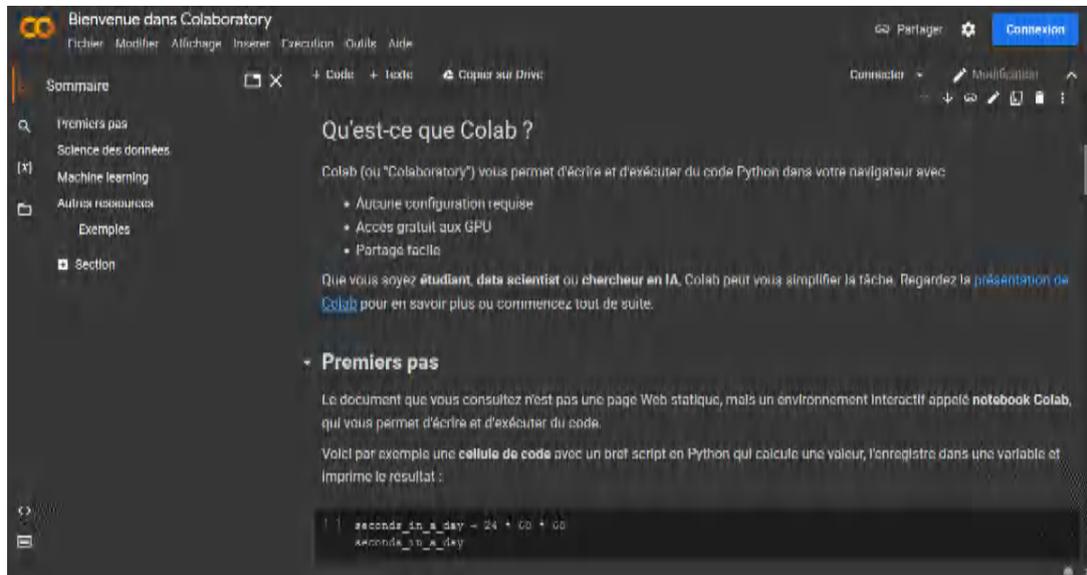


Figure 6. 6 : Environnement de Google Colab

### 6.6.3.2 PyCharm



PyCharm est un environnement de développement intégré (IDE) spécialisée pour les langages de programmation Python et Django, et est installé sur les ordinateurs. Il offre des fonctionnalités d'édition riches et nombreuses: l'analyse de code, un débogueur graphique, la gestion des tests unitaires, la complétion automatique du code ainsi que sa factorisation., etc.

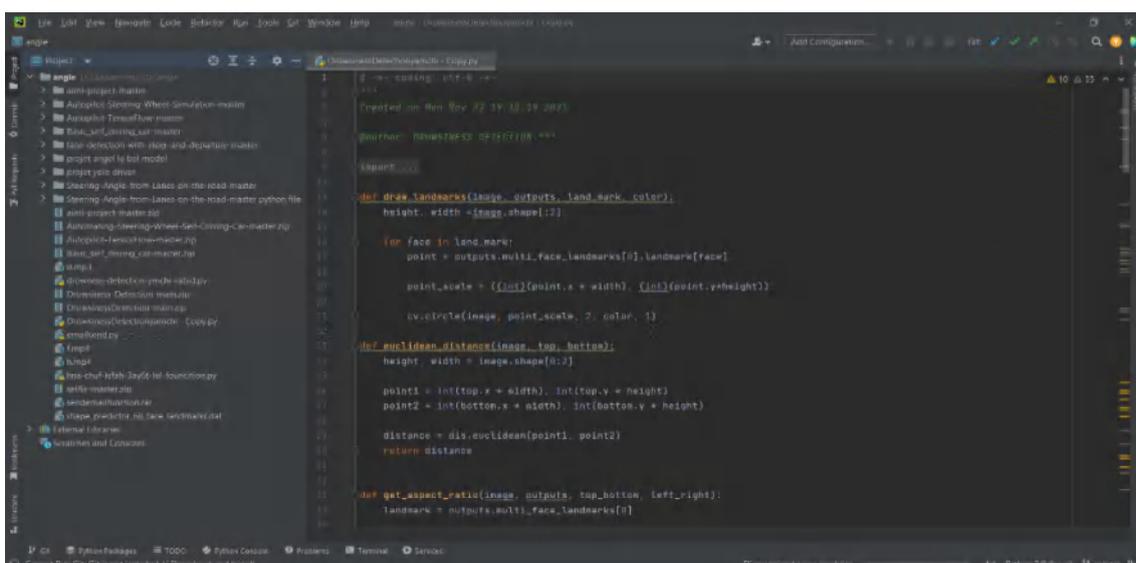


Figure 6. 7 : programme PyCharm

## ***Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant***

---

### **6.6.3.3 CUDA**



CUDA (Compute Unified Device Architecture) est une technologie de GPGPU (General-Purpose Computing on Graphics Processing Units), initié par NVIDIA pour ses cartes graphiques. CUDA permet ainsi aux développeurs d'utiliser les ressources de la carte-graphique pour effectuer des calculs spécifiques. L'architecture hautement parallèle des GPU permet en effet de résoudre certains problèmes jusqu'à 200 fois plus rapidement qu'un processeur classique [294] .

### **6.6.4 Approche de détection et d'implémentation**

Notre approche se compose de 3 étapes :

- Détection de volant
- Détection des mains
- Calculer automatiquement le nombre de positions

#### ***6.6.4.1 Détection de volant***

Dans cette étape, nous allons créer notre modèle personnalisé en utilisant YOLO. L'idée est de faire apprendre à YOLO à détection un nouvel objet dans notre cas est volant. Nous allons donc devoir entraîner YOLO au google Colab. Il est nécessaire de respecter d'une part un certain nombre d'exigences (techniques, configuration et matériels) et d'autre part, posséder un jeu de données pour pouvoir faire apprendre correctement notre modèle.

##### ***6.6.4.1.1 Jeu de données***

La collecte de données est le processus de rassembler et de mesure d'information sur les variables cibles. Ce processus est le roi de l'apprentissage machine. On ne pourrait pas entraîner un algorithme de détection robuste sans un bon ensemble des données. Pour entraîner notre propre modèle, nous avons besoin de plusieurs d'échantillons, ce qui signifie que nous avons besoin de nombreuses images montrant volant (461 photos de Google et YouTube). Ces images doivent être diverses en termes de qualité, d'arrière-plan, nature de l'objet et conditions d'éclairage. Voir la figure 6.9.

En conséquence, nous avons créé un dossier nommé "train\_data" qui contient deux dossiers avec le nom : images, labels (C'est très important qu'il soit nommé comme ça.). Dans le dossier images, nous avons aussi créé 2 dossiers (train et val) un pour les photos de train et deuxième pour les photos de validation. Dans le dossier labels, nous avons créé le dossier train et dossier val. Voir figure 6.8. (Toutes les données utilisées peuvent être téléchargées à partir d'un [lien](#) . Voir l'annexe).

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

Dans ce qui suit, les photos du jeu de données sont copiées et divisées selon les exigences de l'algorithme d'apprentissage 75 % des images sont dans le dossier « train » et 25 % dans le dossier « val ».

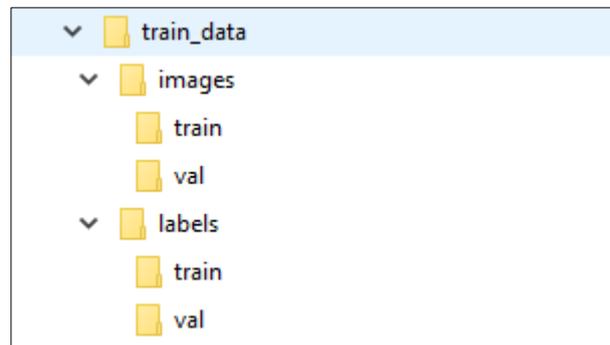


Figure 6. 8 : Architecteur de dossier du jeu de donnée

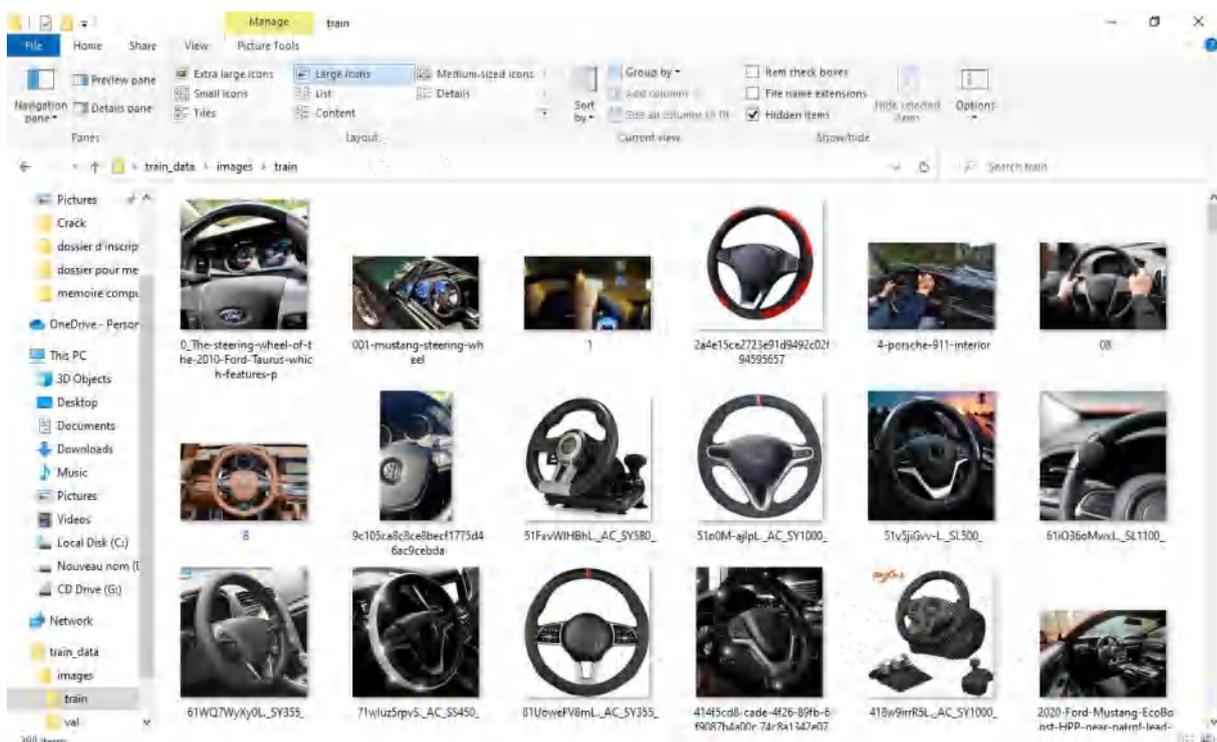


Figure 6. 9 : Jeu de donnée pour objet volant

### 6.6.4.1.2 Créer des labels

Cette étape consiste à détecter et à étiqueter l'objet volant dans l'ensemble de données afin que les données étiquetées puissent être utilisées dans le processus d'apprentissage machine (la phase d'entraînement) et nous ferons cette étape en utilisant le site web [MakeSense.AI](https://www.makesense.ai/)

L'utilisation de site [MakeSense.AI](https://www.makesense.ai/) consiste à dessiner des cadres autour des objets que nous souhaitons détecter dans les images, en les reliant aux classes ou bien catégories d'objets

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

correspondantes afin que nous puissions les montrer clairement au réseau de neurones, pour notre cas l'objet est volant. Voir figure 6.10

L'avantage de MakeSense.AI est qu'il nous permet de sauvegarder les annotations directement au format YOLO avec un fichier \*.txt par image



Figure 6. 10 : les annotations par site MakeSense.AI

Il est nécessaire d'enregistrer successivement les étiquettes d'images dans le dossier labels.

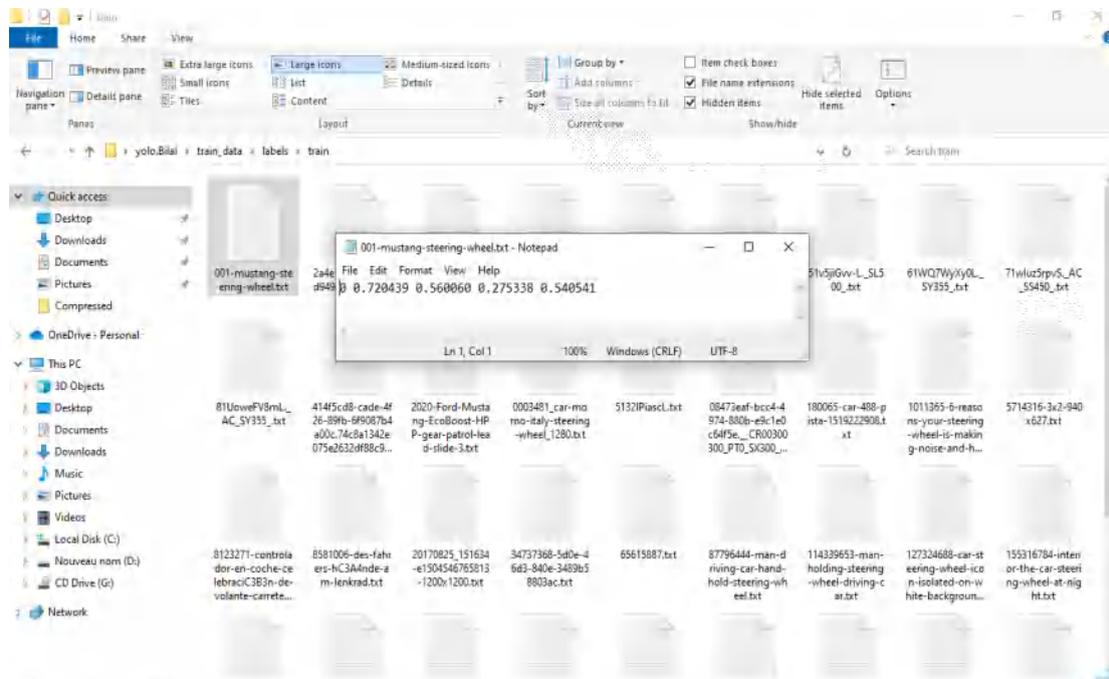


Figure 6. 11 : les labels de jeu de donne en forme .txt

Une fois que nous avons terminé la phase de collecte des images et ses annotations et les mettre en place dans le dossier train\_data, nous l'envoyons à notre Google Drive compte.

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

### 6.6.4.1.3 Sélectionnez un modèle

Nous sélectionnons un modèle pré-entraîné à partir duquel commencer l'entraînement, YOLOv5n est le modèle le plus petit et le plus rapide disponible.

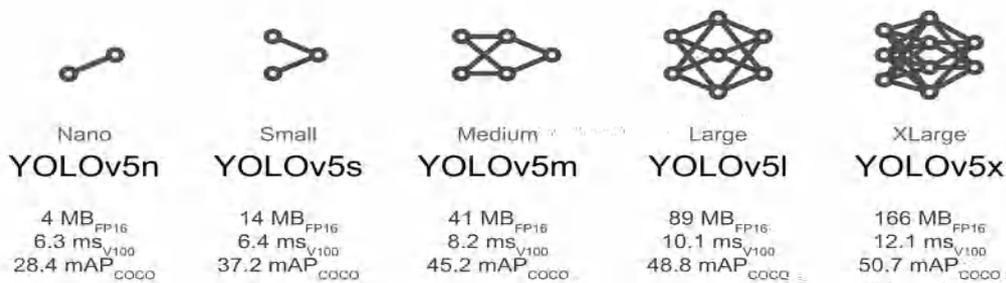


Figure 6.12 : les différentes architectures de Yolo existent

### 6.6.4.1.4 Entraînement YOLO en Colab

À ce stade, nous avons suivi ces étapes :

#### 1.Ouvrir Google Colab et créer une nouvelle session Notebook :

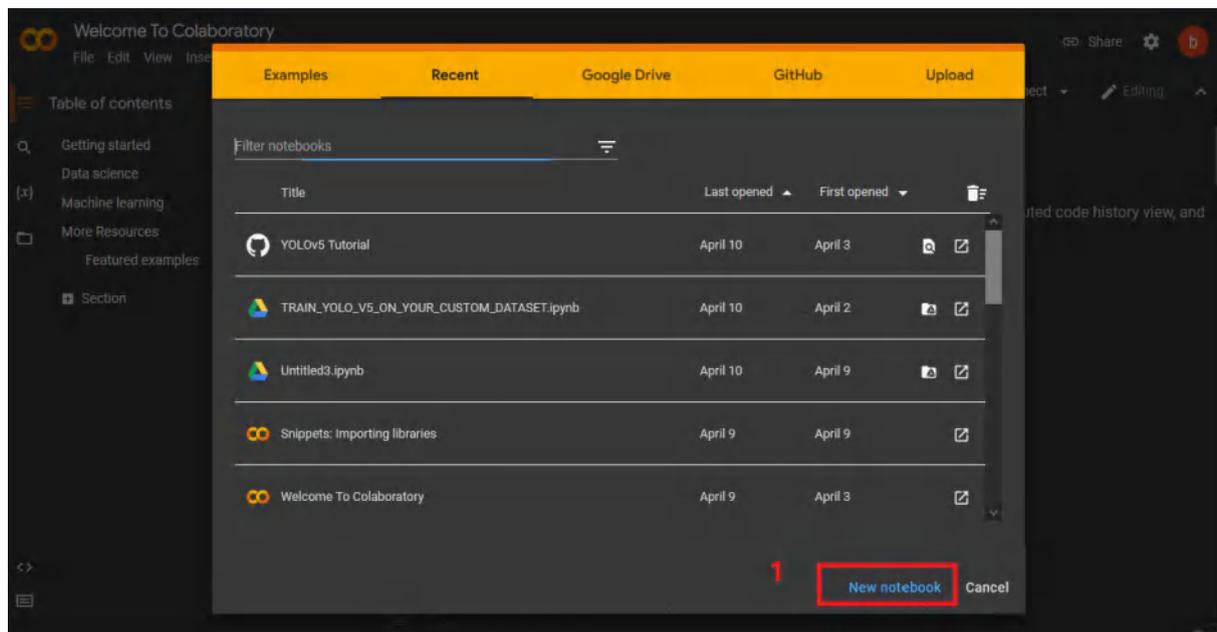


Figure 6.13 : Créer une nouvelle session

#### 2.Activation du GPU

Nous devons activer l'accélération GPU dans Google Colab afin que YOLO puisse traiter les détections 100 fois plus rapidement que le CPU [295] .

- Le GPU est activé par >> Cliquons sur Modifier (Edit) en haut à gauche de notre carnet (Notebook). >> Cliquons sur Paramètres (Notebook settings) dans la liste. >> Sélectionnons GPU et appuyez sur "Save". Voir figure 6.14.

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

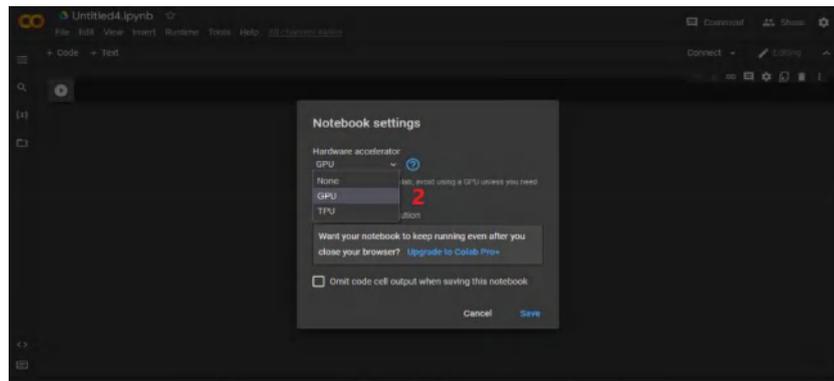


Figure 6. 14 : activation GPU in google Colab

### 3.Connexion de Google Drive avec Google Colab

Étant donné que Colab est un service Google, il permet de se connecter à un compte personnel Google Drive pour obtenir directement les données à utiliser dans l'entraînement du modèle ainsi que pour enregistrer les résultats plus tard.

Nous avons donc besoin d'une connexion entre Google Drive et Colab, Par conséquent, nous exécutons le code dans la figure 6.15. Après avoir connecté les deux derniers, nous pouvons ensuite afficher, modifier, créer, supprimer et envoyer des fichiers entre eux.

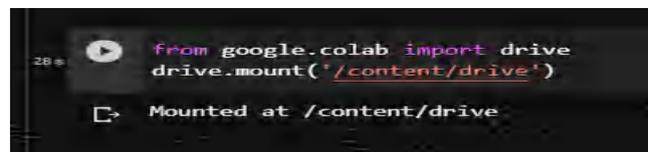


Figure 6. 15 : code de connexion google drive avec Colab

### 4.installer des bibliotheques

Nous avons utilisé deux codes pour installer toutes les bibliothèques nécessaires pour entraîner notre modèle. Voir figure 6.16 et 6.17.

- `!pip install mediapipe opencv-python`
- `!pip install -r requirements.txt`

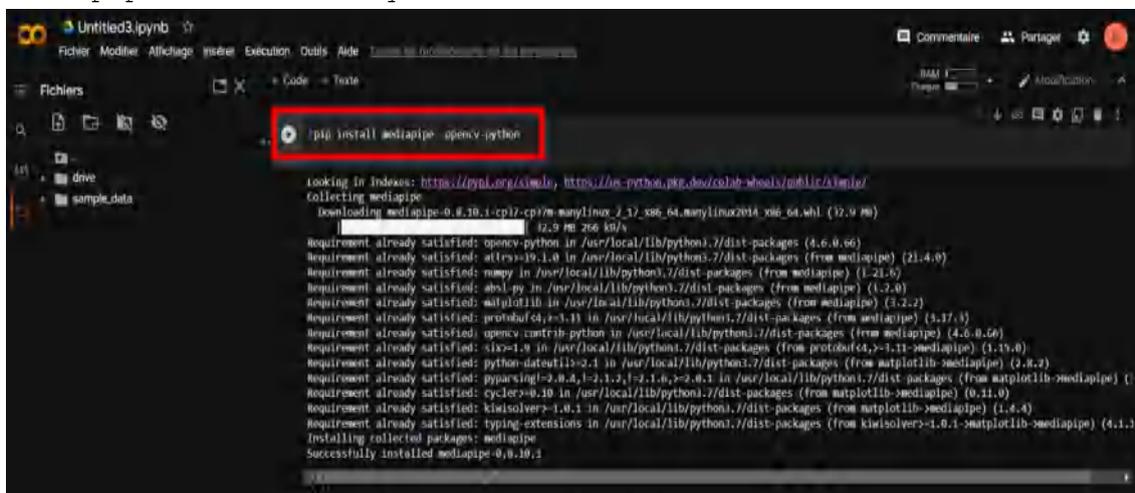
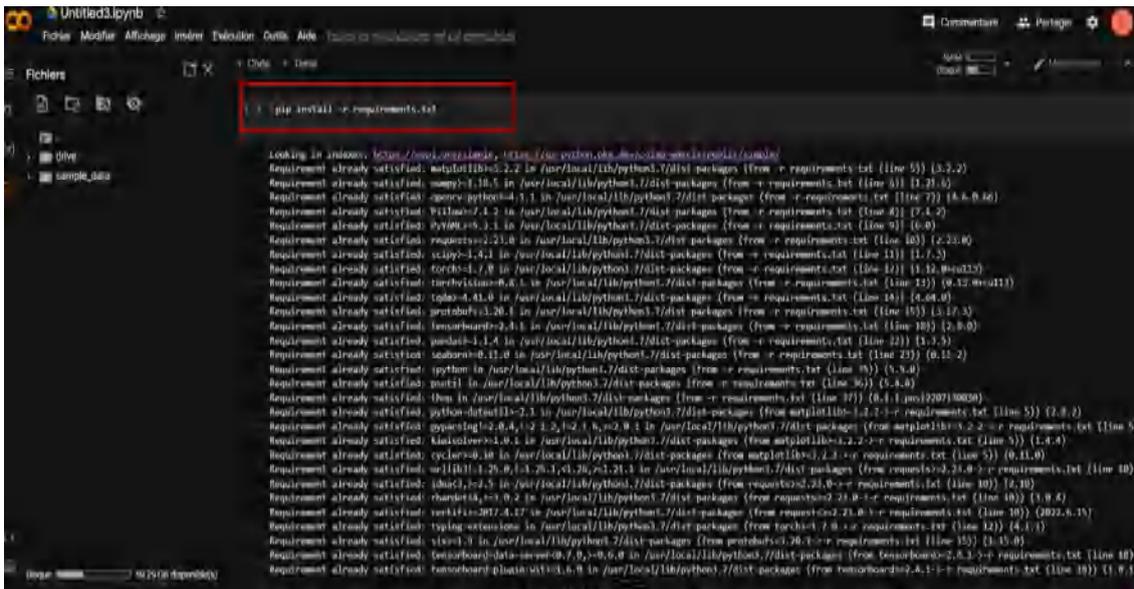


Figure 6. 16 : Code pour installer mediapipe et OpenCV

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant



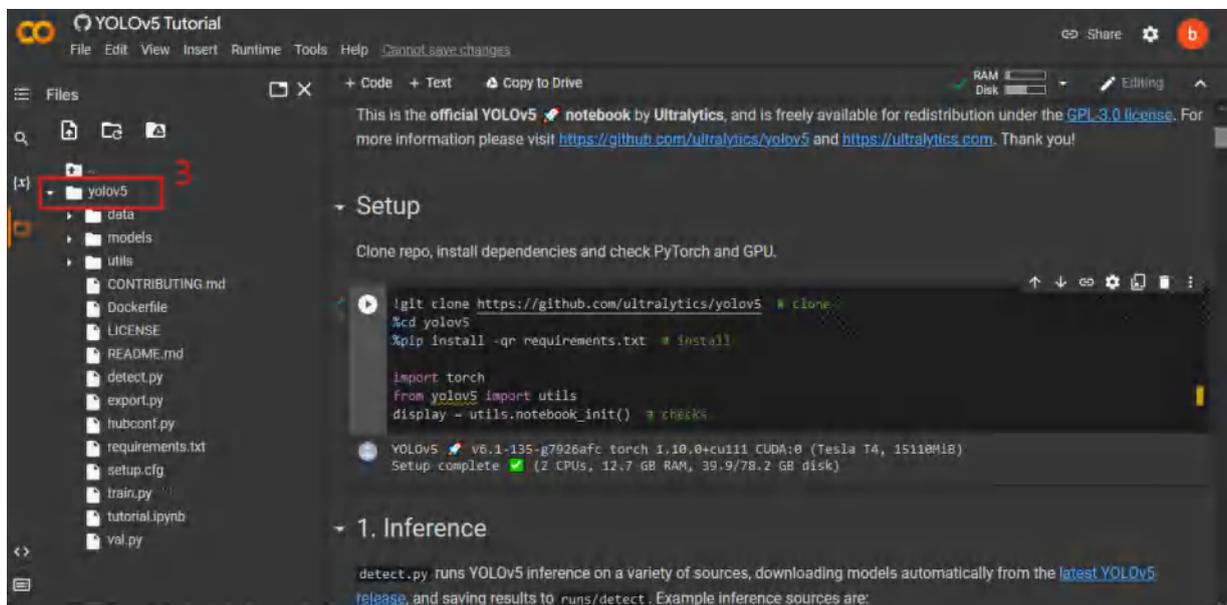
```
! pip install -r requirements.txt

Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.pi-hole.net/
Requirement already satisfied: matplotlib==2.2 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 5]) (2.2.2)
Requirement already satisfied: numpy==1.18.5 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 6]) (1.18.5)
Requirement already satisfied: opencv-python==4.1.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 7]) (4.1.1)
Requirement already satisfied: vitis==1.2 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 8]) (1.2)
Requirement already satisfied: pyyaml==5.1.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 9]) (5.1.1)
Requirement already satisfied: requests==2.23.0 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 10]) (2.23.0)
Requirement already satisfied: scipy==1.4.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 11]) (1.4.1)
Requirement already satisfied: torch==1.7.0 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 12]) (1.7.0+cu111)
Requirement already satisfied: torchvision==0.8.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 13]) (0.8.1+cu111)
Requirement already satisfied: tqdm==4.31.0 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 14]) (4.31.0)
Requirement already satisfied: protobuf==3.20.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 15]) (3.20.1)
Requirement already satisfied: imutils==2.8.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 16]) (2.8.0)
Requirement already satisfied: pandas==1.1.4 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 17]) (1.1.4)
Requirement already satisfied: seaborn==0.11.0 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 18]) (0.11.2)
Requirement already satisfied: python in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 19]) (3.7.0)
Requirement already satisfied: postal in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 20]) (5.4.4)
Requirement already satisfied: thon in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from -r requirements.txt [line 21]) (0.4.1.post200710030)
Requirement already satisfied: python-dateutil==2.3 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from matplotlib==2.2->-r requirements.txt [line 5]) (2.3.0)
Requirement already satisfied: pyperclip==2.4.4 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from matplotlib==2.2->-r requirements.txt [line 5]) (2.4.4)
Requirement already satisfied: matplotlib==2.2.2 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from matplotlib==2.2->-r requirements.txt [line 5]) (2.2.2)
Requirement already satisfied: cyclers==0.16 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from matplotlib==2.2.2->-r requirements.txt [line 5]) (0.11.0)
Requirement already satisfied: matplotlib==2.2.2 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from requests==2.23.0->-r requirements.txt [line 10]) (2.2.2)
Requirement already satisfied: chardet==3.0.2 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from requests==2.23.0->-r requirements.txt [line 10]) (3.0.2)
Requirement already satisfied: urllib3==1.25.9 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from requests==2.23.0->-r requirements.txt [line 10]) (1.25.9)
Requirement already satisfied: typing-extensions in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from torch==1.7.0->-r requirements.txt [line 12]) (4.1.1)
Requirement already satisfied: torchvision==0.8.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from torchvision==0.8.1->-r requirements.txt [line 13]) (0.8.1)
Requirement already satisfied: torchvision==0.8.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from torchvision==0.8.1->-r requirements.txt [line 13]) (0.8.1)
Requirement already satisfied: torchvision==0.8.1 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from torchvision==0.8.1->-r requirements.txt [line 13]) (0.8.1)
```

Figure 6. 17 : Code pour installer toutes les bibliothèques nécessaires

### 5. Importation YOLO dans Colab

Nous avons téléchargé la dernière version de YoloV5n depuis le site [GitHub](https://github.com/ultralytics/yolov5), et installé les dépendances et vérifié la bibliothèque PyTorch et GPU par code python suivant. Voir Figure 6.18 .



```
!git clone https://github.com/ultralytics/yolov5 # clone
%cd yolov5
!pip install -qr requirements.txt # install

import torch
from yolov5 import utils
display - utils.notebook_init() # checks

YOLOv5 v6.1-135-g7926afc torch 1.10.0+cu111 CUDA:0 (Tesla T4, 15110MiB)
Setup complete (2 CPUs, 12.7 GB RAM, 39.9/78.2 GB disk)
```

Figure 6. 18 : import Yolo in google Colab

### 6. Configuration de model YOLO pour l'entraînement

Avant de faire le processus d'entraînement, nous devrions donner à l'algorithme YOLOv5n les noms des classes que nous voulons rechercher, nous allons donc changer ce qui est dans la fiche COCO128 dans notre cas, qui n'est que le volant, le changement sera comme indiqué dans figure 6.19.

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

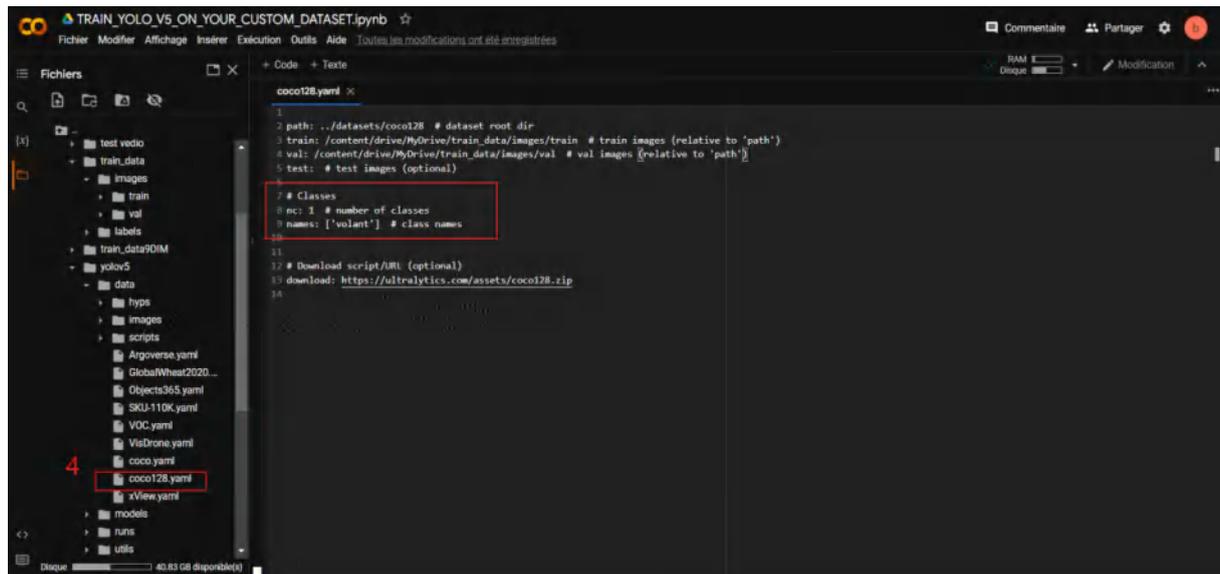


Figure 6. 19 : montre les modifications sur fiche COCO128

### 7.Code d'entraînement

Nous allons commencer le processus d'entraînement par exécutant le code suivant (voir figure 6.20) qui appelle le fichier "train.py".

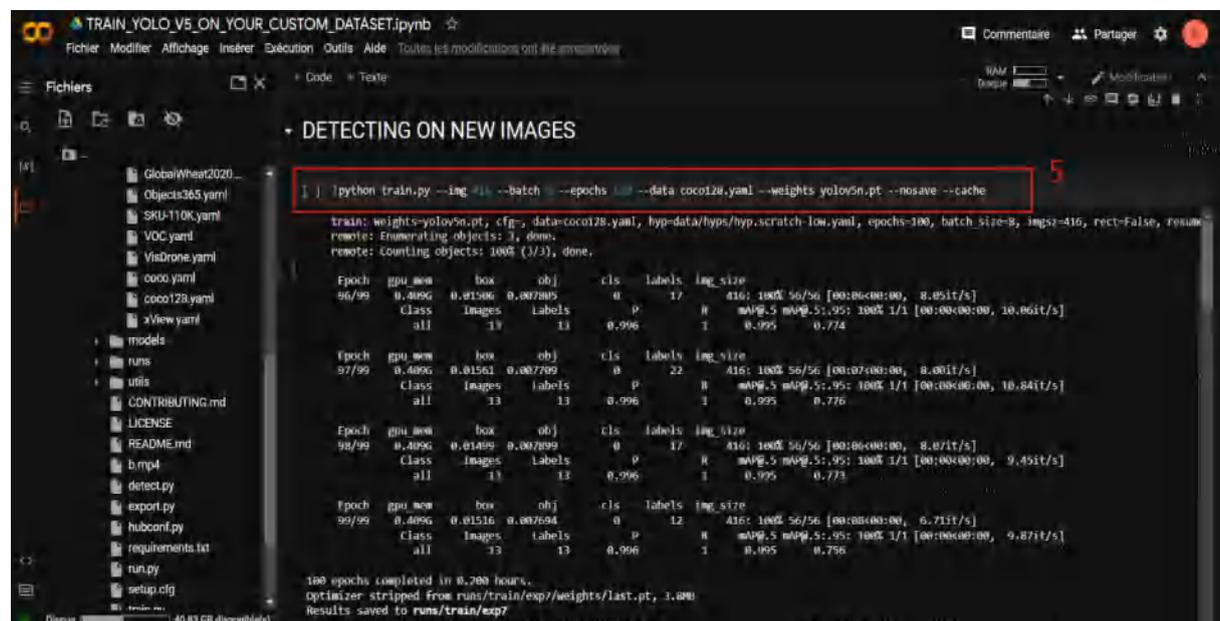


Figure 6. 20 : Progression de l'entraînement en 100 époques.

Pour 100 époques, Le temps d'exécution total de YOLOv5n était de 20 minutes sur le jeu de données contenant 461 images. En outre, le modèle enregistre les résultats de pondération sous forme de fichier nommé last.pt. Comme le montre la figure 6.20, la taille de fichier n'est que de 3.5 Mo, ce qui les rend très légers à intégrer dans les systèmes d'IA (dans une application Web ou mobile) en tant que poids pré-entraînés.

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

---

Où :

- ✓ **img** : définit la taille de l'image d'entrée. La taille d'origine de l'image est de  $1024 \times 1024$ , compresser à une taille plus petite pour accélérer le processus d'entraînement. Après de nombreuses expériences, de nombreux chercheurs en vision par ordinateur ont convenu que la taille  $416 \times 416$  est la taille idéale à utiliser comme entrée sans perdre beaucoup de détails [296]
- ✓ **batch** : déterminez la taille du lot. Le transfert de milliers d'images dans le réseau neuronal en même temps augmente considérablement le nombre de poids que le modèle apprend en une seule fois (une époque). Ainsi, l'ensemble de données est généralement divisé en plusieurs lots de N images puisque le processus d'apprentissage se fait lot par lot. Les résultats de chaque lot (poids) sont ensuite enregistrés dans la RAM et agrégés une fois l'entraînement pour tous les lots terminés. Etant donné que les poids de lot appris sont stockés dans la RAM, plus le nombre de lots est élevé, plus la consommation de mémoire est élevée.
  - L'ensemble d'entraînement contient 461 images, avec une taille de lot = 8, le nombre de lots sera de  $461 \div 8 = 58$  lots.
- ✓ **epochs** : définition du nombre d'époques d'apprentissage. Une époque est chargée d'apprendre toutes les images d'entrée, en d'autres termes, d'entraîner toutes les entrées. Comme l'ensemble de données est divisé en plusieurs lots, une époque sera responsable de l'entraînement de tous les lots. Le nombre d'époques représente le nombre de fois où le modèle entraîne toutes les entrées et met à jour les poids.
- ✓ **data** : le chemin d'accès au fichier data coco128.yaml contenant le résumé de l'ensemble des classes.
- ✓ **weights** : spécifier un chemin vers les poids. Un poids pré-entraîné peut être utilisé pour gagner du temps d'entraînement. S'il est laissé vide, le modèle initialisera automatiquement les poids aléatoires pour l'apprentissage.
- ✓ **cache**: cachez les images pour un entraînement plus rapide.

### 6.6.4.1.5 Résultat de la détection du volant

Les poids entraînés (`last.pt`) être utilisés pour identifier volant sur n'importe quelle image. Si le volant est détecté, un cadre englobant est dessiné autour le volant et afficher la probabilité que l'objet soit volant. Nous avons limité la probabilité à plus de 90 % (conf-thres =0.9).

La méthode de détection d'objet avec des poids entraînés est similaire à l'entraînement du modèle. À l'aide de la commande illustrée à la Figure 6.21, le fichier `detect.py` sera compilé et reconstruit selon l'architecture utilisée dans l'entraînement.

Au titre d'exemple, nous avons téléchargé une vidéo YouTube pour tester le poids de notre modèle. Nous avons utilisé la commande suivante :

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

```
!python detect.py --source /content/drive/MyDrive/yolov5/v.mp4 --weights /content/drive/MyDrive/yolov5/last.pt --img 416 --conf-thres 0.9 --save-txt --save-conf
```

Figure 6. 21 : Code de lancement de la détection du volant

Ou

- ✓ **detect.py** : Le fichier chargé de détecter l'objet volant.
- ✓ **source** : Chemin d'accès à l'emplacement de la vidéo.
- ✓ **conf-thres** : la probabilité que l'objet est volant .

### Résultat :

Comme le montre la figure 6.22, le modèle donne des résultats prédictifs extrêmement impressionnants sur des images, et même sur des vidéos qu'il n'a jamais vues auparavant.

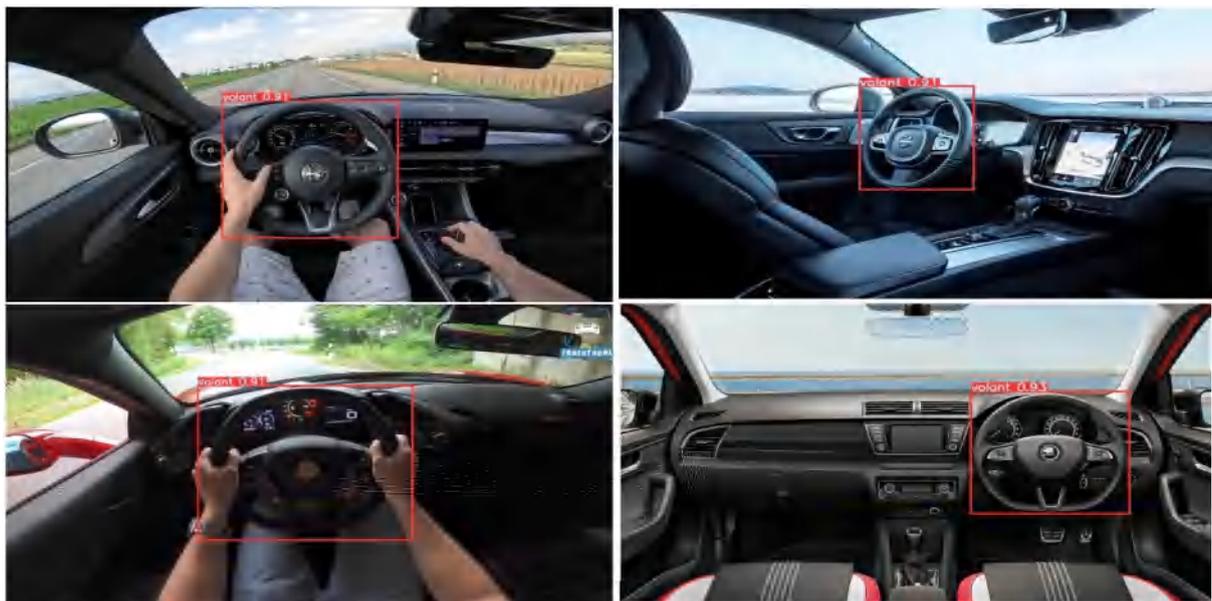


Figure 6. 22 : Résultat de la détection de volant

Nous avons modifié le fichier `plot.py` qui dans le dossier Yolo pour afficher la détection du volant sous forme de cercle, nous ajoutons donc le code suivant :

```
cv2.circle(self.im, center=(x1, y4), radius=(int((box[2] - box[0]) / 2)),  
color=color, thickness=2)
```

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

### Résultat

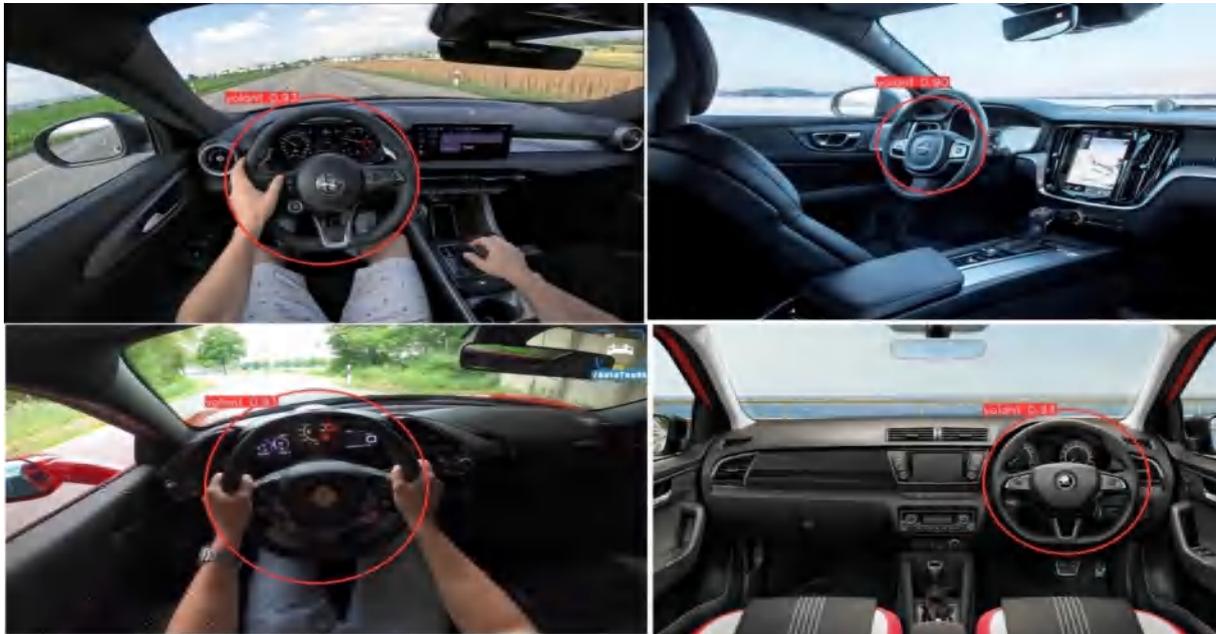


Figure 6. 23:Résultat de la détection de volant sous forme de cercle

#### 6.6.4.2 Détection des mains

Notre code de détection des mains est une solution de haute précision pour le suivi des mains et des doigts. Il utilise l'apprentissage automatique (ML) pour déduire 21 points de repère 3D d'une main à partir d'une seule image. Alors que les approches de pointe actuelles reposent principalement sur des ordinateurs et des environnements puissants pour l'inférence, notre méthode atteint des performances en temps réel sur la détection les deux mains gauche et droite par un simple matériel.

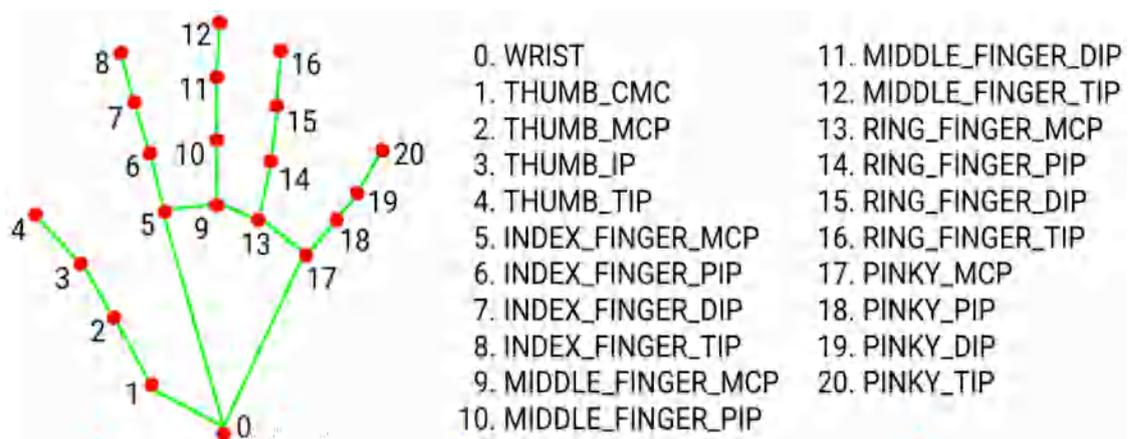


Figure 6. 24 :: repères de la main selon Mediapipe

À cette étape, nous avons créé un code capable de détecter différentes mains à l'aide des bibliothèques OpenCV et Mediapipe. Ce code est implémenté dans PyCharm.

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

---

### Code

```
import cv2
import mediapipe as mp
import time
frameWidth = 640
frameHeight = 480
cap = cv2.VideoCapture(0)
mpHands = mp.solutions.hands
hands = mpHands.Hands()
mpDraw = mp.solutions.drawing_utils
pTime = 0
cTime = 0
while True:
    success, img = cap.read()
    imgRGB = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    results = hands.process(imgRGB)
    if results.multi_hand_landmarks:
        for idh, handLms in enumerate(results.multi_hand_landmarks):
            xList = []
            yList = []
            bbox = []
            for id, lm in enumerate(handLms.landmark):
                mpDraw.draw_landmarks(img, handLms,
mpHands.HAND_CONNECTIONS)
                h, w, c = img.shape
                cx, cy = int(lm.x * w), int(lm.y * h)
                xList.append(cx)
                yList.append(cy)
                if handLms.landmark[20].x < handLms.landmark[8].x:
                    cv2.putText(img, "HandType left", (cx, cy),
cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN, 1, (255, 255, 255), 1)
                    xmin, xmax = min(xList), max(xList)
                    ymin, ymax = min(yList), max(yList)
                    boxW, boxH = xmax - xmin, ymax - ymin
                    bbox = xmin, ymin, boxW, boxH
                    cv2.rectangle(img, (bbox[0] - 20, bbox[1] -
20), (bbox[0] + bbox[2] + 20, bbox[1] + bbox[3] + 20), (255, 255, 255), 1)
                else:
                    cv2.putText(img, "HandType Right", (cx, cy),
cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN, 1, (255, 255, 255), 1)
                    xmin, xmax = min(xList), max(xList)
                    ymin, ymax = min(yList), max(yList)
                    boxW, boxH = xmax - xmin, ymax - ymin
                    bbox = xmin, ymin, boxW, boxH
                    cv2.rectangle(img, (bbox[0] - 20, bbox[1] -
20), (bbox[0] + bbox[2] + 20, bbox[1] + bbox[3] + 20), (255, 255, 255), 1)
            cTime = time.time()
            fps = 1 / (cTime - pTime)
            pTime = cTime
            cv2.putText(img, str(int(fps)), (10, 70), cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN,
3, (255, 0, 255), 3)
            img = cv2.resize(img, (frameWidth, frameHeight))
            cv2.imshow("Image", img)
            cv2.waitKey(1)
```

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

---

### Résultat



Figure 6. 25 :résultat de détection les mains

Ensuite, nous ajoutons le code de détection des mains au fichier `detect.py` afin que le fichier puisse détecter les mains et le volant en même temps dans la vidéo.

### Résultat

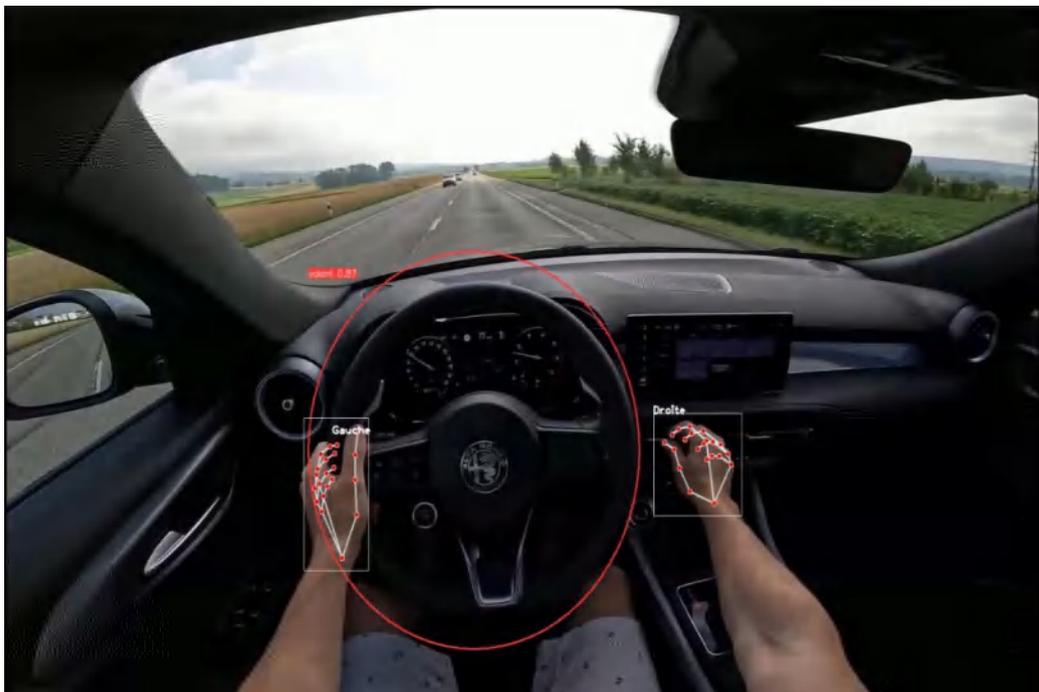


Figure 6. 26 : Résultat de détection volant et les mains

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

### 6.6.4.3 Calculs des positions des mains

À ce stade, nous avons ajouté un code au fichier `detect.py` (Téléchargez le projet complet à partir [du lien](#). Voir l'annexe) où il calcule la position des mains sur le volant de manière automatisée qui dépend de ce qui a été expliqué dans le cinquième chapitre, en supposant que chaque mains (gauche ou droite) peut être placée dans positions différentes comme suite :

- Sur volant
  - ✓ Position 1 : pour (12 h ver 3 h)
  - ✓ Position 2 : pour (3 h ver h 6)
  - ✓ Position 3 : pour (6 h ver 9 h)
  - ✓ Position 4 : pour (9 h ver 12 h)
  - ✓ Position 5 : Hors volant

Nous avons calculé le temps passé dans chaque position en utilisant la position de point numéro 4 dans repères de la main. Voir la figure 6.24.

### Résultat

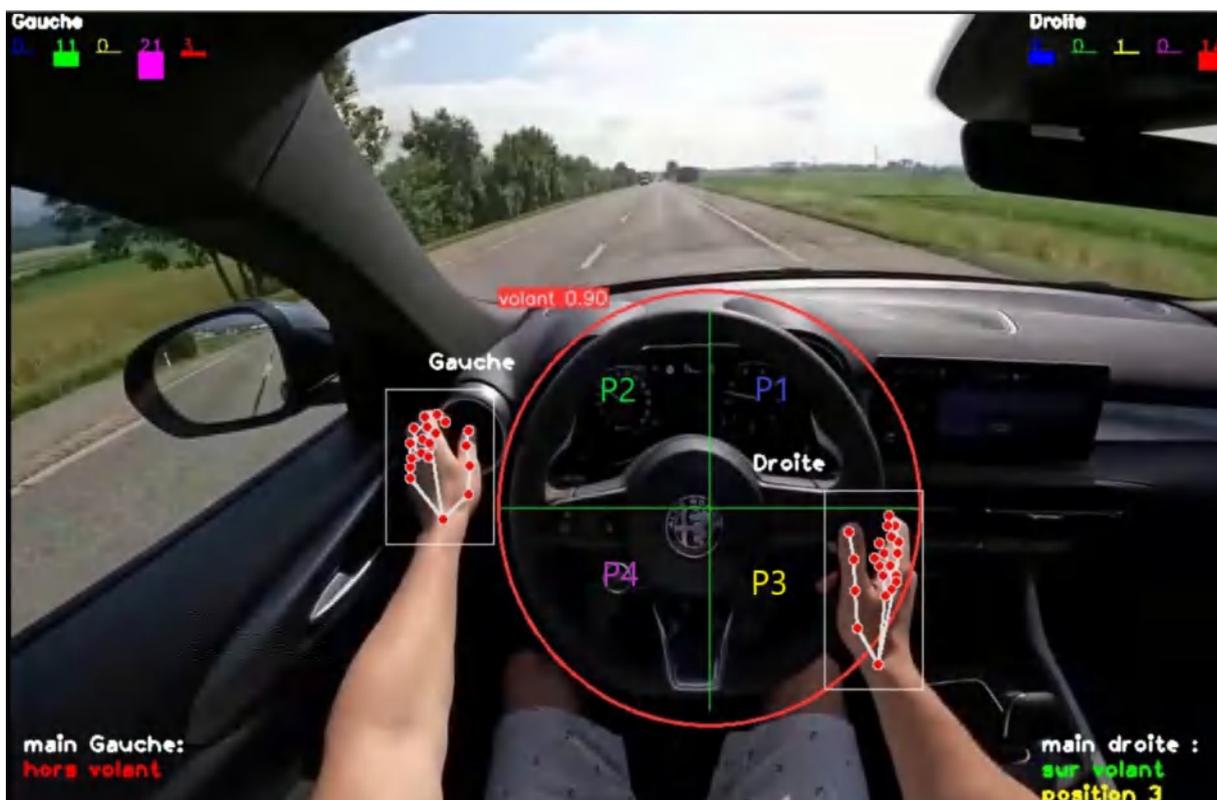


Figure 6. 27 : Résultat de Calculs des positions des mains

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

### 6.6.4.4 En temps réel

Dans notre cas, lorsque nous faisons le processus de détection dans Google Colab, nous devons charger la vidéo puis télécharger une fois le processus d'analyse terminé. C'était donc une perte de temps, surtout si la taille de la vidéo est grande, en plus, elle nécessite une source Internet, tout cela peut être évité si le système fonctionne en PyCharm Il offre plus d'options que Google Colab car il peut exécuter du code en temps réel.

#### 6.6.4.4.1 Définition système en temps réel

« Un système fonctionne en Temps Réel s'il est capable d'absorber toutes les informations en entrée avant qu'elles soient trop vieilles pour l'intérêt qu'elles présentent et de réagir à celles-ci suffisamment vite pour que cette réaction est un sens » (ABRIAL – BOURGNE).

#### Définition 2

Le temps réel est le fait d'être constamment en adéquation temporelle avec la réalité. Un système en temps réel est un système qui doit, non seulement, produire un résultat juste mais dans une durée limitée, sans quoi ce résultat deviendrait erroné.

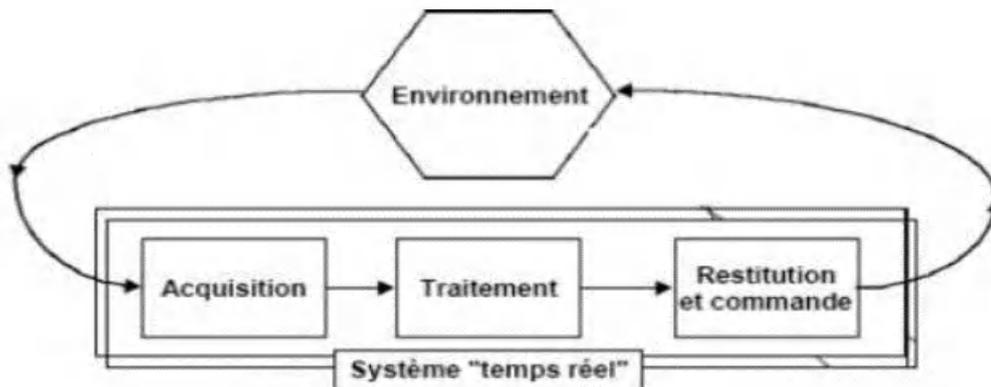


Figure 6. 28 : représentation d'un système en temps réel avec son environnement [297]

Par conséquent, nous avons mis en place notre programme de détection en temps réel. Cela signifie que les résultats de détection et le calcul de l'algorithme YOLO ont été effectués directement par la source webcam.

Pour exécuter notre code efficacement, nous devons installer les bibliothèques CUDA et PyTorch afin que notre ordinateur puisse traiter par le GPU au lieu du CPU.

# Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

## 6.6.4.2 Protocole d'exécution

- Créez un nouveau projet dans PyCharm nommé `yolo_detection`

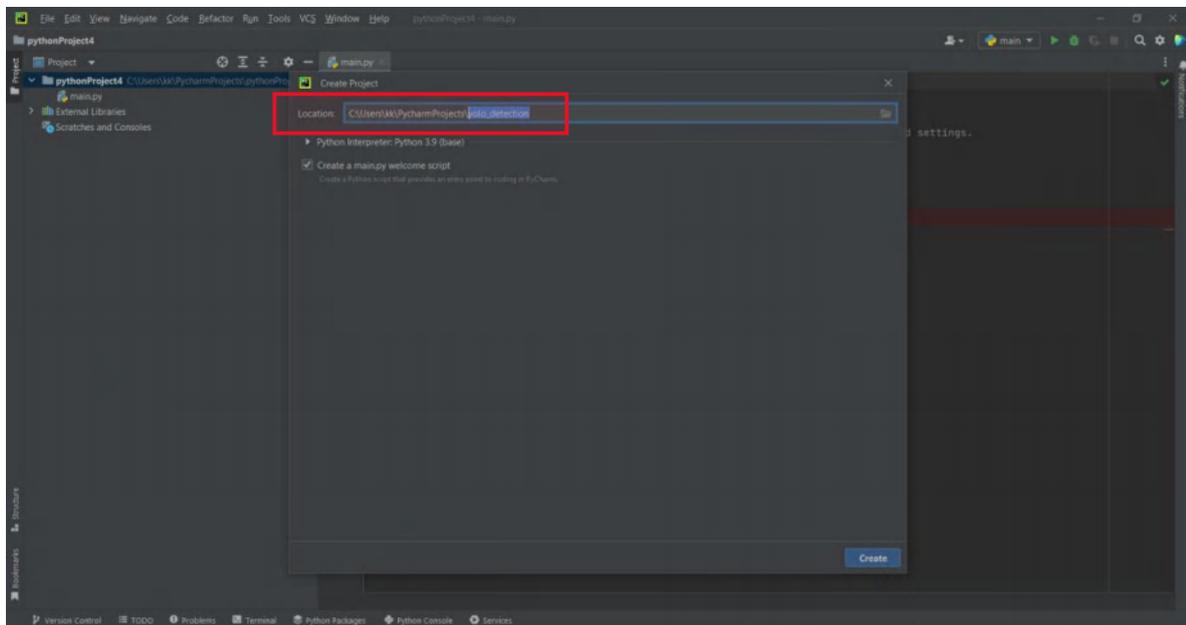


Figure 6. 29 : Créez un nouveau projet dans PyCharm

- Importer le dossier yolov5 avec le poids `yolos.pt` (C'est la même fiche d'entraînement `last.py` `detect.py` (code de calcul) et `plots.py` (code de dessin)).

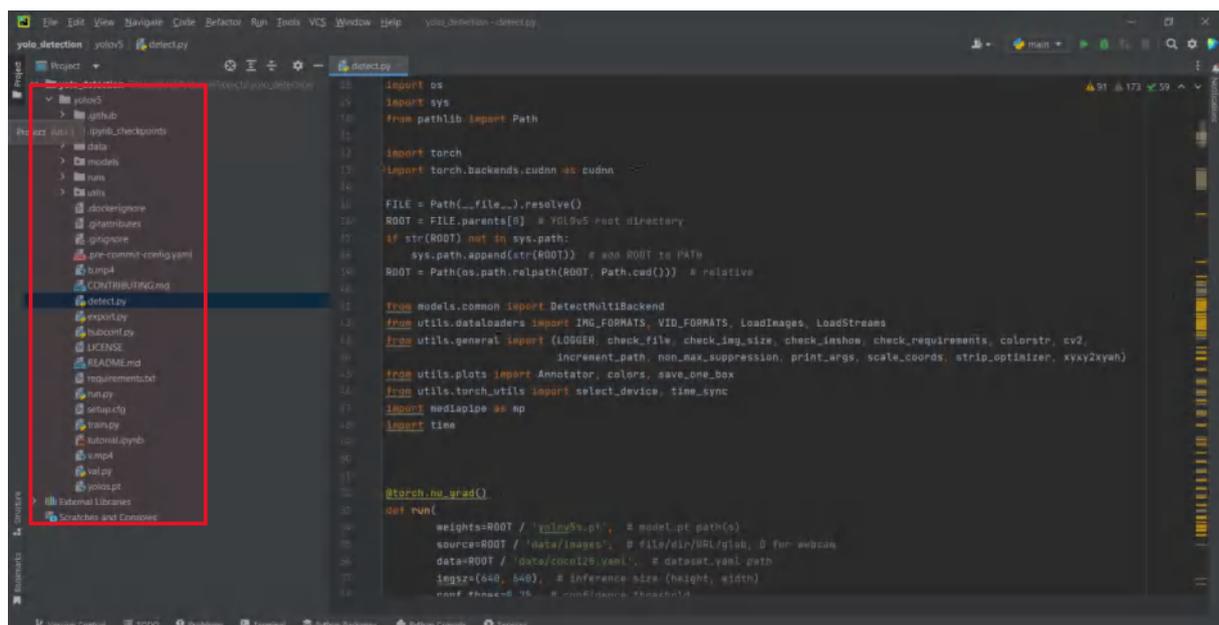


Figure 6. 30 : Importer le dossier yolov5

## Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant

- Mettre en place notre paramètre dans fiche `run.py` pour exécute fiche `detect.py`. Voir figure 6.31.

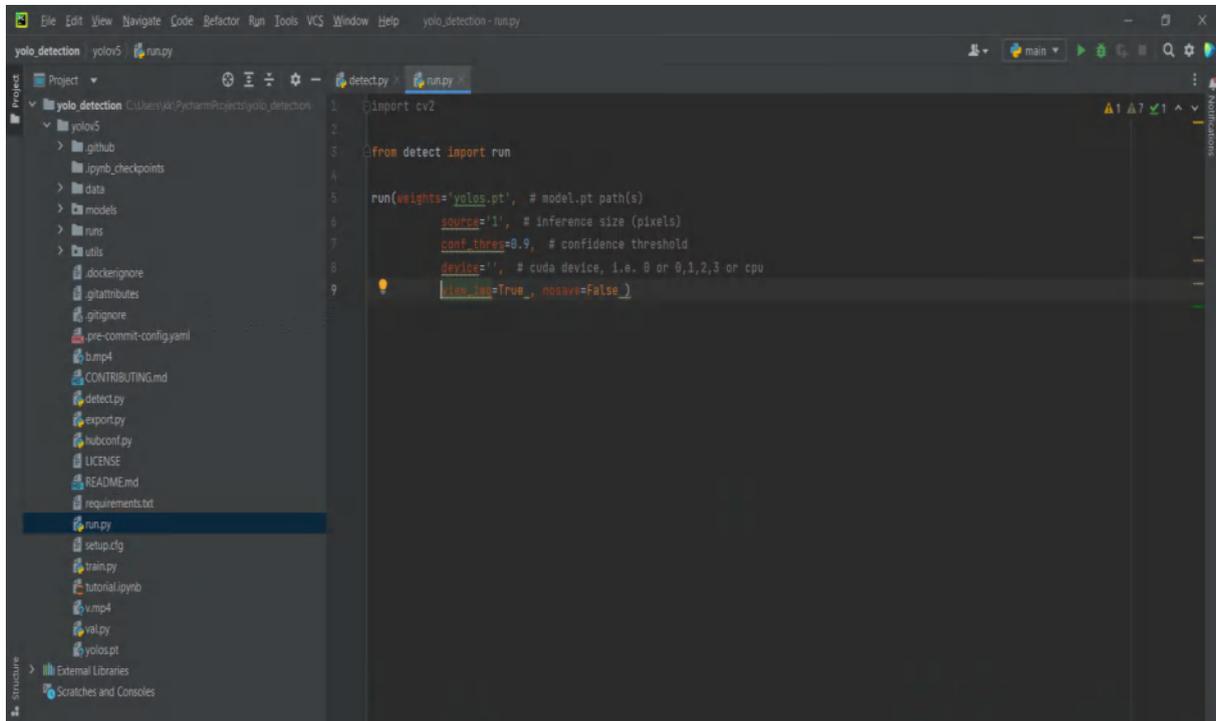


Figure 6. 31:Création fiche `run.py`

Tel que :

- ✓ **Weights** : chemin de fiche de poids d'entrainement dans notre cas est `yolos.pt`
- ✓ **Source** : Type d'entrée, si la webcam met 0 ou 1, si la vidéo met le chemin de l'emplacement de la vidéo
- ✓ **Conf** : La probabilité d'être sûr de détecter le volant, qui dans notre cas est de 90%
- ✓ **Device** : paramètre qui est responsable sur effectuer l'opération de traitement sur le CPU au bien le GPU

### Résultat

Lorsque nous appuyons sur le bouton RUN, le programme Pycharm ouvre la webcam et effectue une opération de détection et de calcul en temps réel, et nous allons obtenu le même résultat que celui indiqué sur la figure 6.27.

## *Chapitre 06 : création un système intelligent pour détecter le comportement des mains au volant*

---

### **6.7 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous proposons un programme basé sur l'intelligence artificielle qui permet de détecter et de calculer automatiquement et rapidement les positions des mains sur le volant.

Nous avons entraîné l'algorithme Yolo avec 461 images de volant, puis nous avons utilisé les poids d'entraînement extraits dans le processus de détection. Où nous avons utilisé google Colab pour traiter les vidéos, et PyCharm pour la détection en temps réel.

Les résultats obtenus par ce programme ont été très satisfaisants, concluant que nous pouvons remplacer l'humain dans ces tâches avec une petite marge d'erreur.

Dans le prochain chapitre, nous allons créer un système d'aide à la conduite visant à détecter la somnolence du conducteur sur le volant à l'aide de l'intelligence artificielle.

---

***Chapitre 07 :  
Conception d'un  
système d'aide à la  
conduite pour détecter  
la fatigue et la  
sommolence***

---

## ***Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence***

---

### **7.1 Introduction**

Ce chapitre sera consacré à la conception et à la réalisation d'un système d'aide conduite fiable pour détecter la somnolence et les bâillements du conducteur en temps réel, qui peut alerter le conducteur avant que quelque chose de fâcheux ne se produise. Tout d'abord, nous présentons un état de l'art approfondi sur la technologie actuelle des systèmes d'aide à la conduite pour la détection de la somnolence et les différentes approches utilisées pour leur fabrication. Ensuite, nous proposons notre propre approche qui s'appuie sur le traitement d'images par IA pour déterminer le statut du conducteur (endormi ou fatigué). De plus, nous implémentons notre approche sur un système d'alerte capable d'avertir avec de multiples effets. Par conséquent, nous fournirons les matériaux, les outils et les plateformes nécessaires pour construire et développer notre code. Nous montrerons également comment mettre en œuvre le concept du système d'alerter sur le terrain puis nous discuterons des résultats obtenus. Enfin, nous présenterons quelques images de notre système développé.

### **7.2 Qu'est-ce qu'une aide à la conduite ?**

Une aide à la conduite automobile (Advanced driver-assistance system ou ADAS) regroupe tous les dispositifs intégrés au véhicule pour aider le conducteur, aux fins de :

- ✓ Détecter les situations risquant d'aboutir à un accident ;
- ✓ Libérer le conducteur d'un certain nombre de tâches liées directement à la conduite du véhicule ;
- ✓ Assister le conducteur dans sa perception de l'environnement (détecteurs de dépassement, de franchissement de ligne, de piéton, etc.) ;
- ✓ Permettre au véhicule de réagir de manière anticipée par rapport aux capacités du conducteur.

Ces systèmes peuvent aider le conducteur sur différents aspects, l'accent sera mis ici plutôt sur les systèmes visant à améliorer la sécurité en raison de l'orientation des travaux de cette thèse, notamment en ce qui concerne l'aspect de la somnolence du conducteur.

### **7.3 Etat de l'art**

#### **7.3.1 Relation entre la somnolence et la conduite**

Notre corps a besoin de dormir suffisamment chaque jour. Plus nous manquons d'heures de sommeil, plus il est difficile de penser et d'agir comme nous souhaitons. Le manque de sommeil peut nous rendre moins alertes et affecte notre coordination, notre jugement et notre temps de réaction au volant. C'est ce qu'on appelle une déficience cognitive.

## ***Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence***

---

Au volant, l'impact de la somnolence est similaire à celui de l'alcool. Des études ont montré que conduire pendant plus de 24 heures sans dormir est identique à la conduite avec une concentration d'alcool dans le sang de 0,10% [115]. La somnolence est souvent le résultat d'une fatigue physique ou même mentale. D'autre part, toute activité qui se poursuit assez longtemps, causera à une difficulté à maintenir des performances qualifiées, y compris la conduite.

Une étude de Schmidt et al. A montré qu'en cas de conduite prolongée, due à la fatigue, les conducteurs ne perçoivent pas leur propre niveau de somnolence et ne peuvent donc pas prendre la décision de se reposer. Par conséquent, afin de réduire ce phénomène, la somnolence du conducteur doit être surveillée en permanence [298].

### **7.3.2 Le système d'aide à la détection de somnolence actuellement utilisé**

Les systèmes de détection de fatigue et somnolence du conducteur sont utilisés dans l'industrie depuis un certain temps. En raison de leur importance et de la concurrence pour offrir aux clients une sécurité maximale, de nombreux conducteurs automobiles ont adopté ces systèmes dans leurs voitures.

#### ***7.3.2.1 Contrôle d'alerte du conducteur Volvo (Volvo Driver Alert Control)***

Volvo a introduit son système de détection de la fatigue depuis une décennie maintenant, il se concentre sur le véhicule et non sur le conducteur [299]. Il est conçu principalement pour les autoroutes et non pour les zones urbaines, car il est activé lorsque la vitesse atteint 65 km/h et reste supérieur à 60 km/h. Le système est équipé d'une caméra fixée à l'arrière du rétroviseur intérieur pour détecter les marquages routiers et les compare aux mouvements du volant. Si des zigzags se produisent souvent, le conducteur est alerté par un message et un symbole sur l'écran du conducteur. Si les performances ne sont pas améliorées, l'alerte se répète en un instant [300].



Figure 7.1 : le système de détection de la fatigue de Volvo dans la voiture CX90

#### ***7.3.2.2 Aide À L'attention Mercedes-Benz (Mercedes-Benz Attention Assist)***

Le système surveille le comportement du conducteur pendant les 20 premières minutes de conduite. Lorsqu'il est vraiment en état d'alerte, il commence alors à comparer ses performances actuelles avec les performances capturées au début pour comprendre le

## ***Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence***

---

comportement du conducteur et prendre une décision, par exemple pour éviter les nids-de-poule. L'angle du volant puisqu'il est équipé d'un capteur de direction mesurant la force exercée lors de la rotation, il vérifie également les déviations de trajectoire et les zigzags, en plus de prendre en considération les autres capteurs de la voiture comme le système de freinage, la stabilité de conduite, les paramètres du moteur et les limites de visibilité, etc [301]. Le système vérifie près de 90 indices pour déterminer si le conducteur est somnolent ou non. S'il détecte des erreurs liées à la fatigue du conducteur, le système l'avertit par un signal sonore et visuel qu'il doit faire une pause, et l'alerte est répétée toutes les 15 minutes s'il est ignoré [302]



Figure 7. 2 : l'alerte du système de détection de la fatigue de Mercedes-Benz (attention assist) [302]

### ***7.3.2.3 Alerte du conducteur Volkswagen (Volkswagen Driver Alert)***

Le système recherche tout manque de concentration en surveillant en permanence et de manière intelligente les performances du conducteur sur la route, comme l'utilisation des pédales, le maniement du volant et les éventuels écarts de trajectoire. Il évalue également la réaction du conducteur aux signaux routiers lorsque la vitesse est supérieure à 64 km/h. Lorsque le système détecte une dégradation de la conduite indiquant une somnolence, il alerte le conducteur par un affichage visuel sur le tableau de bord et un signal sonore [303].



Figure 7. 3 : l'alerte du système de détection de la fatigue de Volkswagen [303]

### ***7.3.2.4 Alerte Attention Conducteur Peugeot***

Celui-ci est très similaire à celui de Volvo puisqu'il dispose également d'une caméra placée au sommet du parebrise qui évalue la vigilance du conducteur en surveillant les

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

déviations de trajectoire et les zigzags par rapport aux marquages au sol. Le système dispose d'une alerte de temps de conduite lorsque le véhicule a roulé pendant plus de deux heures consécutives à plus de 65 km/h et commence alors à suggérer de se reposer [304].

### 7.3.2.5 La Bague Arrêtez de dormir (StopSleep)

Un appareil en forme d'anneau à deux anneaux, contenant 8 capteurs, dédié à la mesure de l'activité des glandes sudoripares reflétant l'activité électrique de la peau. Ces modifications électriques de la peau représentent l'activité cérébrale à la surface de la peau et entraînent une augmentation ou une diminution de la conductance cutanée. L'anneau a trois états, le premier est l'état actif. Le second est le micro état de sommeil, qui commence lorsque le capteur détecte une diminution de l'activité électrique de la peau (indiquée par l'inattention et le manque de conscience), puis l'anneau commence à vibrer. Le dernier état est l'état de sommeil lorsque les symptômes de fatigue sont graves, puis la cloche vibrera et émettra un bip fort [305].



Figure 7. 4 : la bague stopsleep montrant ses 8 capteurs de détection de la fatigue [305].

### 7.3.2.6 Boîtier MiniTOUCANGO de Innov+

Un boîtier en forme de tête de robot, monté sur le tableau de bord, Le boîtier capte signaux provenant de l'environnement de conduite, comme la vitesse, l'emplacement, le type de route, la durée du trajet et l'heure de la journée, et combine toutes ces informations pour fournir un système de prédiction de la fatigue très précis. MiniTOUCANGO offre 5 niveaux d'alerte de somnolence, chacun avec un son unique et des couleurs progressives, et il peut également détecter les distractions comme le fait de regarder son téléphone portable ou de regarder en dehors de la route avec 2 autres niveaux d'alerte de distraction [306].



Figure 7. 5 la camera miniTOUCANOGO et ses 5 niveaux d'alerte lumineux [306].

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.3.3 Les approches de détection de fatigue

Différentes approches sont adoptées pour réaliser le système d'aide à la détection de fatigue et somnolence. Elles peuvent être divisées en trois catégories principales :

Les approches basées sur les performances du conducteur, les approches basées sur les signaux physiologiques du conducteur et les approches basées sur le traitement d'image[133], présentées dans la figure suivante :

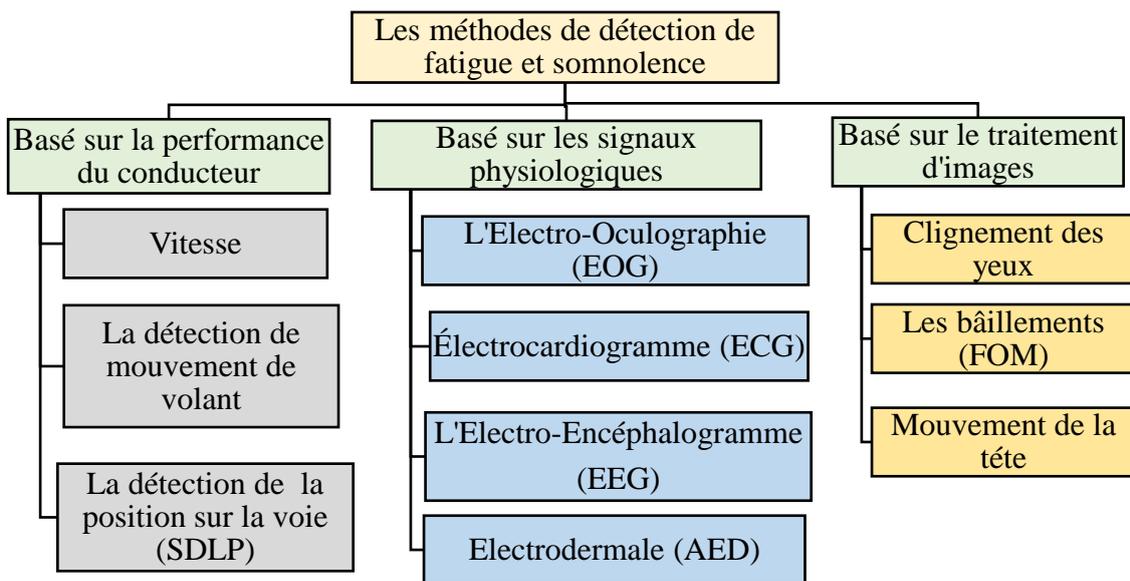


Figure 7. 6 : organigramme des différentes approches de la détection de fatigue et somnolence

#### 7.3.3.1 Approches basées sur les performances du conducteur

Généralement, la conduite est influencée par plusieurs facteurs comme les tâches de conduire (le changement de vitesses et l'accélération, courbure et largeur de la voie etc.) et l'expérience de conducteur. En basant sur ces facteurs, on peut détecter l'état du conducteur. Dans la plupart des cas, on utilise des captures pour surveiller les facteurs précédents par le placement de ces captures dans les différents composants de voiture comme le volant et la pédale d'accélération, dans ces méthodes, plusieurs recherches étaient proposées, cependant la détection de mouvement de volant et la détection de l'écart type de la position sur voie sont les mesures les plus couramment utilisées [307, 308].

#### 7.3.3.2 Approches basées sur les signaux physiologique

En cas de fatigue et de somnolence, une personne subite de nombreux changements dans son corps, notamment des changements dans la vitesse du rythme cardiaque, l'état cérébral et l'état musculaire. Sur la base de ces changements, de nombreuses études ont été proposées permettant de détecter la fatigue et la somnolence. Dans ces techniques en général les capteurs portés par le conducteur sont utilisés, ces capteurs permettent la capture de plusieurs types de signaux, L'électroencéphalographie (EEG) pour identifier « l'état du cerveau »,

## **Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence**

l'électrooculographie (EOG) pour prédire « le mouvement des yeux » et l'électrocardiographie (ECG) pour « la fréquence cardiaque ».

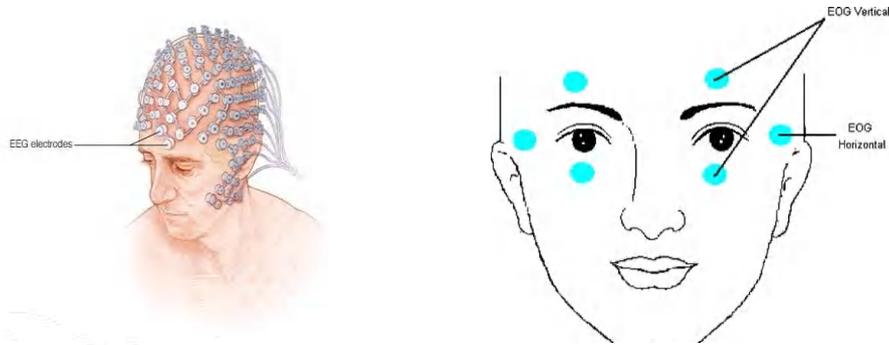


Figure 7. 7 illustration des capteurs utilisés dans les méthodes axées sur les signaux physiologique [309]

Les approches qui se basent sur les signaux physiologiques ne sont pas les plus simples à mettre en œuvre. Leur implémentation en masse dans les véhicules peut se révéler coûteuse [310], à cause des coûts de certains équipements supplémentaires requis. Elles sont aussi des méthodes intrusives, Ce qui peut gêner le conducteur. D'autre part elles sont fortement influencés par plusieurs paramètres comme le type de voiture, la géométrie de la route et l'expérience du conducteur [311]. (Voir chapitre 4)

### **7.3.3.3 Approches basées sur l'analyse faciale**

Les approches précédentes sont classées comme des approches intrusives car elles influencent l'attention de conducteur. Les recherches sont orientées vers les méthodes basées sur les traitements des images où on utilise une caméra pour extraire les symptômes de somnolence du conducteur comme les mouvements des yeux, les bâillements fréquents, les mouvements de tête [312]. La plupart des études publiées sur l'utilisation des traitements des images se concentrent sur les mouvements des yeux et plus précisément sur la mesure PERCLOS car plusieurs études prouvent que cette mesure est une mesure fiable pour prédire la somnolence [313].

#### **7.3.3.3.1 Pourcentage de Fermeture des Yeux (PERCLOS)**

La fréquence du clignement des yeux est considérée comme l'un des signes important de l'hypovigilance [314]. Ce paramètre utilise généralement les dérivées temporelles de l'image pour la détection du mouvement, suivie par une analyse de l'image binaire pour retrouver l'état de l'œil [315]. Plusieurs paramètres des clignements des yeux ont été étudiés. Noguchi et al. (2007) ont suggéré l'application des modèles de Markov cachés « Hidden Markov Models » (HMM) sur les paramètres de durée, d'amplitude et de vitesse des clignements afin d'obtenir un classificateur à neuf niveaux de vigilance [316]. Il s'agit également du cas de Omi et al. (2008), qui ont proposé une fonction d'estimation du niveau de vigilance, résultant de l'analyse par régression multiple sur différents paramètres tels que le PERCLOS, la fréquence du clignement et la durée de fermeture de l'œil[317].

## *Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence*

---

PERCLOS est l'une des mesures les plus fréquentes dans la littérature qui a été proposé pour quantifier le changement apparent sur le mouvement des paupières [227, 318] cette mesure est basée sur le calcul du pourcentage de la fermeture de l'œil en fonction du temps et reflète la lourdeur des paupières au lieu du clignement des yeux. Wierwille (1994) ont d'montré qu'une valeur de PERCLOS excédant 80% pendant environ 3 minutes est révélatrice d'une lourdeur des paupières, et donc de somnolence[227]. Le PERCLOS peut être obtenu par l'équation [319]:

$$f_{\text{PERCLOS}} = \frac{n_{\text{fermer}}}{N_{\text{fermer\&ouvert}}} \times 100\%$$

- $n_{\text{fermer}}$  : représente le nombre d'images d'œil fermés à un moment donné.
- $N_{\text{fermer\&ouvert}}$  : représente le nombre total d'ouvertures et de fermetures d'œil dans une période.

Tous les travaux utilisant PERCLOS suivent les mêmes étapes qui consistent à délimiter la zone du visage et la région de chaque œil, puis à appliquer cette mesure pour détecter la somnolence. Qing et al. (2010) utilisent l'algorithme AdaBoost pour localiser le visage et construisent des templates de chaque œil en se basant sur la position naturelle des yeux dans le visage. Ensuite, le suivi des templates est effectué et le PERCLOS est calculé sur tous les frames de la vidéo. Le conducteur est alerté par une fatigue si le PERCLOS est supérieur à 40% et le temps de fermeture continue des yeux dépasse 3 secondes [320].

Grace (2001) a aussi utilisé le PERCLOS pour détecter la fermeture lente des paupières dans son système "Copilot", construit pour la surveillance de l'état des conducteurs professionnels (chauffeurs de camion principalement). un éclairage infrarouge est utilisé pour produire l'effet brillant de la pupille et faciliter sa détection. Le PERCLOS est calculé sur des périodes de 3 minutes afin de détecter une fatigue modérée ( $8\% < \text{PERCLOS} < 14\%$ ) ou sévère ( $\text{PERCLOS} > 14\%$ )[321].

Il existe des systèmes qui utilisent des mesures différentes de celles cités auparavant et d'autres qui fusionnent plusieurs paramètres pour obtenir de meilleurs résultats. Ji et al. (2004) proposent un système opérant sous éclairage infrarouge et combinant plusieurs paramètres extraits de l'éclairage infrarouge qui facilite la détection de l'œil grâce à l'effet brillant de la pupille. Ensuite, l'œil est suivi en utilisant le filtre de Kalman. Son état est mesuré par le PERCLOS et la vitesse moyenne de fermeture de l'œil qui définit le temps nécessaire à sa fermeture/ouverture complète [322].

Dans une étude de Senaratne et al., 2007, quatre indicateurs de l'hypovigilance ont été combinés pour déterminer l'état du conducteur, à savoir : le PERCLOS, la fréquence d'inclinaison de la tête, la fréquence de courbure du dos et la fréquence d'ajustement de la posture. Les auteurs ont obtenu un taux d'erreur de 15.2% lors de l'utilisation de PERCLOS uniquement, contre un taux de 12.7% pour la fusion des quatre indicateurs [323].

## ***Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence***

---

### ***7.3.3.3.2 Les bâillements fréquents***

Le bâillement est une réaction typique induite par la fatigue. Il se traduit par une ouverture prolongée et incontrôlée de la bouche bien différente des autres déformations des lèvres.

Dans presque tous les systèmes, où le bâillement est détecté comme un symptôme de fatigue, les méthodes de reconnaissance sont établies de manière similaire. La caméra enregistre une image du visage. La bouche est alors identifiée et son état (fermé ou ouvert) est détecté par analyse d'image. Si la bouche est ouverte, nous devons décider s'il bâille.

Ochocki et Sawicki 2017, proposent un système qui peut distinguer entre les bâillements fréquents et l'ouverture de la bouche quand on parle, on chante où on sourira. Ce système est composé de trois étapes principales, la première est la distinction des lèvres, ceci se fait avec l'algorithme de détection des repères faciaux et la deuxième étape est l'estimation de l'état de ces lèvres après le calcul de rapport de la hauteur de la bouche à leur largeur. Dans la dernière étape, la distinction entre la parole, le rire et le bâillement se fait à l'aide de la mesure FOM. La fréquence de la bouche (FOM) montre le ratio de bouche ouverte en fonction du nombre de bouches ouvertes et fermées [324]. Le calcul de FOM est similaire au calcul de PERCLOS et sa valeur peut être calculée comme suit :

$$f_{\text{FOM}} = \frac{n_{\text{ouvert}}}{N_{\text{fermer\&ouvert}}} \times 100\%$$

- *nouvert* : représente le nombre d'images de bouche fermée à un moment donné.
- *Nfermer&ouvert* : représente le nombre total d'ouvertures et de fermetures de la bouche dans une période.

### ***7.3.3.3.3 Mouvement de la tête***

La relation entre le mouvement de la tête du conducteur et la fatigue du conducteur a été largement étudiée. Bergasa et al. Considère que le hochement de tête est caractérisé par le fait que la tête s'écarte excessivement de sa position et de son orientation nominale pendant une période de temps prolongée ou trop fréquemment. Sur la base de sa conclusion, la fréquence de hochement de tête a été choisie pour évaluer la fatigue du conducteur [325]. Kaplan (2007), considère que le hochement de tête se caractérise soit par un léger balancement, soit par une secousse sporadique de la tête, soit par un hochement de tête involontaire et la relation entre le hochement de tête et la fatigue du conducteur est discutée à travers l'auto-évaluation du conducteur [326]. Ji et al. Utilise la caméra à objectif grand angle se concentrant sur le visage pour suivre le mouvement de la tête du conducteur, et constate que les inclinaisons fréquentes de la tête indiquent généralement le début de la fatigue du conducteur [327].

Les approches qui se basent sur l'analyse faciale sont les plus étudiées à l'heure actuelle. Elles ne sont pas les plus simples à mettre en œuvre. Mais elles ne sont pas intrusives, ceci les rend plus utiles dans les systèmes de détection de la fatigue.

### 7.4 La méthode proposée de détecter la fatigue et la somnolence

Notre approche consiste à proposer un système d'assistant pour détecter la somnolence en utilisant l'analyse du visage du conducteur basée sur des méthodes de traitement d'image par IA. Par conséquent, nous avons d'abord conçu un code de détection de visage qui permet de relever la somnolence chez le conducteur en détectant les périodes de micro-sommeil à partir de l'analyse des yeux. Ensuite, nous avons raffiné cette approche en proposant une étude de la fatigue à partir de l'analyse de la bouche afin de détecter les bâillements. Enfin, nous avons implémenté ce système dans la carte Raspberry pi qui effectue l'étape de traitement afin de créer un système d'alerte mobile, efficace et fonctionne en temps réel. Voir la figure 7.8.

#### 7.4.1 Structure du système

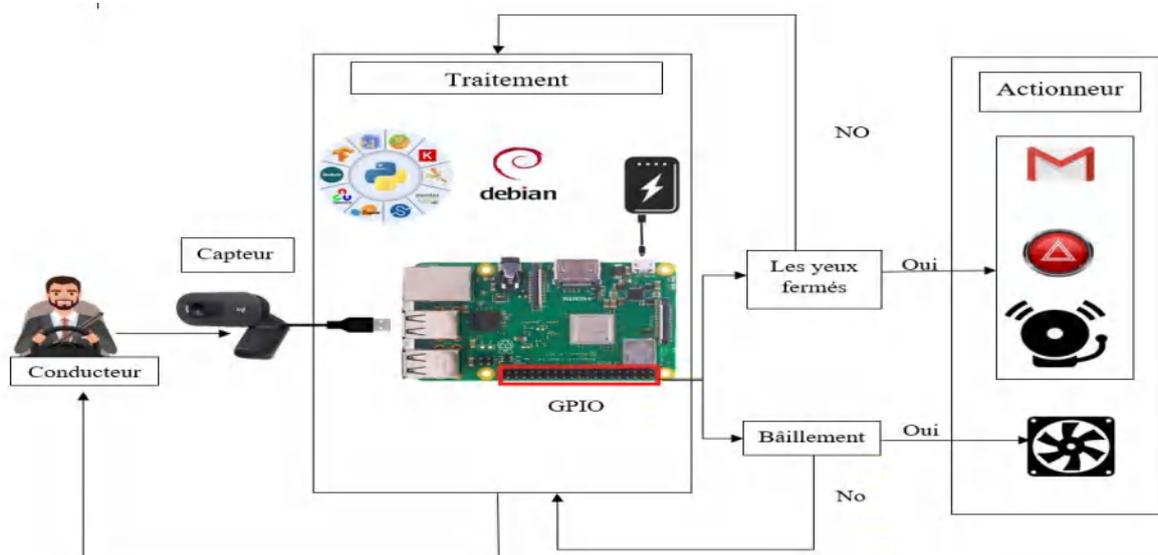


Figure 7. 8 : Représente la structure de notre système.

#### 7.4.2 Protocole d'application

##### 7.4.2.1 Matériel

###### 7.4.2.1.1 Raspberry Pi

###### ➤ Définition

Le Raspberry pi est la carte mère d'un petit ordinateur et peut être branchée sur n'importe quel périphérique (souris, clavier ...). Cette carte est faite pour aider à l'apprentissage, et représente également une méthode de programmation informatique pour l'apprentissage de plusieurs langages (python, scratch ...). Il peut lire des vidéos HD et même installer des jeux vidéo. L'avantage d'utiliser Raspberry Pi est qu'il peut interagir avec le monde extérieur et exécuter plusieurs variantes de systèmes d'exploitation libres (GNU / Linux, Raspbian Debian ...) et autres logiciels compatibles[328].

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence



Figure 7. 9:Raspberry pi4 model B

### ➤ Evolution

Le développement de l'ordinateur Raspberry Pi est un processus continu. Jusqu'à nos jours, la fondation Raspberry Pi a publié 12 modèles sur 4 générations d'ordinateurs. Les modèles sont des versions mises à niveau de leurs versions précédentes pour rendre l'ordinateur plus efficace et pratique pour les utilisateurs, notamment en raison de sa faible consommation énergétique et de ses périphériques d'entrées/sorties. Les différences entre ces modèles sont le CPU utilisé, la taille de la RAM, la taille du GPIO, le nombre de ports USB, les périphériques réseaux (Ethernet, WIFI, Bluetooth) et les périphériques de multimédias [329].

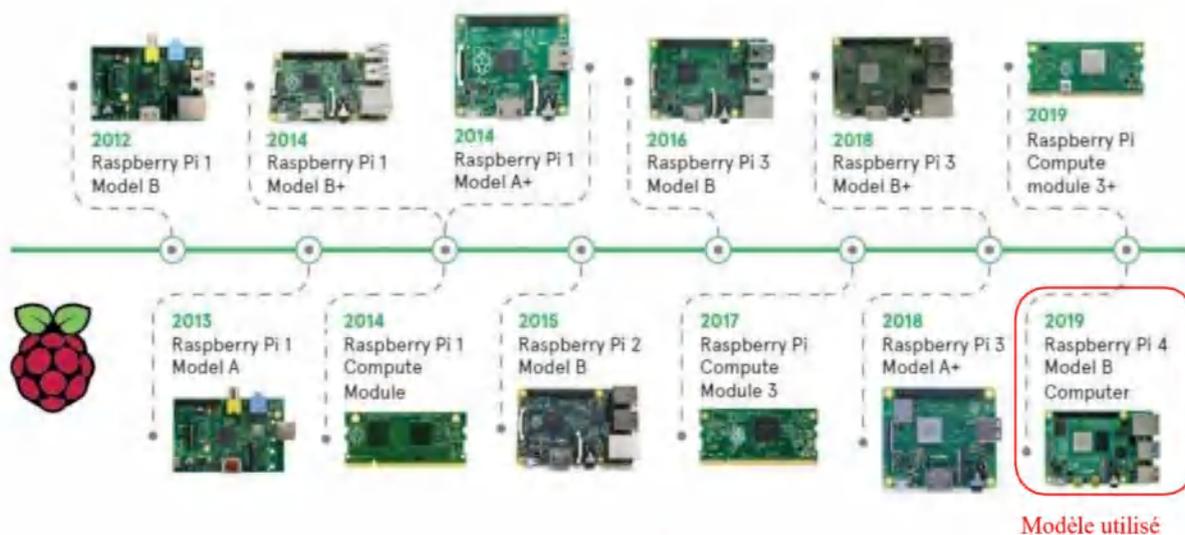


Figure 7. 10 :présente les différentes générations du Raspberry Pi [329]

### ➤ Composants de base

Le Raspberry Pi 4 modèle B est le dernier produit de la gamme d'ordinateurs Raspberry Pi. Il offre des augmentations révolutionnaires de la vitesse du processeur, des performances multimédias, de la mémoire et de la connectivité par rapport au Raspberry Pi 3 modèle B+ de la génération précédente, tout en conservant une compatibilité descendante et une consommation d'énergie similaire. Pour l'utilisateur final, le Raspberry Pi 4 modèle B offre des

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

performances de bureau comparables aux systèmes PC x86 d'entrée de gamme. C'est pour cela que nous l'avons choisi [329].

Les principales caractéristiques de Raspberry pi sont :

- Un processeur 64 bits quad-core ARM Cortex A72 cadencé à 1.5GHz intégré dans FPGA Broadcom2711.
- La prise en charge du double affichage à des résolutions allant jusqu'à 4K via une paire de ports micro-HDMI.
- Le décodage vidéo matériel jusqu'à 4Kp60
- Une Capacité de RAM jusqu'à 8 Go.
- Double bande LAN sans fil 2.4/5.0 GHz + Bluetooth 5.0
- Gigabit Ethernet.

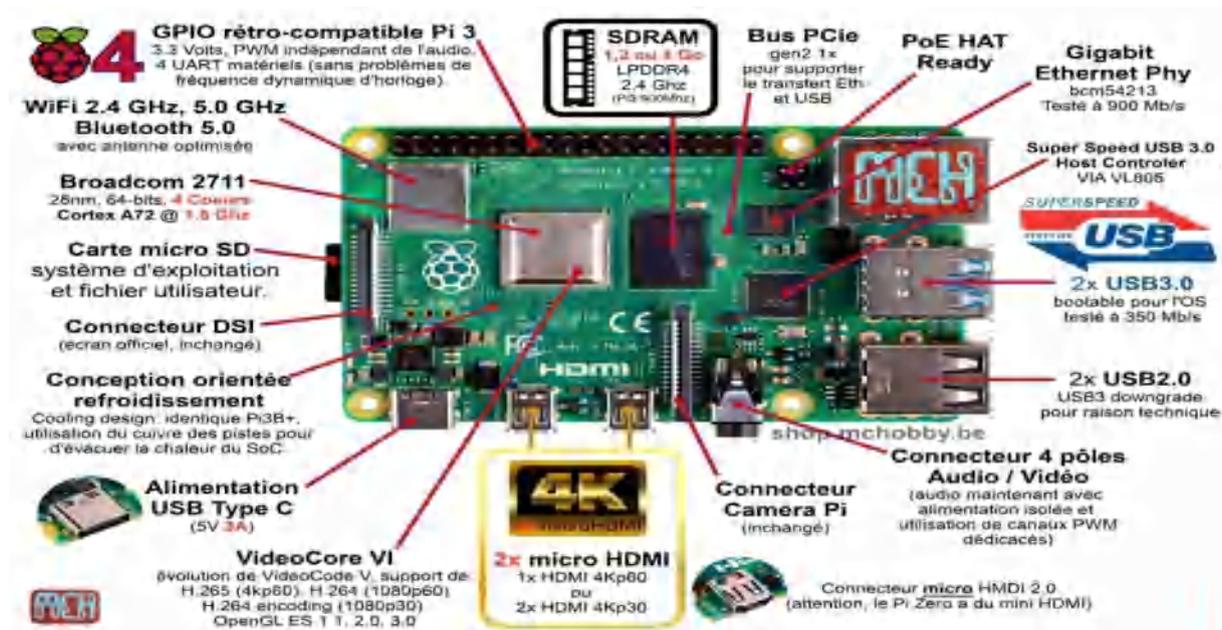


Figure 7. 11: Les principales caractéristiques de Raspberry pi [330]

### ➤ GPIO

Les broches GPIO d'entrée / sortie à usage général du Raspberry Pi vous permettent de contrôler d'autres composants électroniques et interfaces, tels que les LED, les moteurs et les relais. Ces différentes interfaces sont généralement regroupées sous le terme de « sortie ». En ce qui concerne "l'entrée", le Raspberry Pi peut lire et interpréter l'état des boutons, interrupteurs, capteurs de température, de lumière, de mouvement ou de proximité, etc. La liste sera toujours ouverte [331].

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

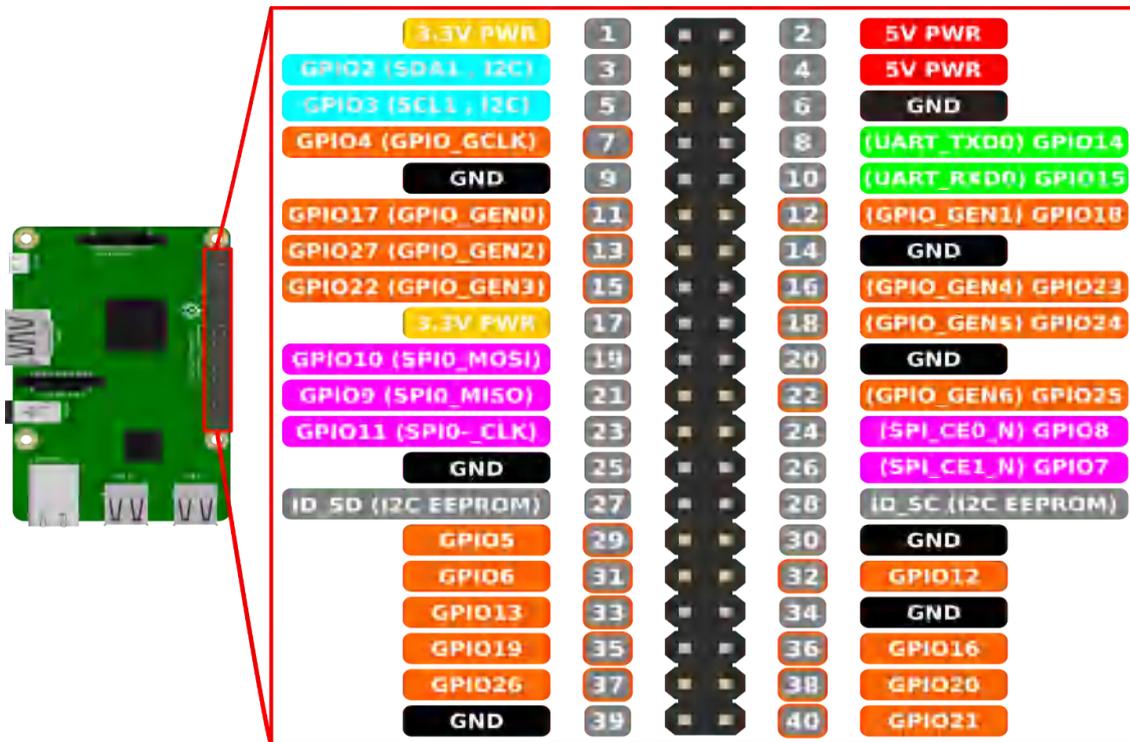


Figure 7. 12 :GPIO Raspberry pi 4 B [332]

### 7.4.2.1.2 Camera USB

Une webcam, ou une caméra électronique, est une caméra conçue pour être utilisée comme périphérique informatique et qui produit des vidéos et des images qui ne sont pas destinées à atteindre une haute qualité, mais qui sont destinées à capturer les images et à détecter des objets.



Figure 7. 13 : caméra Logitech C505

C505e est une webcam offre une qualité vidéo nette, fluide et colorée avec une résolution HD 720p/30 IPS en grand angle. La webcam C505e offre un champ de vision diagonal de 60 degrés, une mise au point fixe et une correction automatique de la lumière qui s'adapte à l'éclairage de votre espace de réunion.

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.4.2.1.3 Carte microSD 32GB

Carte mémoire afin de charger le système d'exploitation. Cette carte doit être supérieure à 8 Go car le système d'exploitation occupe beaucoup d'espace de stockage. Il devrait également y avoir de la place pour les bagages et les travaux nécessaires.



Figure 7. 14 : microDS card 32 GB

### 7.4.2.1.4 Le Buzzer

Un Buzzer (bipeur) est un élément électromécanique ou piézoélectrique qui produit un son, caractéristique quand on lui applique une tension. Certains nécessitent une tension continue, d'autres nécessitent une tension alternative. On distingue deux types de buzzer : les Actifs et les Passifs. Le Buzzer ACTIF fabrique du bruit quand il reçoit une alimentation continue, comme une sonnette. Quant au Buzzer PASSIF, il se comportera plutôt comme un mini haut-parleur à alimenter par un signal audio à diffuser.

Dans le cadre de la réalisation de notre projet, nous avons utilisé le buzzer actif, car ne présente pas trop de difficultés pour son utilisation.



Figure 7. 15 : Le buzzer

### 7.4.2.1.5 LED

Une diode électroluminescente (abrégé en DEL en français, ou LED, de l'anglais : light emitting diode) est un dispositif opto-électronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent par conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse.

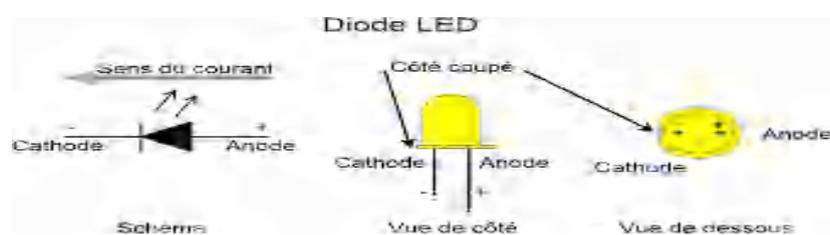


Figure 7. 16 : Le principe de fonctionnement des lampes LED

## ***Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence***

---

### ***7.4.2.1.6 Batterie externe (Power bank)***

Une batterie externe est un dispositif de stockage de l'électricité transportable pour un usage personnel. Les batteries externes sont généralement des batteries lithium-ion, appréciées pour leur grande densité énergétique. Elle est une batterie portable rechargeable conçue pour recharger vos outils électroniques lorsque vous êtes en déplacement. Ils peuvent être utilisés pour charger tous les types d'appareils électroniques : smartphones, tablettes...etc.



Figure 7. 17: Power Bank

### ***7.4.2.1.7 Ventilateur***

Ventilateur est constitué d'un petit moteur DC électrique qui assure la rotation des pales. C'est un convertisseur électromécanique donnant la possibilité la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un système mécanique.



Figure 7. 18 ::Ventilateur

### ***7.4.2.1.8 Le driver de moteur***

Le module L298N est basé sur le circuit intégré du même nom. Le circuit L298N est un double pont en H permettant de modifier la direction et l'intensité de la tension aux bornes de deux charges électriques. Les caractéristiques du module L298N sont :

- ✓ Pilotage de moteur de tension nominale de 5 à 35V
- ✓ 2A courant maximum (peak)
- ✓ Tension 5V acceptées sur les broches Input
- ✓ Puissance consommée maximale : 20 W.
- ✓ Température de stockage : -25 °C ~ + 130 °C
- ✓ Taille de la plaque : 55 mm x 60 mm x 30 mm
- ✓ Poids : 33 g

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

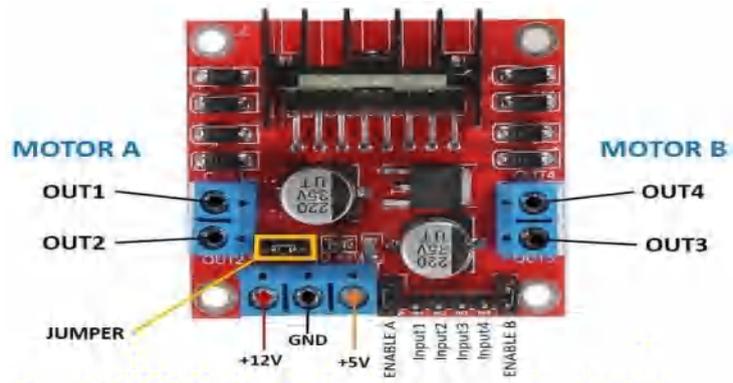


Figure 7. 19 : Le driver de moteur L298n

### Pourquoi les moteurs à courant continu ont besoin d'un driver de moteur ?

Les broches GPIO du Raspberry Pi ne peuvent fournir qu'un courant de 16 mA par broche, ce qui n'est pas suffisant pour alimenter un moteur à courant continu. Pour fournir le courant requis par le moteur, nous devons utiliser le driver de moteur. Nous utiliserons le driver de moteur à pont en H commun et fiable L293D. Ce driver de moteur alimentera les moteurs à partir d'une alimentation séparée et contrôlera les moteurs en fonction des signaux du Raspberry Pi.

#### 7.4.2.1.9 Piles

Nous avons utilisé 4 piles AA de 1,5 V pour alimenter le ventilateur (moteur DC)



Figure 7. 20 : Piles

#### 7.4.2.1.10 Carte d'expérience (breadboard) et fils de liaison

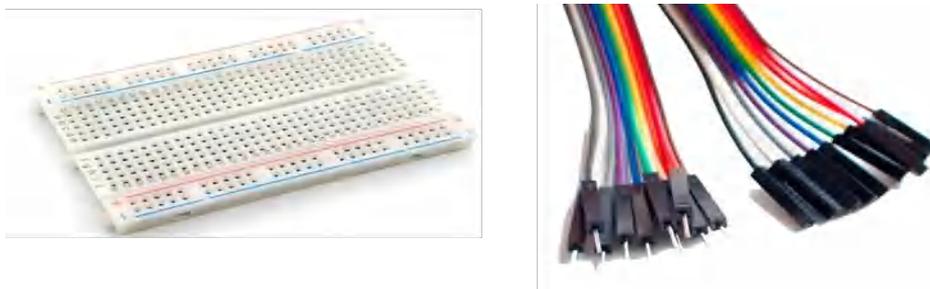


Figure 7. 21: Carte d'expérience (breadboard) et fils de liaison

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.4.2.2 Software

#### 7.4.2.2.1 Système d'exploitation

Comme tout ordinateur doté d'un microprocesseur nécessitant un système d'exploitation, Raspbian est le système d'exploitation de référence pour Raspberry Pi. Il est basé sur Linux Debian (Raspberry + Debian = Raspbian) et il est très régulièrement mis à jour. En 2021, Raspbian a changé de nom, et devient Raspberry Pi OS. La nouvelle version est beaucoup plus facile à installer et à utiliser. Optimisé spécialement pour le Raspberry Pi, c'est une distribution polyvalente qui facilite la manipulation du matériel.

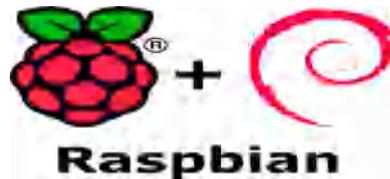


Figure 7. 22 : Système d'exploitation Raspbian

#### 7.4.2.2.2 Thonny python IDE

Thonny est un IDE, un environnement de développement intégré pour Python, conçu pour les débutants, car il fournit une interface propre pour commencer à programmer facilement et rapidement. Il facilite l'écriture, l'exécution et le débogage de code en proposant diverses fonctionnalités. Le Raspberry pi est livré avec un IDE Thonny préinstallé, il fonctionne avec python 2 et python 3, il suffit d'installer le paquetage nécessaire pour exécuter les codes python (OpenCV, mediapipe, NumPy...etc).

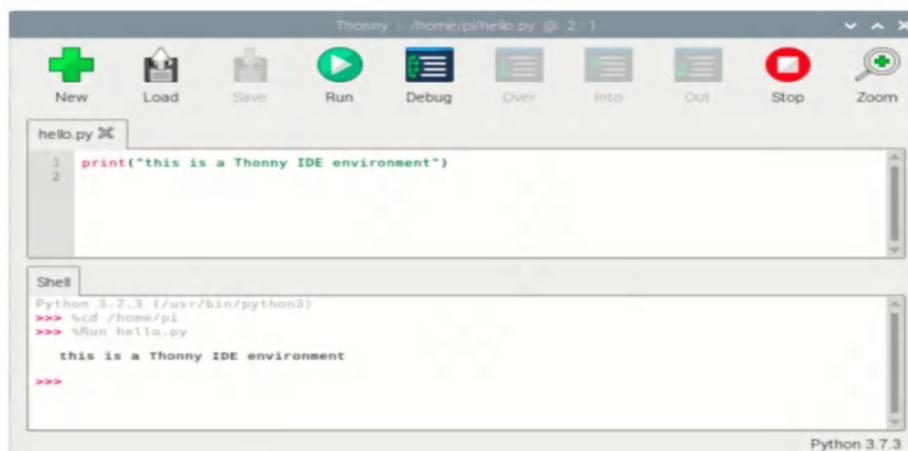


Figure 7. 23:Thonny python IDE

### 7.4.2.3 Installation du système

#### 7.4.2.3.1 Formater la carte SD

La carte SD est ce qui servira de mémoire morte sur le Raspberry Pi, tout comme un disque dur d'ordinateur. C'est là que le système d'exploitation et les documents seront stockés. Même si la carte SD est neuve, le mieux est de la formater avant de copier les fichiers d'installation.

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.4.2.3.2 Installer Raspbian sur carte SD

Une fois la carte MicroSD formate, on va simplement télécharger l'outil proposé par la fondation, [Raspberry Pi Imager](#). (Voir l'annexe)

Et après le téléchargement, nous installons l'outil sur notre ordinateur. À l'ouverture, il suffit de sélectionner le système désiré, Raspberry Pi OS étant le système basé sur Linux, spécialement conçu pour le Raspberry Pi, anciennement nommé Raspbian. Sélectionnez ensuite la carteSD puis définir certains paramètres (wifi, SSH, mot passe et time) enfin cliquez sur WRITE pour lancer l'écriture de l'OS sur la carte microSD. L'opération durera environ 15 minutes.

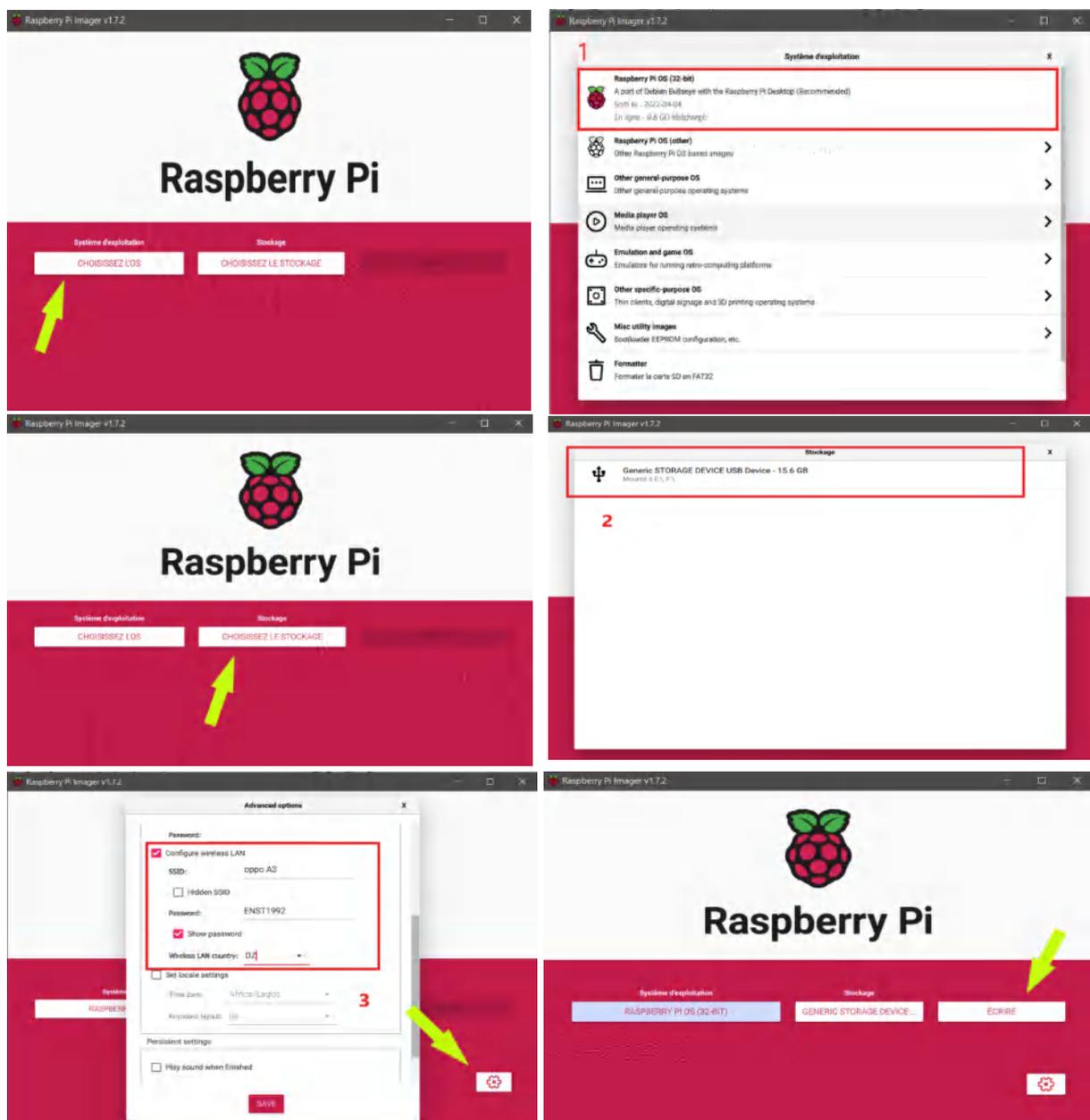


Figure 7. 24 : Les étapes d'installation Raspbian sur carte SD par programme Raspberry Pi Imager

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.4.2.3.3 Mode de connexion

Afin d'avoir une meilleure manipulation et mobilité. Nous nous connecterons à distance à travers notre Pc hôte, depuis du point d'accès de routeur et port du SSH via :

#### ➤ PUTTY

PuTTY est un émulateur de terminal doublé d'un client pour les protocoles SSH, Telnet, Rogin, et TCP brut. Il permet également des connexions directes. À l'origine disponible uniquement pour Windows, il est à présent porté sur diverses plateformes Linux [333].

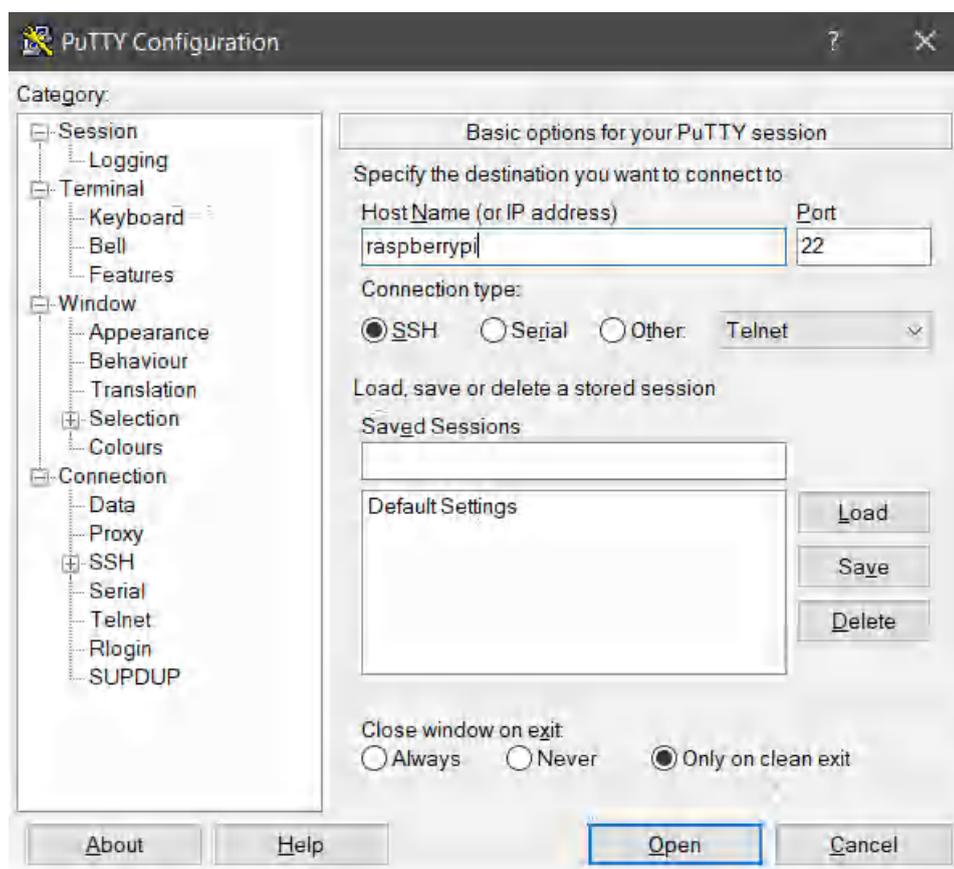


Figure 7. 25:capture de l'interface PuTTY [333].

#### ➤ Mode VNC

En informatique, Virtual Network Computing (VNC) est un système graphique de partage de postes de travail qui utilise le protocole RFB (Remote Frame Buffer) pour contrôler à distance un autre ordinateur. Il transmet les événements de clavier et de souris d'un ordinateur à un autre, en relayant les mises à jour de l'écran graphique dans l'autre sens, via un réseau. [10] le contrôle à distance sur le Raspberry Pi nécessite une installation du VNC du côté d'un serveur sur notre Raspberry Pi et d'un autre d'un client VNC sur notre ordinateur.

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

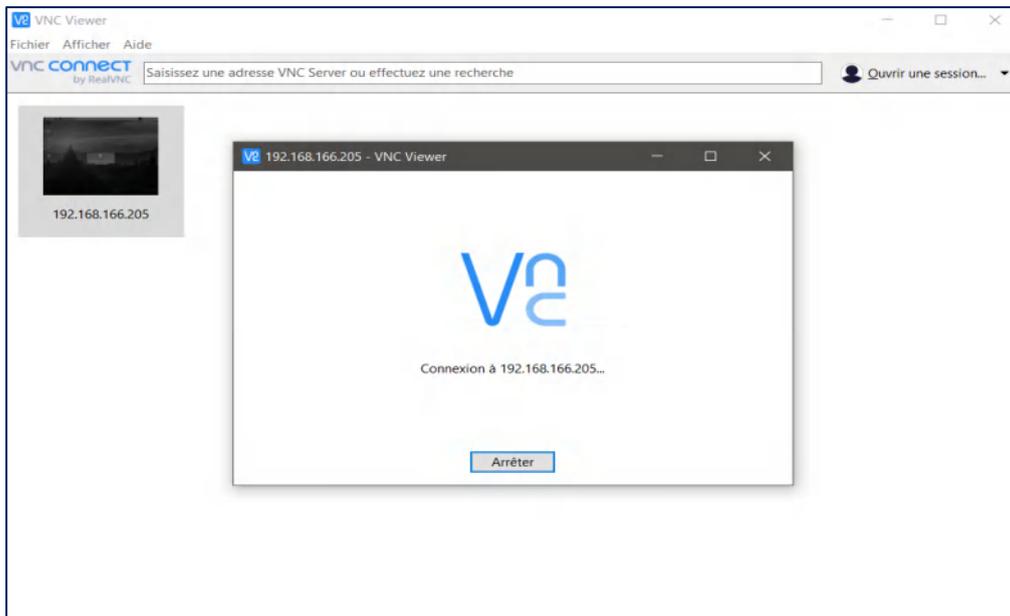


Figure 7. 26 : Interface de programme VNC

Après l'authentification (en entrant notre mot de passe) le logiciel VNC affiche l'interface graphique du système d'exploitation (voir figure 7.27), donc à ce moment on a tous les droits et toute la liberté d'utiliser l'interface graphique de notre système d'exploitation sur notre ordinateur en bénéficiant du clavier, souris et écrans de notre propre ordinateur, c'est comme si le Raspberry était connecté à un écran par le câble HDMI et utilise un clavier et souris via les ports USB.



Figure 7. 27: Bureau de Raspberry pi

# Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

## 7.4.2.3.4 Installation des bibliothèques

Nous avons installé toutes les bibliothèques de python (OpenCV NumPy, mediapipe.....) suffisant pour notre code de détection visage, En exécutant les commandes suivantes dans le terminal de Raspberry pi (voir figure 7.28) :

- ✓ sudo apt-get install python3-dev
- ✓ sudo apt-get install python3-pip
- ✓ sudo apt-get install python3-opencv
- ✓ sudo apt-get install mediapipe

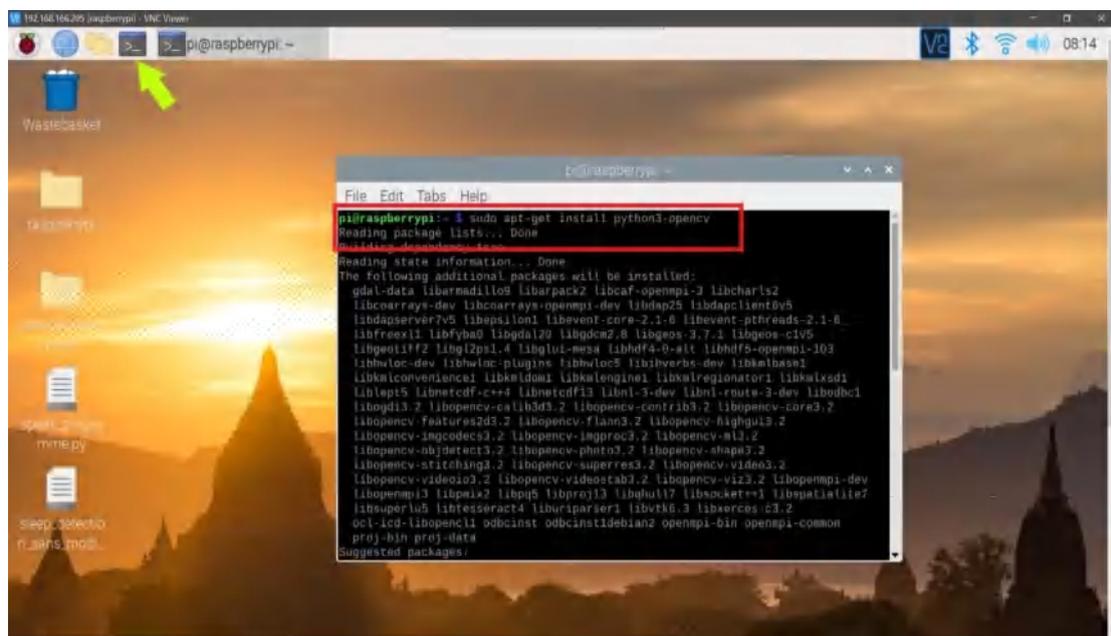
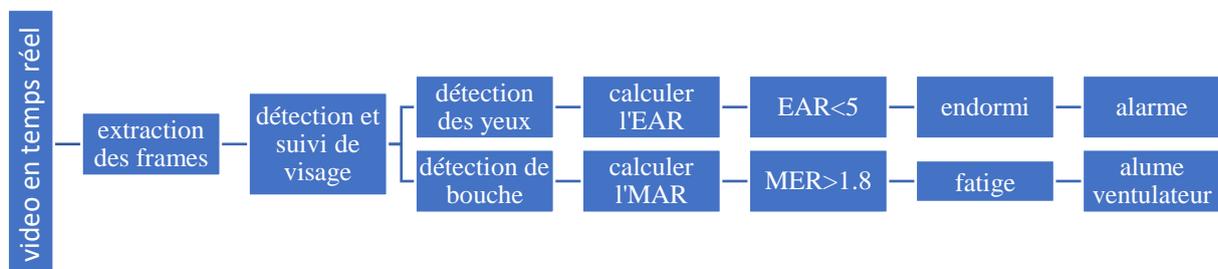


Figure 7. 28 : Installation des bibliothèques par terminal

## 7.4.2.4 Architecture de détection

La détection de la somnolence consiste à capturer l'état des yeux et de la bouche avec la caméra, à le traiter dans le Raspberry pi à l'aide des outils OpenCV et Python et à alerter si l'état des yeux et de la bouche devient anormal.



## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.4.2.5 Les points caractéristiques dans un visage

L'étape de détection du visage est une étape primordiale permettant de chercher la présence d'un visage dans une image. Une fois détecté, on doit extraire et récupérer les points caractéristiques représentant les yeux, et la bouche qui seront utilisés ultérieurement.

La détection de ces points est implémentée dans la bibliothèque Mediapipe utilisé sous le langage Python. Elle permet de produit 468 points 2D de coordonnées (x, y) qui cartographient des structures faciales spécifiques. Ces points sont stockés dans un tableau indexé. Voici donc les indices de chaque point parmi les 468 points (figure 7.29) :

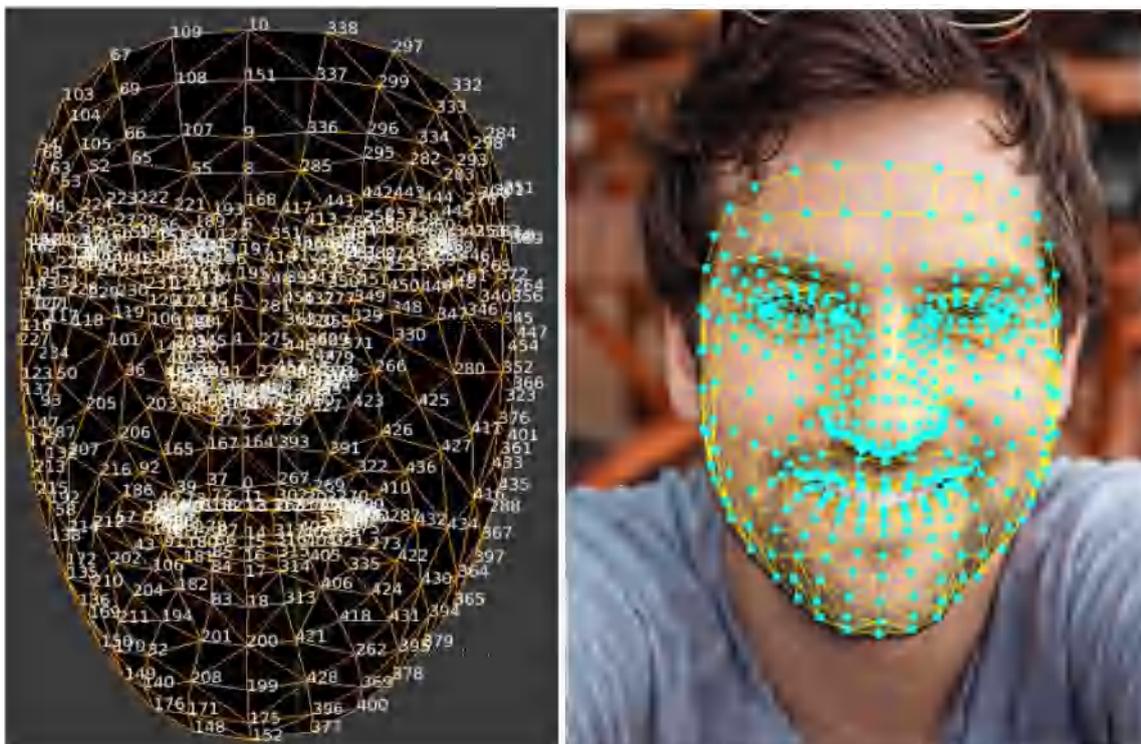
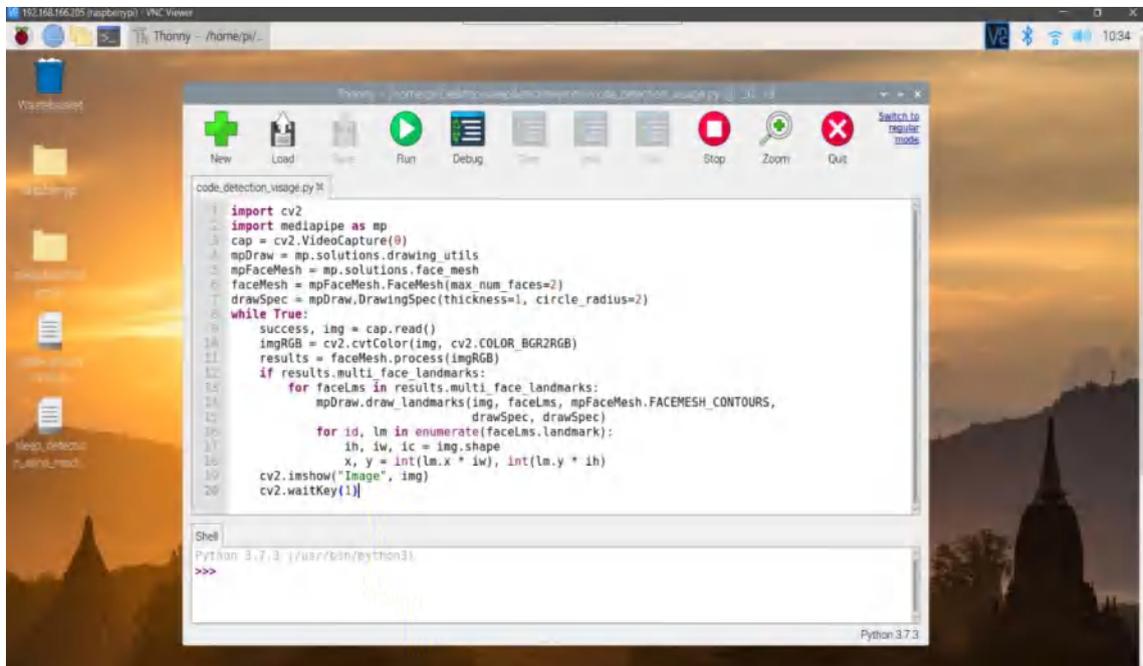


Figure 7.29 : 468 points caractéristiques du visage à l'aide de la bibliothèque mediapipe

Après avoir installé tous les logiciels et bibliothèques nécessaires, nous avons créé un code (voir figure 7.30) capable de détecter et de suivre 486 points dans un visage humain à l'aide de la bibliothèque Mediapipe .il est exécuté sur IDE de Raspberry pi Thonny.

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### ➤ Code



```
code_detection_usage.py 34
1 import cv2
2 import mediapipe as mp
3 cap = cv2.VideoCapture(0)
4 mpDraw = mp.solutions.drawing_utils
5 mpFaceMesh = mp.solutions.face_mesh
6 faceMesh = mpFaceMesh.FaceMesh(max_num_faces=2)
7 drawSpec = mpDraw.DrawingSpec(thickness=1, circle_radius=2)
8 while True:
9     success, img = cap.read()
10    imgRGB = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
11    results = faceMesh.process(imgRGB)
12    if results.multi_face_landmarks:
13        for faceLms in results.multi_face_landmarks:
14            mpDraw.draw_landmarks(img, faceLms, mpFaceMesh.FACEMESH_CONTOURS,
15                                  drawSpec, drawSpec)
16            for id, lm in enumerate(faceLms.landmark):
17                ih, iw, ic = img.shape
18                x, y = int(lm.x * iw), int(lm.y * ih)
19            cv2.imshow("Image", img)
20            cv2.waitKey(1)
```

Figure 7. 30 : Code de détection visage

### ➤ Résultat

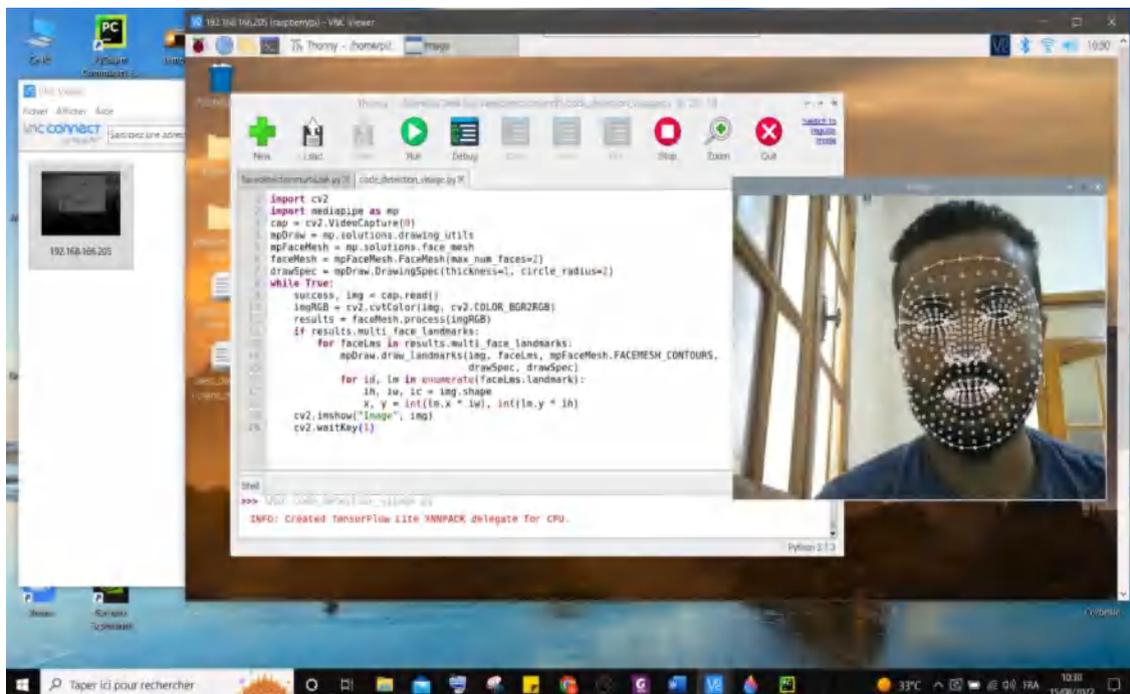


Figure 7. 31:Résultat de détection visage

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.4.2.6 Détection somnolence et fatigue

L'étape de caractérisation consiste à dégager les caractéristiques pertinentes de l'expression faciale étudiée et d'éliminer les informations redondantes. Puisque nous nous intéressons à la fatigue, nous cherchons à extraire des points caractéristiques spécifiques du visage : ce sont les points des yeux et la bouche.

#### 7.4.2.6.1 Détection des yeux fermés

Comme on peut le savoir, fermer les yeux est un signe clé des symptômes de somnolence. Dans Mediapipe, chaque œil est représenté par plusieurs points, nous utiliserons 4 points de coordonnées (x, y) pour chaque œil comme le montre la figure 7.32

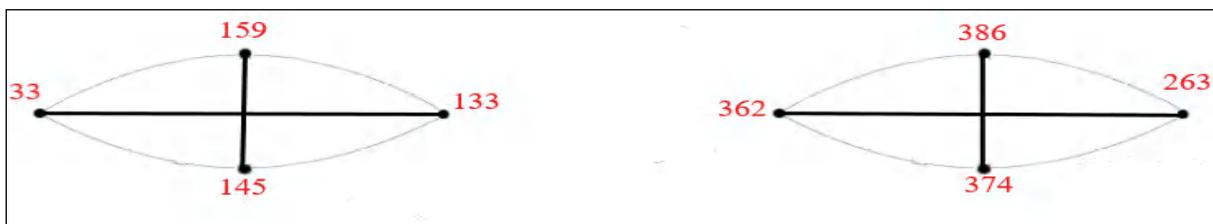


Figure 7. 32 : région d'un œil représentée par les points caractéristique

Pour décrire et représenter les points caractéristiques décrivant les yeux, on va utiliser une mesure appelée Rapport d'Aspect Oculaire, en anglais « Eye Aspect Ratio (EAR) ». Cette mesure représente le rapport entre la largeur et la hauteur de l'œil. La valeur de cette mesure nous permettra de déterminer et de mesurer l'ouverture de l'œil, plus elle grande, plus l'œil est ouvert. Par conséquent, nous avons estimé l'équation de calcul la valeur d'EAR comme suite :

- Pour œil droite :

$$\begin{aligned}AD &= d(\text{eye } [33], \text{eye } [133]) \\BD &= d(\text{eye } [159], \text{eye } [145]) \\RD (\text{ration droite}) &= AD / BD\end{aligned}$$

- Pour œil gauche :

$$\begin{aligned}AG &= d(\text{eye } [362], \text{eye } [263]) \\BG &= d(\text{eye } [386], \text{eye } [374]) \\RG(\text{ration gauche}) &= AG / BG\end{aligned}$$

Tel que : AD et AG mesurent respectivement la distance horizontale de l'œil. De plus, BD, BG calculent les dimensions verticales de l'œil,

- Alors :

$$EAR = (RD + RG)/(2)$$

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### Seuil oculaire ( $T_e$ )

C'est la valeur qui permet de définir l'état de l'œil. Si la valeur du EAR est en dessous de cette valeur, l'œil est considéré comme ouvert.

$$\begin{aligned}\text{"État des yeux"} &= \text{"Ouvert"}, EAR < T_e \\ &= \text{"Fermé"}, EAR \geq T_e\end{aligned}$$

Dans la littérature, la plupart des travaux essaient de trouver cette valeur empiriquement. La valeur de  $T_e$  (tolérance minimale) peut être déterminée par essais et erreurs, en recherchant les différentes valeurs de  $T_e$ , afin que le système puisse correctement classer les différentes situations. Par conséquent, la valeur la plus représentative dans notre cas est  $T_e = 5$  car nous avons utilisé une nouvelle bibliothèque de détection de visage (MediaPipe).

#### 7.4.2.6.2 Détection de la bouche et du bâillement

Après avoir détecté l'œil et calculé la valeur d'EAR, l'étape suivante est la détection du bâillement qui consiste à localiser la bouche et les lèvres. Pour ce faire, la zone de la bouche marquée par des points caractéristiques est également détectée par MediaPipe, ce qui est illustré à la figure 7.33

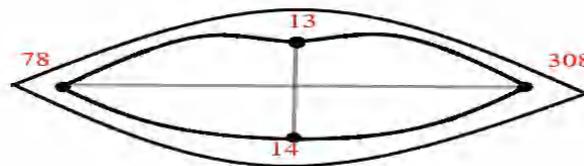


Figure 7.33 : région de la bouche représentée par les points caractéristiques

De la même manière, nous calculons une mesure appelée Rapport d'Aspect de la Bouche, en anglais « Mouth Aspect Ratio (MAR) », qui détermine le rapport entre la largeur et la hauteur de la bouche. Sur la base des valeurs du MAR, nous pouvons savoir si la bouche est ouverte (dans un état de bâillement), ou fermée. Cette valeur est calculée comme suit :

$$\begin{aligned}A_m &= d(\text{mouth [78]}, \text{mouth [308]}) \\ B_m &= d(\text{mouth [13]}, \text{mouth [14]})\end{aligned}$$

$B_m$  mesure l'ouverture verticale de la bouche et  $A_m$  calcule la largeur de la bouche

- Alors :

$$MAR = (A_m/B_m)$$

Seuil de la bouche ( $T_m$ ) Il s'agit de la valeur limite du MAR qui permet de déterminer si la bouche est ouverte en cas de bâillement ou autres. Si la valeur d'MAR ne dépasse pas cette valeur, la bouche est considérée comme étant dans un état de bâillement.

$$\begin{aligned}\text{"État de la bouche"} &= \text{"Bâillement"}, MAR < T_m \\ &= \text{"Fermé"} / \text{"Parlant"}, MAR \geq T_m\end{aligned}$$

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

---

Dans la littérature, la valeur de  $T_m$  est déterminée par essais et erreurs, en recherchant différentes valeurs de  $T_m$ , afin que le système puisse correctement classifier une instance de bâillement et de fermeture de la bouche. Lors de la détermination du seuil optimal pour la bouche béante, un problème de détection de faux positifs a été rencontré, car le conducteur pouvait ouvrir la bouche en parlant. Cela ne doit pas être identifié comme un état de bâillement. Étant donné que la bouche humaine s'ouvre plus largement sur un certain nombre d'images consécutives en bâillant qu'en parlant, le seuil est choisi de manière à ce qu'il soit suffisamment élevé pour ignorer la bouche ouverte lorsqu'on parle dans des conditions normales [334]. De cette façon, nous obtenons la valeur optimale de  $T_m = 1,8$ .

### Code

```
import cv2 as cv
import mediapipe as mp
from scipy.spatial import distance as dis
def draw_landmarks(image, outputs, land_mark, color):
    height, width = image.shape[:2]
    for face in land_mark:
        point = outputs.multi_face_landmarks[0].landmark[face]
        point_scale = ((int)(point.x * width), (int)(point.y * height))
        cv.circle(image, point_scale, 2, color, 1)
def euclidean_distance(image, top, bottom):
    height, width = image.shape[0:2]
    point1 = int(top.x * width), int(top.y * height)
    point2 = int(bottom.x * width), int(bottom.y * height)
    distance = dis.euclidean(point1, point2)
    return distance
def get_aspect_ratio(image, outputs, top_bottom, left_right):
    landmark = outputs.multi_face_landmarks[0]
    top = landmark.landmark[top_bottom[0]]
    bottom = landmark.landmark[top_bottom[1]]
    top_bottom_dis = euclidean_distance(image, top, bottom)
    left = landmark.landmark[left_right[0]]
    right = landmark.landmark[left_right[1]]
    left_right_dis = euclidean_distance(image, left, right)
    aspect_ratio = left_right_dis / top_bottom_dis
    return aspect_ratio
face_mesh = mp.solutions.face_mesh
draw_utils = mp.solutions.drawing_utils
landmark_style = draw_utils.DrawingSpec((0, 255, 0), thickness=1,
circle_radius=1)
connection_style = draw_utils.DrawingSpec((0, 0, 255), thickness=1,
circle_radius=1)

STATIC_IMAGE = False
MAX_NO_FACES = 2
DETECTION_CONFIDENCE = 0.6
TRACKING_CONFIDENCE = 0.5

COLOR_RED = (0, 0, 255)
COLOR_BLUE = (255, 0, 0)
COLOR_GREEN = (0, 255, 0)
```

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

---

```
LIPS = [61, 146, 91, 181, 84, 17, 314, 405, 321, 375, 291, 308, 324, 318,
402, 317, 14, 87, 178, 88, 95,
        185, 40, 39, 37, 0, 267, 269, 270, 409, 415, 310, 311, 312, 13, 82,
81, 42, 183, 78]
RIGHT_EYE = [33, 7, 163, 144, 145, 153, 154, 155, 133, 173, 157, 158, 159,
160, 161, 246]
LEFT_EYE = [362, 382, 381, 380, 374, 373, 390, 249, 263, 466, 388, 387,
386, 385, 384, 398]

LEFT_EYE_TOP_BOTTOM = [386, 374]
LEFT_EYE_LEFT_RIGHT = [263, 362]
RIGHT_EYE_TOP_BOTTOM = [159, 145]
RIGHT_EYE_LEFT_RIGHT = [133, 33]
UPPER_LOWER_LIPS = [13, 14]
LEFT_RIGHT_LIPS = [78, 308]
FACE = [10, 338, 297, 332, 284, 251, 389, 356, 454, 323, 361, 288, 397,
365, 379, 378, 400,
        377, 152, 148, 176, 149, 150, 136, 172, 58, 132, 93, 234, 127, 162,
21, 54, 103, 67, 109]
face_model = face_mesh.FaceMesh(static_image_mode=STATIC_IMAGE,
max_num_faces=MAX_NO_FACES,min_detection_confidence=DETECTION_CONFIDENCE,
min_tracking_confidence=TRACKING_CONFIDENCE)

capture = cv.VideoCapture(0)

frame_count = 0
min_frame = 6
min_tolerance = 5.0
while True:
    result, image = capture.read()
    if result:
        image_rgb = cv.cvtColor(image, cv.COLOR_BGR2RGB)
        outputs = face_model.process(image_rgb)
        if outputs.multi_face_landmarks:
            draw_landmarks(image, outputs, FACE, COLOR_GREEN)
            draw_landmarks(image, outputs, LEFT_EYE_TOP_BOTTOM, COLOR_RED)
            draw_landmarks(image, outputs, LEFT_EYE_LEFT_RIGHT, COLOR_RED)
            ratio_left = get_aspect_ratio(image, outputs,
LEFT_EYE_TOP_BOTTOM, LEFT_EYE_LEFT_RIGHT)
            draw_landmarks(image, outputs, RIGHT_EYE_TOP_BOTTOM, COLOR_RED)
            draw_landmarks(image, outputs, RIGHT_EYE_LEFT_RIGHT, COLOR_RED)
            ratio_right = get_aspect_ratio(image, outputs,
RIGHT_EYE_TOP_BOTTOM, RIGHT_EYE_LEFT_RIGHT)
            ratio = (ratio_left + ratio_right) / 2.0

            if ratio > min_tolerance:
                frame_count += 1
            else:
                frame_count = 0
            if frame_count > min_frame:
                # Closing the eyes
                cv.putText(image, 'vous etes endormi', (50, 50),
cv.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1,
                        (255, 255, 255), 2, cv.LINE_AA, False)
                draw_landmarks(image, outputs, UPPER_LOWER_LIPS, COLOR_BLUE)
                draw_landmarks(image, outputs, LEFT_RIGHT_LIPS, COLOR_BLUE)
                ratio_lips = get_aspect_ratio(image, outputs, UPPER_LOWER_LIPS,
LEFT_RIGHT_LIPS)
```

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

```
if ratio_lips < 1.8:
    # Open his mouth
    cv.putText(image, 'vous etes fatigue', (50, 50),
cv.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1,
                (255, 255, 0), 2, cv.LINE_AA, False)

cv.imshow("FACE MESH", image)
if cv.waitKey(1) & 255 == 27:
    break

capture.release()
cv.destroyAllWindows()
```

### Résultat

#### ➤ Etat normal

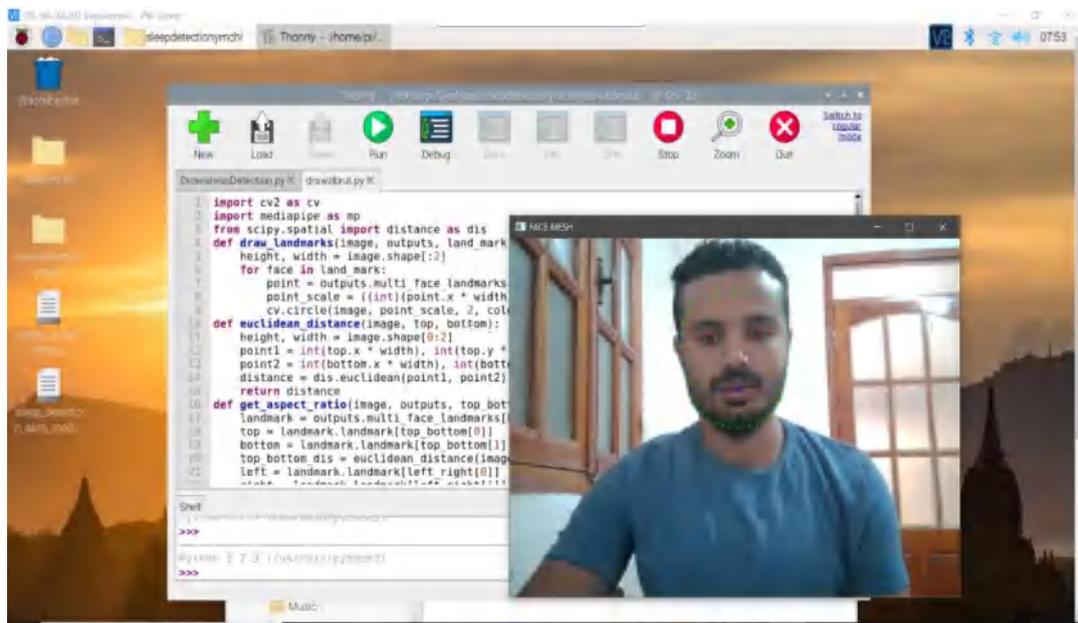


Figure 7. 34 : le résultat de l'état normal

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### ➤ Etat de somnolence

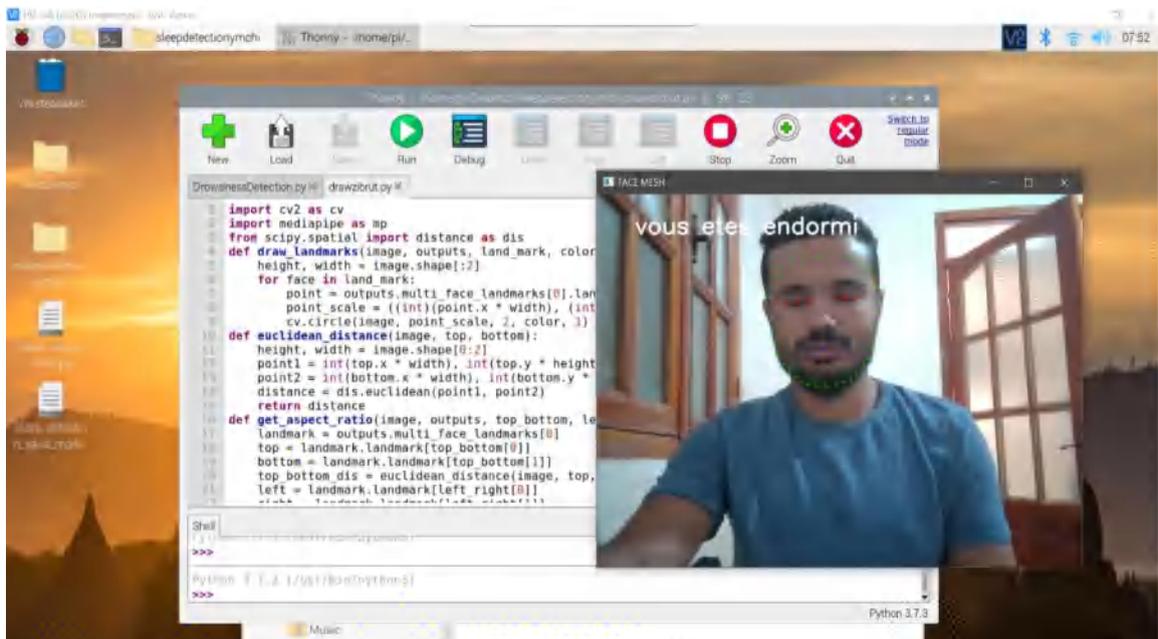


Figure 7. 35 : Résultat de Etat de somnolence

### ➤ Etat de bâillement

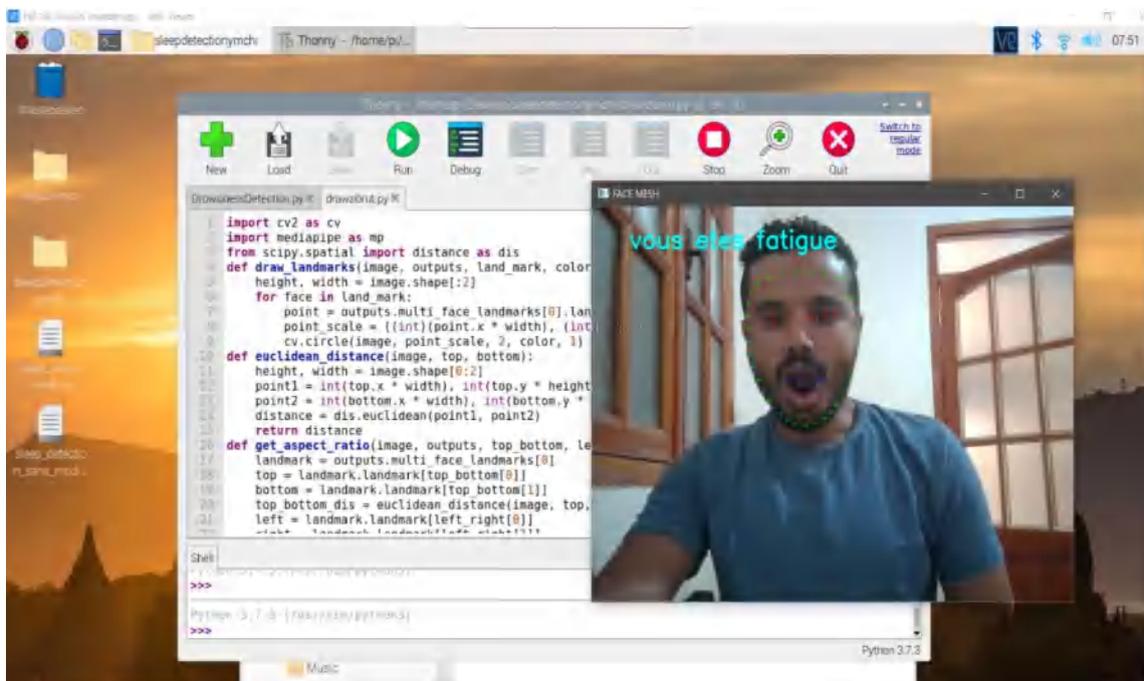


Figure 7. 36 : Résultat de Etat bâillement

À ce point, notre code est capable de comprendre en temps réel si le conducteur bâille ou s'endort, et pour rendre ce code très utile nous l'implémentons dans le système d'alerte.

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### 7.4.2.7 Le système d'alarme

Dans cette étape, nous avons construit un système d'alerte basé sur les actionneurs. Nous avons donc connecté les actionneurs aux portes GPIO de la carte Raspberry, puis créé un code Python qui déclenche le buzzer (les effets sonores) LED (les effets lumière) et envoie également un e-mail, si le conducteur ferme les yeux, et allume le ventilateur si le conducteur bâille.

#### 7.4.2.7.1 Système d'alerte lorsque les yeux sont fermés (en cas de somnolence)

##### ➤ Schéma de fonctionnement (buzzer et LED) :

Nous utilisons GPIO numéro 2 pour déclencher buzzer et 18 pour allumer LED

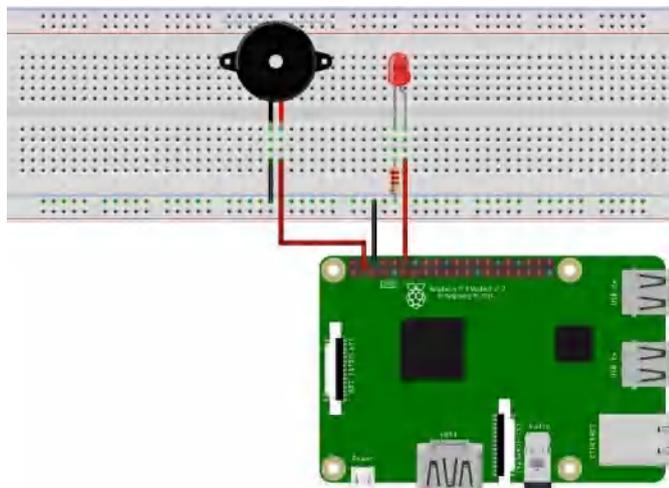


Figure 7. 37 : schéma de fonctionnement pour buzzer et led

##### ➤ Code

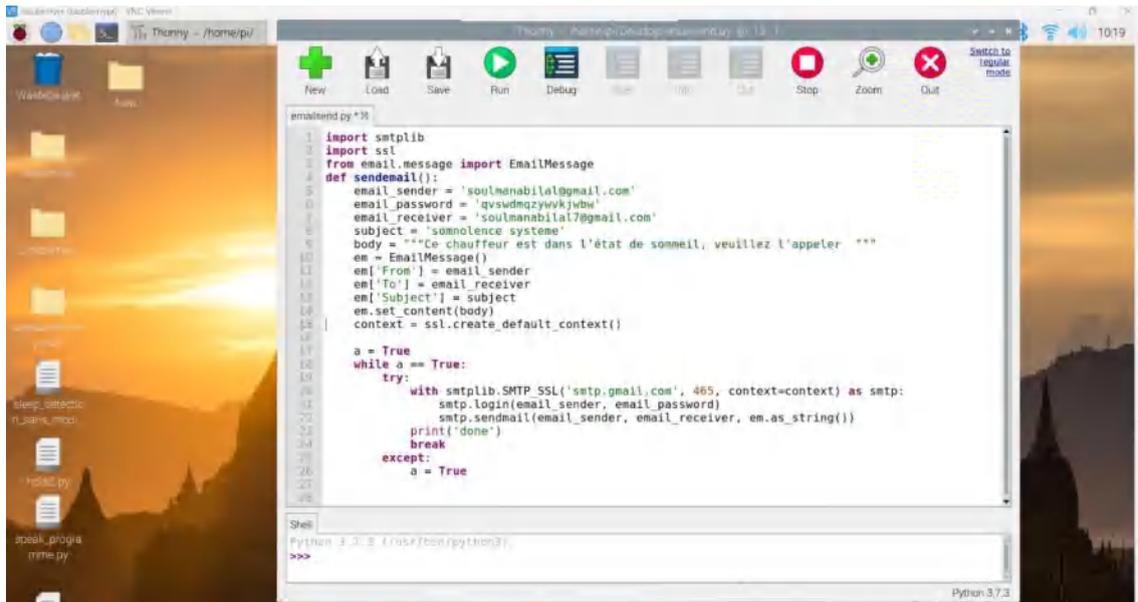
Nous avons ajouté le code suivant au code de détection somnolence :

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
GPIO.setMode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
led=18
buzzer=2
GPIO.setup(led, GPIO.OUT)
GPIO.setup(buzzer, GPIO.OUT)
While(True);
    Print("LED ON")
    GPIO.output(led, GPIO.HIGH)
    Print("LED OFF")
    GPIO.output(led, GPIO.LOW)
    GPIO.output(buzzer, GPIO. HIGH)
    Print("BEEP")
    GPIO.output(buzzer, GPIO.LOW)
    Print("NO BEEP")
    time.sleep(.1)
```

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### ➤ Code d'envoyé email

Dans cette étape, nous avons créé une boîte mail nommée "soulmanabilal7@gmail.com" et lorsque le chauffeur ferme les yeux 3 fois de suite, notre code envoie le message "Ce chauffeur est dans l'état de sommeil, veuillez l'appeler " à une autre boîte e-mail de quelqu'un d'autre qui pourrait être son patron ou ses parents.



```
1 import smtplib
2 import ssl
3 from email.message import EmailMessage
4 def sendemail():
5     email_sender = 'soulmanabilal@gmail.com'
6     email_password = 'qvsudmqzpvvkjvba'
7     email_receiver = 'soulmanabilal@gmail.com'
8     subject = 'somnolence systeme'
9     body = ""Ce chauffeur est dans l'état de sommeil, veuillez l'appeler ""
10    em = EmailMessage()
11    em['From'] = email_sender
12    em['To'] = email_receiver
13    em['Subject'] = subject
14    em.set_content(body)
15    context = ssl.create_default_context()
16
17    a = True
18    while a == True:
19        try:
20            with smtplib.SMTP_SSL('smtp.gmail.com', 465, context=context) as smtp:
21                smtp.login(email_sender, email_password)
22                smtp.sendmail(email_sender, email_receiver, em.as_string())
23                print('done')
24                break
25        except:
26            a = True
```

Figure 7. 38 : Code d'envoyé email

### 7.4.2.7.2 Système d'alerte en cas de bâillement

Dans la littérature, plusieurs études ont évalué les moyens d'aider le conducteur lutté contre des symptômes de la somnolence et fatigue de diverses façons, comme ouvrir les fenêtres ou allumer la climatisation pour se donner un coup d'air frais [335, 336] , et sachant que tous ces systèmes contiennent du moteur (DC). Nous avons décidé de construire un système d'alarme basé sur l'allumage du moteur lorsque le conducteur bâille.

### ➤ Schéma de fonctionnement

Nous avons utilisé GPIO (27,22,17) pour contrôler le moteur DC (12V) par code python, et le drive L298n pour convertir la tension entre les batteries et le moteur.

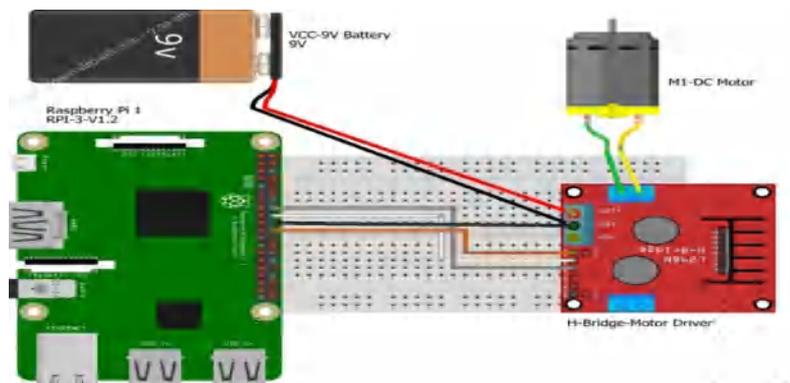
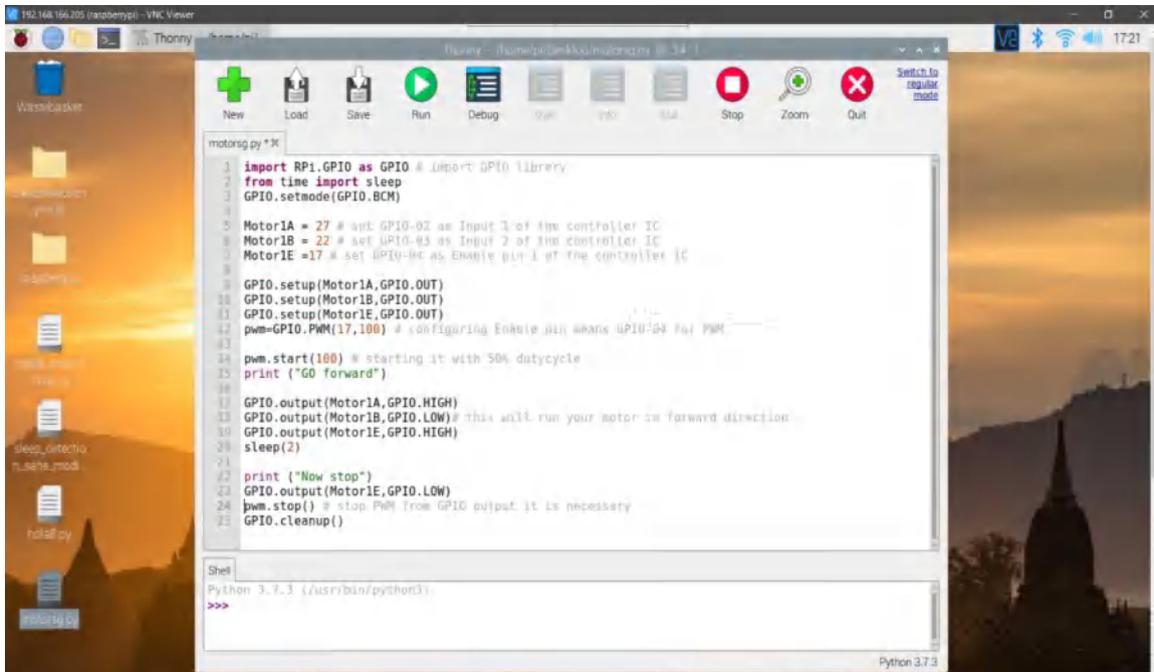


Figure 7. 39 : Schéma de fonctionnement ventilateur

## Chapitre 07 : Conception d'un système d'aide à la conduite pour détecter la fatigue et la somnolence

### ➤ Code



```
1 import RPi.GPIO as GPIO # import GPIO library
2 from time import sleep
3 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
4
5 Motor1A = 27 # set GPIO-02 as Input 3 of the controller IC
6 Motor1B = 22 # set GPIO-03 as Input 2 of the controller IC
7 Motor1E = 17 # set GPIO-04 as Enable pin 1 of the controller IC
8
9 GPIO.setup(Motor1A,GPIO.OUT)
10 GPIO.setup(Motor1B,GPIO.OUT)
11 GPIO.setup(Motor1E,GPIO.OUT)
12 pwm=GPIO.PWM(17,100) # configuring Enable pin with GPIO-04 for PWM
13
14 pwm.start(100) # starting it with 50% dutycycle
15 print ("GO forward")
16
17 GPIO.output(Motor1A,GPIO.HIGH)
18 GPIO.output(Motor1B,GPIO.LOW) # this will run your motor in forward direction
19 GPIO.output(Motor1E,GPIO.HIGH)
20 sleep(2)
21
22 print ("Now stop")
23 GPIO.output(Motor1E,GPIO.LOW)
24 pwm.stop() # stop PWM from GPIO output if it necessary
25 GPIO.cleanup()
```

Figure 7. 40 : code de démarrage du ventilateur

De plus, afin d'assurer le bon fonctionnement du système, nous avons ajouté une condition pour l'exécution de ce code qui consiste à obtenir trois bâillements consécutifs du conducteur pour démarrer le moteur DC.

### 7.4.2.8 Le résultat global de notre système

#### 🏠 À l'extérieur



Figure 7. 41 : Le résultat global de notre système « vu à l'extérieur »

### ✚ À l'intérieur

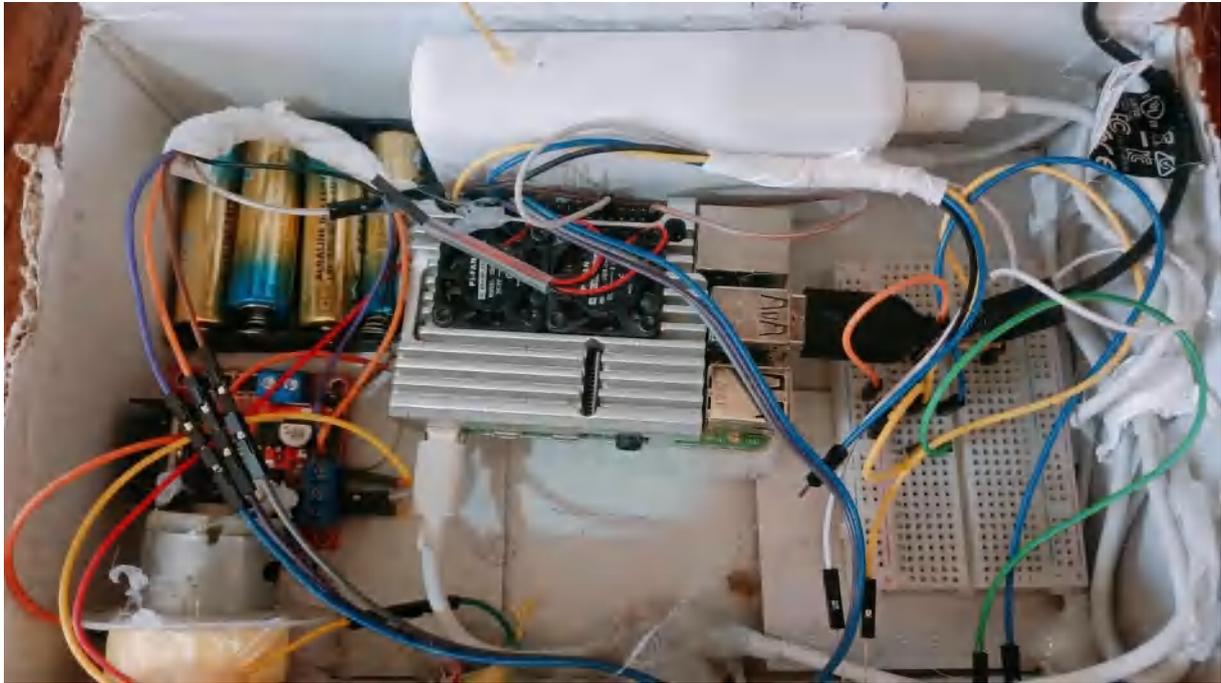


Figure 7. 42 : Le résultat global de notre système « vu à l'intérieur »

## 7.5 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté une nouvelle contribution au domaine de la vision artificielle. Elle consiste en une nouvelle méthode basée sur la description de certaines expressions faciales pour la détection de fatigue et somnolence chez les conducteurs. Le système proposé utilise des mesures appliquées à des caractéristiques extraites à partir des yeux et de la bouche pour déterminer l'état du conducteur. Ouvrir la bouche à un certain degré et fermer ou cligner des yeux permet de prédire un éventuel état de fatigue. Pour déterminer les valeurs de ces mesures afin de distinguer les expressions de fatigue entre autres, nous avons utilisé un algorithme d'apprentissage en profondeur pour détecter les caractéristiques faciales appartenant à la bibliothèque MediaPipe. Cet algorithme calcule les paramètres de fatigue ERA et MRA pour classer l'état des yeux ouverts/fermés et la bouche ouverte / fermée afin de déterminer l'état du conducteur. Nous avons estimé que si l'ERA calculé est inférieur au seuil  $T_e = 5$  pendant 2 secondes ou plus, la somnolence sera détectée par le système. De plus, si le MAR calculé est supérieur à  $T_m = 1,8$  pendant 3 secondes ou plus, le système détectera le bâillement de conducteur. Et en utilisant ce qui précède, nous avons développé avec succès un système d'alerte de somnolence et fatigue à l'aide d'une carte à microcontrôleur Raspberry Pi, une webcam et certains actionneurs.

---

*Conclusion générale et  
perspectives*

---

### *Conclusion générale*

La conduite automobile nécessite la mobilisation de ressources cognitives et physiologiques afin de maintenir les performances et la sécurité du conducteur et des passagers. On comprend donc aisément que de nombreux chercheurs se sont penchés sur le problème de la somnolence au volant, qui est un superviseur majeur des capacités de conduite. Ce sujet attire déjà tellement l'attention que détecter quand un conducteur est somnolent, et même prédire quand il est susceptible de l'être, sont devenus deux défis majeurs pour le développement de nouveaux systèmes d'aide à la conduite (Advance Driving Assistance Systems, ou ADAS).

Dans cette thèse, nous avons examiné le facteur fatigue / somnolence du conducteur, l'un des comportements les plus importants qui place le conducteur dans une situation d'urgence au volant. En conséquence, nous avons présenté un état de l'art plus détaillé sur les situations et les comportements qui influencent sur l'apparition de la somnolence et de la fatigue chez les conducteurs. Nous avons découvert qu'il existe de nombreuses études qui ont analysé ce facteur, où plusieurs méthodes ont été utilisées. Cela nous a permis à tous d'en apprendre davantage sur les causes et les conséquences de l'hypovigilance au volant, ainsi que sur les moyens mis en place pour pouvoir faire face à ce problème. À ce point, ils existent quatre mesures dans la littérature pour détecter la somnolence : les mesures dépendantes du véhicule, les mesures subjectives, les mesures comportementales du conducteur et les mesures de signaux physiologiques. Ces dernières donnent un résultat stable dans la plupart des cas, l'inconvénient de cette procédure est qu'il s'agit d'une approche intrusive pour le conducteur. En revanche, les approches basées sur les mesures du comportement du conducteur donnent des résultats extrêmement précis dans les bonnes conditions pour détecter les expressions faciales et les articulations.

En conséquence, nous avons proposé une nouvelle approche qui n'a pas été abordée dans la littérature, dans laquelle nous utilisons le facteur de position des mains sur le volant comme l'une des mesures du comportement du conducteur en l'examinant dans des conditions de fatigue et de somnolence. A cet effet, nous avons classé les positions des mains (gauche et droite) en trois catégories (main haute, main basse et main zéro) pour chaque main, et équipé le simulateur avec plusieurs caméras pour suivre la position des mains sur le volant lors des expérimentations menées. Les résultats ont indiqué qu'il existe une relation entre les facteurs de risque associés à la somnolence et la position des mains sur le volant, de sorte que la position des mains peut prédire l'un de ces facteurs.

D'autre part, la construction de l'intelligence artificielle (IA) dans le futur représente une multitude d'enjeux scientifiques, éthiques et environnementaux. Avec les données massives et des algorithmes de plus en plus complexes, le développement du numérique et de l'IA continuera à transformer le fonctionnement de la société dans de nombreux domaines mais aussi la manière dont la connaissance est produite dans l'ensemble des champs scientifiques.

De plus, la simulation d'une intelligence humaine dans les ordinateurs et les machines fait des progrès fulgurants. En effet, le traitement manuel des données peut être particulièrement

## *Conclusion générale et perspectives*

---

fastidieux et coûteux en ressources humaines. Ces inconvénients ont été notre motivation pour le développement d'un système basé sur l'intelligence artificielle pour détecter et calculer les mains sur diverses positions au volant de manière automatique et rapide. En conséquence, nous avons entraîné l'algorithme Yolo avec 461 images de volant, puis nous avons utilisé les poids d'entraînement extraits dans le processus de détection. Où nous avons utilisé google Colab pour traiter les vidéos, et PyCharm pour la détection en temps réel. Les résultats obtenus par ce programme ont été très satisfaisants, concluant que nous pouvons remplacer l'humain dans ces tâches avec une petite marge d'erreur.

A la fin de ce thèse, et dans le but d'assurer la sécurité routière des usagers de la route, y compris les automobilistes et les conducteurs de transport routier, nous avons développé un système d'aide conduit capable de détecter la somnolence du conducteur en analysant deux mesures des comportements du conducteur : Analysez l'état des yeux à l'aide du modèle CNN pour vérifier si l'œil est ouvert ou non, la deuxième mesure utilisée pour augmenter la précision du système en analysant l'état de la bouche pour voir si le conducteur bâille ou non, ce qui permet de prédire si le conducteur est somnolent. À cette fin, nous avons utilisé le Raspberry Pi pour traiter les images et fournir les informations nécessaires et les actions d'avertissement lorsque le conducteur est fatigué ou somnolent en tant que système embarqué pouvant être utilisé dans de vraies voitures.

En tant que perspectives d'avenir, nous souhaitons intégrer le système de détection de somnolence et de fatigue chez les conducteurs dans le calculateur moteur. Cette intégration permettrait de compenser le fonctionnement du moteur 5 v en allumant la climatisation ou les vitres de la voiture, et l'éclairage LED avec éclairage feux de détresse.

---

## *Références bibliographiques*

---

## *Références bibliographiques*

---

### *Références bibliographiques*

1. Sidi Said Y, Redaoui D (2017) La prévention des accidents de la circulation en Algérie: vers une approche globale. PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri
2. Hostert J (1969) Droit international et droit interne dans la Convention de Vienne sur le droit des traités du 23 mai 1969. *Annu Fr Droit Int* 15:92–121. <https://doi.org/10.3406/afdi.1969.1538>
3. Congresses PIA of R (2003) Road Safety Manual: Recommendations from the World Road Association (PIARC). Route2 Market
4. Lee SE, Llaneras E, Klauer S, Sudweeks J (2007) Analyses of rear-end crashes and near-crashes in the 100-car naturalistic driving study to support rear-signaling countermeasure development. *DOT HS 810:1–125*
5. Tyagi I (2021) Threat Assessment for avoiding collisions with perpendicular vehicles at Intersections. In: 2021 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT). pp 184–187
6. Wagner RC (2021) What Are the Dangers Associated with Side-Swipe Collisions? In: Wagner Wagner Atty. Law. <https://www.wagnerinjury.com/2021/05/11/what-are-the-dangers-associated-with-side-swipe-collisions/>. Accessed 12 Mar 2023
7. Mueller HE, Linn B (1998) Seat belt pretensioners. SAE paper no. 980557. Soc Automot Eng Warrendale PA
8. Marouane H (2015) Contribution à la modélisation des applications temps réel d'aide à la conduite. These de doctorat, Le Havre
9. Ludwiniak A (2023) Appuie-tête actifs - de quoi s'agit-il ? | Knauf Automotive. In: Knauf Ind. Automot. <https://knaufautomotive.com/fr/appuis-tete-actifs-pour-voiture/>. Accessed 12 Mar 2023
10. Organization WH (2018) Global status report on road safety 2018: Summary (No. WHO/NMH/NVI/18.20). World Health Organ
11. Organisation Mondiale de la Santé (2018) Rapport de situation sur la sécurité routière dans le monde 2018. WHO
12. World Health Organization (2004) The World health report : 2004 : Changing history. World Health Organization
13. Elvik R (2000) How much do road accidents cost the national economy? *Accid Anal Prev* 32:849–851. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00015-4)
14. World Health Organization (2008) World health statistics 2008. World Health Organization
15. Office National des Statistiques (2012) Repartition du parc national automobile selon le genre et les tranches d'ages des vehicules. Algérie
16. Driss M (2016) L'impact de l'environnement routier sur la sécurité routière durable. PhD Thesis, Université Université Mustapha Stambouli - Mascara
17. Chafika H, Hachemi T, Meriem HM (2020) Risque routier et securite routiere en Algerie. *Territorium* 133–144. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_27-1\\_10](https://doi.org/10.14195/1647-7723_27-1_10)
18. CNPSR (2020) احصائيات حوادث المرور المسجلة خلال سنة. Le Centre national de prévention et de sécurité routière, Algérie

## Références bibliographiques

---

19. Aissaoui N (2020) Analysis of spatio-temporal variations and at-risk populations of road insecurity; case study of road traffic accidents in Algeria. *J D'Economie Manag D'Environnement Droit* 3:36–48. <https://doi.org/10.48398/IMIST.PRSM/jemed-v3i2.23021>
20. Driss M, Benabdeli K, Saint-Gerand T, Hamadouche MA (2015) Traffic safety prediction model for identifying spatial degrees of exposure to the risk of road accidents based on fuzzy logic approach. *Geocarto Int* 30:243–257. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.883554>
21. Alfaro JL, Chapuis M, Fabre E, générale Transports D (1994) COST 313 - Coût socio économique des accidents de la route - Rapport final (EUR 15464). Luxembourg
22. World Health Organization (2007) Rapport sur la santé dans le monde 2007 : un avenir plus sûr : la sécurité sanitaire mondiale au XXI<sup>e</sup> siècle. Organisation mondiale de la Santé
23. CNPSR (2012) احصائيات حوادث المرور المسجلة خلال سنة. Centre national de prévention et de sécurité routières, Algérie
24. CNPSR (2016) احصائيات حوادث المرور المسجلة خلال سنة. Centre national de prévention et de sécurité routières, Algérie
25. Medeiros C, Carles O, Jomier G, et al (2006) Vers un entrepôt de données pour le trafic routier. In: Entrepôt de données et Analyse en Ligne EDA'06. 2006.
26. Ministère des travaux publics (2008) Rapport sur les accidents des routes nationales. Algérie
27. L'hoste J, Saad F, Laya O, et al (1986) L'analyse des comportements et le système de circulation routière. In: Compte rendu de la journée spécialisée du 9 décembre 1986
28. Bellet T, Tattegrain-Veste H (2003) 3. Cosmodrive: un modèle de simulation cognitive du conducteur automobile. In: Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie. Presses Universitaires de France, pp 77–110
29. Gibson JJ (2014) *The Ecological Approach to Visual Perception*. Psychology Press, New York
30. INRS (2016) Maintenir la vigilance au volant : un enjeu vital. In: Article de 27 pages, publié dans le trimestriel Hygiène et sécurité du travail n°244
31. Loslever P, Simon P, Todoskoff A, et al (1999) Etude sur la méthodologie d'évaluation des interfaces conducteur-véhicule et d'un système de diagnostic de l'état du conducteur
32. Premack D, Woodruff G (1978) Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behav Brain Sci* 1:515–526. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00076512>
33. Team TM (2017) *An Analysis of William James's The Principles of Psychology*. CRC Press
34. Bloch H, Chemama R, Gallo A, et al (2002) *Grand dictionnaire de la psychologie*. Larousse, Paris
35. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al (2005) *Neurosciences*, 3<sup>e</sup> ème Edition. De Boeck Supérieur - Grand format - Librairie Gallimard, PARIS
36. Gibson JJ (1950) *The perception of the visual world*. Houghton Mifflin, Oxford, England
37. Gibson JJ (1979) *The ecological approach to visual perception* Boston: Houghton Mifflin, c1979
38. Berthoz A (1997) *Le Sens du mouvement*. Odile Jacob

## *Références bibliographiques*

---

39. Summala H, Nieminen T, Punto M (1996) Maintaining Lane Position with Peripheral Vision during In-Vehicle Tasks. *Hum Factors* 38:442–451. <https://doi.org/10.1518/001872096778701944>
40. Hayward JC (1972) Near miss determination through use of a scale of danger
41. Lee DN (1976) A Theory of Visual Control of Braking Based on Information about Time-to-Collision. *Perception* 5:437–459. <https://doi.org/10.1068/p050437>
42. McLeod RW, Ross HE (1983) Optic-Flow and Cognitive Factors in Time-to-Collision Estimates. *Perception* 12:417–423. <https://doi.org/10.1068/p120417>
43. Cavallo V, Mestre D, Berthelon C (1997) Time-to-collision judgements: Visual and spatio-temporal factors. *Traffic Transp Psychol Theory Appl*
44. Cavallo V, Laurent M (1988) Visual Information and Skill Level in Time-To-Collision Estimation. *Perception* 17:623–632. <https://doi.org/10.1068/p170623>
45. Probst T, Krafczyk S, Brandt T, Wist ER (1984) Interaction Between Perceived Self-Motion and Object-Motion Impairs Vehicle Guidance. *Science* 225:536–538. <https://doi.org/10.1126/science.6740325>
46. Godthelp H (1986) Vehicle Control During Curve Driving. *Hum Factors* 28:211–221. <https://doi.org/10.1177/001872088602800209>
47. Land MF, Lee DN (1994) Where we look when we steer. *Nature* 369:742–744. <https://doi.org/10.1038/369742a0>
48. Mars F (2008) Driving around bends with manipulated eye-steering coordination. *J Vis* 8:10. <https://doi.org/10.1167/8.11.10>
49. Wilson M, Stephenson S, Chattington M, Marple-Horvat DE (2007) Eye movements coordinated with steering benefit performance even when vision is denied. *Exp Brain Res* 176:397–412. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0623-3>
50. Hoc J-M, Mars F, Milleville-Pennel I, et al (2006) Human-machine cooperation in car driving for lateral safety : delegation and mutual control. *Trav Hum* 69:153–182. <https://doi.org/10.3917/th.692.0153>
51. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA (2007) *Neurosciences à la découverte du cerveau*, Pradel
52. Clarke AH, Clarke M c., Scherer H (1996) The influence of vestibular disorder on driving behaviour. *Vis Veh* 5:41–48
53. Halata Z, Baumann KI (2008) Anatomy of receptors. *Hum Haptic Percept Basics Appl* 85–92. [https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7612-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7612-3_6)
54. Iggo A, Andres KH (1982) Morphology of Cutaneous Receptors. *Annu Rev Neurosci* 5:1–31. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.05.030182.000245>
55. Mohebbi R, Gray R, Tan HZ (2009) Driver Reaction Time to Tactile and Auditory Rear-End Collision Warnings While Talking on a Cell Phone. *Hum Factors* 51:102–110. <https://doi.org/10.1177/0018720809333517>
56. Toffin D, Reymond G, Kemeny A, Droulez J (2003) Influence of steering wheel torque feedback in a dynamic driving simulator. In: *Conference proceedings-driving simulation conference North America*
57. Essma S (2000) Steering effort analysis of an oval racing track setup champ car. In: *International ADAMS User Conference, Orlando, Florida*

## *Références bibliographiques*

---

58. Liu A, Chang S (1995) Force feedback in a stationary driving simulator. In: 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century. pp 1711–1716 vol.2
59. Toffin D, Reymond G, Kemeny A, Droulez J (2007) Role of steering wheel feedback on driver performance: driving simulator and modeling analysis. *Veh Syst Dyn* 45:375–388. <https://doi.org/10.1080/00423110601058874>
60. Deborne R (2009) Modélisation de l'adaptation des conducteurs au comportement du véhicule et expérimentations sur simulateur. PhD Thesis, Ecole Centrale Paris
61. McLane RC, Wierwille WW (1975) The Influence of Motion and Audio Cues on Driver Performance in an Automobile Simulator. *Hum Factors* 17:488–501. <https://doi.org/10.1177/001872087501700508>
62. Horswill MS, McKenna FP (1999) The development, validation, and application of a video-based technique for measuring an everyday risk-taking behavior: Drivers' speed choice. *J Appl Psychol* 84:977–985. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.84.6.977>
63. Matthews ML, Cousins LR (1980) The influence of vehicle type on the estimation of velocity while driving. *Ergonomics* 23:1151–1160
64. Deatherage BH (1972) Auditory and other sensory forms of information presentation. *Hum Eng Guide Equip Des* 1:123–160
65. Colavita FB (1974) Human sensory dominance. *Percept Psychophys* 16:409–412. <https://doi.org/10.3758/BF03203962>
66. Amalberti R, Montmollin M de, Theureau J (1991) Modèles en analyse du travail. Mardaga, Liège, Belgique
67. Ranney TA (1994) Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accid Anal Prev* 26:733–750. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(94\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0001-4575(94)90051-5)
68. Ranney TA (1994) Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accid Anal Prev* 26:733–750. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(94\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0001-4575(94)90051-5)
69. Rasmussen J (1983) Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Trans Syst Man Cybern* SMC-13:257–266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
70. Michon JA (1985) A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? In: Evans L, Schwing RC (eds) *Human Behavior and Traffic Safety*. Springer US, Boston, MA, pp 485–524
71. Brouwer WH (2002) Attention and driving: a cognitive neuropsychological approach. In: *Applied Neuropsychology of Attention*. Psychology Press
72. Anstey KJ, Wood J, Lord S, Walker JG (2005) Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clin Psychol Rev* 25:45–65. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2004.07.008>
73. Gabaude C, Obriot-Claudiel F (2010) Self-regulatory driving behaviour in the elderly: relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Trav Hum* 73:31–52. <https://doi.org/10.3917/th.731.0031>
74. MacDonald L, Myers AM, Blanchard RA (2008) Correspondence Among Older Drivers' Perceptions, Abilities, and Behaviors. *Top Geriatr Rehabil* 24:239–252. <https://doi.org/10.1097/01.TGR.0000333756.75303.b9>

## Références bibliographiques

---

75. Marottoli RA, Richardson ED (1998) Confidence in, and self-rating of, driving ability among older drivers. *Accid Anal Prev* 30:331–336. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00100-0)
76. Marret J (1994) En vitesse... ou en sécurité Éléments de compréhension et pistes de réflexion, Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), 140 pp.2.
77. Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, Groupe de travail de la sécurité et de la circulation routières (2009) Résolution d'ensemble sur la circulation routière. Genève
78. Wramborg P (2005) A New Approach to a Safe and Sustainable Road Structure and Street Design for Urban Areas. *Proc Road Saf Four Cont Conf* 13:12p
79. Van Elslande P, Jaffard M, Fouquet K, Fournier JY (2009) De la vigilance à l'attention: influence de l'état psychophysiologique et cognitive du conducteur dans les mécanismes d'accidents'. Salon--Provence INRETS Rep
80. McCartt AT, Ribner SA, Pack AI, Hammer MC (1996) The scope and nature of the drowsy driving problem in New York state. *Accid Anal Prev* 28:511–517. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(96\)00021-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(96)00021-8)
81. Muzet A (1996) Hypovigilance et sécurité routière. *Sécurité Médecine Trav* 112:24–26
82. Brown DB, Maghsoodloo S, McArdle ME (1990) The safety impact of the 65 mph speed limit: A case study using Alabama accident records. *J Safety Res* 21:125–139. [https://doi.org/10.1016/0022-4375\(90\)90020-C](https://doi.org/10.1016/0022-4375(90)90020-C)
83. Wertheim AH (1991) Highway hypnosis: A theoretical analysis. *Vis Veh*
84. Kerr JS (1991) Driving without attention mode (DWAM): A formalization of inattentive states in driving. *Vis Veh*
85. Groupe SAM, Biecheler MB, Peytavin JF, et al (2005) Stupéfiants et accidents mortels de la circulation routière (projet SAM). Synthèse 2:
86. Brenner B, Selzer ML (1969) Research report: Risk of causing a fatal accident associated with alcoholism, psychopathology, and stress: Further analysis of previous data. *Behav Sci* 14:490–495. <https://doi.org/10.1002/bs.3830140607>
87. Matthews G, Dorn L, Hoyes TW, et al (1993) Driver stress and simulated driving: Studies of risk taking and attention
88. Robertson J, Southall D (1991) Methods for monitoring driver stress
89. Jost G, Allsop R, Ceci A (2014) Ranking EU progress on car occupant safety
90. Elvik R, Vaa T, Høy A, Sørensen M (2009) *The Handbook of Road Safety Measures: Second Edition*. Emerald Group Publishing
91. Slotmans F, Schrijver D (2009) Les tués sur les autoroutes. *Anal Approfondie Accid Mortels Sur Autorout Belg Pendant Période 2013*:
92. Åkerstedt T, Bassetti C, Cirignotta F, et al (2013) *La Somnolence au volant*. Livre blanc
93. Philip P (2005) Sleepiness of Occupational Drivers. *Ind Health* 43:30–33. <https://doi.org/10.2486/indhealth.43.30>
94. Grandjean E (1979) Fatigue in industry. *Occup Environ Med* 36:175–186

## *Références bibliographiques*

---

95. Lal SK, Craig A (2001) A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biol Psychol* 55:173–194
96. Boksem MAS, Meijman TF, Lorist MM (2005) Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Cogn Brain Res* 25:107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>
97. Van Schagen I (2003) Vermoeidheid achter het stuur: een inventarisatie van oorzaken, gevolgen en maatregelen.
98. Philip P, Sagaspe P, Moore N, et al (2005) Fatigue, sleep restriction and driving performance. *Accid Anal Prev* 37:473–478. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2004.07.007>
99. Lavie P (1986) Ultrashort sleep-waking schedule. III. ‘Gates’ and ‘Forbidden zones’ for sleep. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 63:414–425. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(86\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(86)90123-9)
100. Antov D, Banet A, Barbier C, et al (2012) European road users’ risk perception and mobility : the SARTRE 4 survey. IFSTTAR
101. Goldenbeld C, Davidse RJ, Mesken J, Hoekstra ATG (2011) Vermoeidheid in het verkeer: prevalentie en statusonderkenning bij automobilisten en vrachtautochauffeurs. R-2011-4. Leidschendam, Pays-Bas: SWOV
102. Tefft BC (2010) *Asleep at the Wheel: The Prevalence and Impact of Drowsy Driving*
103. Goncalves MA, Amici R, Peigneux P, et al (2014) The wake-up bus sleep study: falling asleep at the wheel in 19 European countries. *J SLEEP Res* 23:155–156
104. Meesmann U, Boets S (2014) Fatigue et distraction due à l’usage du GSM. Résultats Mes D’attitudes En Matière Sécurité Routière Menée Tous Trois Par L’IBSR Brux Belg Inst Belge Pour Sécurité Routière–Centre Connaiss Sécurité Routière
105. Vanlaar W, Simpson H, Mayhew D, Robertson R (2008) Fatigued and drowsy driving: A survey of attitudes, opinions and behaviors. *J Safety Res* 39:303–309. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2007.12.007>
106. Sagaspe P, Taillard J, Bayon V, et al (2010) Sleepiness, near-misses and driving accidents among a representative population of French drivers. *J Sleep Res* 19:578–584. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00818.x>
107. Connor J, Norton R, Ameratunga S, et al (2001) Prevalence of Driver Sleepiness in a Random Population-based Sample of Car Driving. *Sleep* 24:688–694. <https://doi.org/10.1093/sleep/24.6.688>
108. Herman J, Kafoa B, Wainiqolo I, et al (2014) Driver sleepiness and risk of motor vehicle crash injuries: A population-based case control study in Fiji (TRIP 12). *Injury* 45:586–591. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.06.007>
109. Diependaele K (2015) *Sleepy at the wheel. Analysis of the extent and characteristics of sleepiness among Belgian car drivers*
110. Klauer C, Dingus TA, Neale VL, et al (2006) *The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data*
111. Neale VL, Dingus TA, Klauer SG, et al (2005) *An overview of the 100-car naturalistic study and findings. Natl Highw Traffic Saf Adm Pap* 5:0400
112. Friswell R, Williamson A (2008) Exploratory study of fatigue in light and short haul transport drivers in NSW, Australia. *Accid Anal Prev* 40:410–417. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.07.009>

## *Références bibliographiques*

---

113. Hill J, Talbot R, Martinsson J, et al (2012) Final updated protocol with updates from the pilot review, Deliverable 2.4 of the EC FP7 project DaCoTA
114. Williamson AM, Feyer A-M (2000) Moderate sleep deprivation produces impairments in cognitive and motor performance equivalent to legally prescribed levels of alcohol intoxication. *Occup Environ Med* 57:649–655. <https://doi.org/10.1136/oem.57.10.649>
115. Dawson D, Reid K (1997) Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature* 388:235–235. <https://doi.org/10.1038/40775>
116. Connor J, Norton R, Ameratunga S, et al (2002) Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study. *Bmj* 324:1125
117. Pack AI, Pack AM, Rodgman E, et al (1995) Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accid Anal Prev* 27:769–775. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(95\)00034-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(95)00034-8)
118. Akerstedt T, Bassetti C, Cirignotta F, et al (2013) Sleepiness at the wheel: white paper. *Eur Sleep Res Soc Fr Motorw Co ASFA Natl Inst Sleep Vigil INSV*
119. Horne JA, Reyner LA (1995) Sleep related vehicle accidents. *BMJ* 310:565–567. <https://doi.org/10.1136/bmj.310.6979.565>
120. Horne J, Reyner L (1999) Vehicle accidents related to sleep: a review. *Occup Environ Med* 56:289–294. <https://doi.org/10.1136/oem.56.5.289>
121. Union IRT (2007) A Scientific Study “ETAC” European Truck Accident Causation: Executive Summary and Recommendations
122. Slootmans F (2015) Themadossier verkeersveiligheid NR. 5. Afleiding in het verkeer. Brussel, België
123. DaCoTA S Speed Management (2012), Deliverable 4.8 s of the EC FP7 project DaCoTA
124. Flatley D, Reyner LA, Horne JA (2004) Sleep-related crashes on sections of different road types in the UK (1995-2001). *ROAD Saf Res Rep* 52
125. Filtness AJ, Reyner LA, Horne JA (2012) Driver sleepiness—Comparisons between young and older men during a monotonous afternoon simulated drive. *Biol Psychol* 89:580–583. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.01.002>
126. Council ETS (2001) The Role of Driver Fatigue in Commercial Road Transport Crashes. *Eur Transp Saf Counc Etterbeek Belg*
127. Jettinghoff K, Houtman ILD, Evers MS (2003) Oorzaken van vermoeidheid bij vrachtwagenchauffeurs in het beroepsgoederenvervoer
128. Mets MAJ (2011) Effects of sleep disorders and pharmacological treatment on driving ability and traffic safety. PhD Thesis, Utrecht University
129. Maycock G (1995) DRIVER SLEEPINESS AS A FACTOR IN CAR AND HGV ACCIDENTS. *TRL Rep*
130. Brown ID (1994) Driver Fatigue. *Hum Factors* 36:298–314. <https://doi.org/10.1177/001872089403600210>
131. Gobeil P Fatigue au volant. 44
132. Stutts JC, Wilkins JW, Scott Osberg J, Vaughn BV (2003) Driver risk factors for sleep-related crashes. *Accid Anal Prev* 35:321–331. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00007-6)

## Références bibliographiques

---

133. Vandemeulebroek F (2018) Détecteurs « portatifs » de somnolence au volant, Réaction des conducteurs face aux avertissements d'un détecteur « portatif » de somnolence. Vias, Bruxelles, Belgique
134. Smolensky MH, Di Milia L, Ohayon MM, Philip P (2011) Sleep disorders, medical conditions, and road accident risk. *Accid Anal Prev* 43:533–548. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.004>
135. Doghramji K (2006) The epidemiology and diagnosis of insomnia. *Am J Manag Care* 12:S214
136. Theorell-Haglöw J, Miller CB, Bartlett DJ, et al (2018) Gender differences in obstructive sleep apnoea, insomnia and restless legs syndrome in adults – What do we know? A clinical update. *Sleep Med Rev* 38:28–38. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2017.03.003>
137. Carter N, Ulfberg J, Nyström B, Edling C (2003) Sleep debt, sleepiness and accidents among males in the general population and male professional drivers. *Accid Anal Prev* 35:613–617. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00033-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00033-7)
138. Howard ME, Desai AV, Grunstein RR, et al (2004) Sleepiness, Sleep-disordered Breathing, and Accident Risk Factors in Commercial Vehicle Drivers. *Am J Respir Crit Care Med* 170:1014–1021. <https://doi.org/10.1164/rccm.200312-1782OC>
139. Parks PD, Durand G, Tsismenakis AJ, et al (2009) Screening for Obstructive Sleep Apnea During Commercial Driver Medical Examinations. *J Occup Environ Med* 51:275–282
140. Talmage JB, Hudson TB, Hegmann KT, Thiese MS (2008) Consensus Criteria for Screening Commercial Drivers for Obstructive Sleep Apnea: Evidence of Efficacy. *J Occup Environ Med* 50:324–329
141. Baekelandt L (2013) Bijna 4 op 5 patiënten met slaapapneu zijn zich daar niet van bewust. In: Site-Plusmagazine-NL. <https://plusmagazine.knack.be/gezondheid/bijna-4-op-5-patienten-met-slaapapneu-zijn-zich-daar-niet-van-bewust/article-normal-659349.html>. Accessed 30 Aug 2022
142. Finkel KJ, Searleman AC, Tymkew H, et al (2009) Prevalence of undiagnosed obstructive sleep apnea among adult surgical patients in an academic medical center. *Sleep Med* 10:753–758. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2008.08.007>
143. Gibson GJ (2004) Obstructive sleep apnoea syndrome: underestimated and undertreated. *Br Med Bull* 72:49–64. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldh044>
144. Shinar D (2005) Drug effects and their significance for traffic safety. *Drugs Traffic* 52
145. Houwing S, Hagenzieker MP (2013) Geneesmiddelen en drugs in het Nederlandse verkeer. D-2013-3. Leidschendam, Pays-Bas: SWOV. Howard, ME, Desai, AV, Grunstein, RR ...
146. Neel ABN High Blood Pressure Medications And Feeling Tired. In: AARP. <https://www.aarp.org/health/drugs-supplements/info-06-2012/medications-that-cause-chronic-fatigue.html>. Accessed 30 Aug 2022
147. Kalmeermiddelen. In: Wwtest-Aankoopbe. <https://www.test-aankoop.be/gezond/ziekten-geneesmiddelen/geneesmiddelen/dossier/kalmeermiddelen>. Accessed 30 Aug 2022
148. Monteiro SP (2014) Driving-impairing medicines and traffic safety. Patient's Perspectives.PhD thesis, University of Groningen [S.n]
149. Brice CF, Smith AP (2002) Effects of caffeine on mood and performance: a study of realistic consumption. *Psychopharmacology (Berl)* 164:188–192. <https://doi.org/10.1007/s00213-002-1175-2>
150. Horne J, Reyner L (2001) Sleep-related vehicle accidents: some guides for road safety policies. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 4:63–74. [https://doi.org/10.1016/S1369-8478\(01\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(01)00014-6)

## Références bibliographiques

---

151. Parkes AM, York I, Burton S, Luke T (2005) An evaluation of energy drinks containing glucose and caffeine, using the TRL Driving Simulator. *Publ Proj Rep PPR059*
152. Schwarz JFA, Ingre M, Fors C, et al (2012) In-car countermeasures open window and music revisited on the real road: popular but hardly effective against driver sleepiness. *J Sleep Res* 21:595–599. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2012.01009.x>
153. Gershon P, Shinar D, Oron-Gilad T, et al (2011) Usage and perceived effectiveness of fatigue countermeasures for professional and nonprofessional drivers. *Accid Anal Prev* 43:797–803. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.10.027>
154. Vanlaar W, Simpson H, Mayhew D, Robertson R (2008) Fatigued and drowsy driving: A survey of attitudes, opinions and behaviors. *J Safety Res* 39:303–309. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2007.12.007>
155. Anund A, Kecklund G, Peters B, Åkerstedt T (2008) Driver sleepiness and individual differences in preferences for countermeasures. *J Sleep Res* 17:16–22. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2008.00633.x>
156. Nordbakke S, Sagberg F (2007) Sleepy at the wheel: Knowledge, symptoms and behaviour among car drivers. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 10:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2006.03.003>
157. van den Berg J, Landström U (2006) Symptoms of sleepiness while driving and their relationship to prior sleep, work and individual characteristics. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 9:207–226. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2006.01.001>
158. Blaauw GJ (1982) Driving Experience and Task Demands in Simulator and Instrumented Car: A Validation Study. *Hum Factors* 24:473–486. <https://doi.org/10.1177/001872088202400408>
159. Wang Y, Mehler B, Reimer B, et al (2010) The validity of driving simulation for assessing differences between in-vehicle informational interfaces: A comparison with field testing. *Ergonomics* 53:404–420. <https://doi.org/10.1080/00140130903464358>
160. Santos J, Merat N, Mouta S, et al (2005) The interaction between driving and in-vehicle information systems: Comparison of results from laboratory, simulator and real-world studies. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 8:135–146. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.001>
161. Mas A (2012) Utilisation des simulateurs de conduite pour l'évaluation des systèmes d'aide à la conduite en situation d'urgence. *Phdthesis, Arts et Métiers ParisTech*
162. Reymond G, Heidet A, Canry M, Kemeny A (2022) Validation of Renault's dynamic simulator for Adaptive Cruise Control experiments
163. Recarte MA, Nunes LM (2003) Mental workload while driving: Effects on visual search, discrimination, and decision making. *J Exp Psychol Appl* 9:119–137. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.9.2.119>
164. Reymond G (2000) Contribution respective des stimuli visuels, vestibulaires et proprioceptifs dans la perception du mouvement du conducteur. *These de doctorat, Université de Paris 6*
165. Akamatsu M, Yamaya A, Imachou N, et al (2004) Driving simulator study for designing light emitting delineators for tunnels. In: *DSC 2004 Europe (driving simulation conference)*. pp 81–90
166. Elloumi H (2006) Commande des plateformes avancées de simulation de conduite. *Phdthesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris*
167. Jamson H, Mouta S (2004) More bang for your buck? A cross-cost simulator evaluation study. pp 321–332
168. Straus SH (2005) New, Improved, Comprehensive, and Automated Driver's License Test and Vision Screening System

## *Références bibliographiques*

---

169. Lee HC, Lee AH, Cameron D, Li-Tsang C (2003) Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *J Safety Res* 34:453–459. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2003.09.007>
170. Park GD, Allen RW, Rosenthal TJ, Fiorentino D (2005) Training Effectiveness: How Does Driving Simulator Fidelity Influence Driver Performance? *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet* 49:2201–2205. <https://doi.org/10.1177/154193120504902518>
171. Weinberg G, Harsham B (2009) Developing a low-cost driving simulator for the evaluation of in-vehicle technologies. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp 51–54
172. Espié S, Gauriat P, Duraz M (2005) Driving simulators validation: The issue of transferability of results acquired on simulator. In: *Driving Simulation Conference North-America (DSC-NA 2005)*, Orlando, FL
173. Auberlet J-M, Pacaux M-P, Anceaux F, et al (2010) The impact of perceptual treatments on lateral control: A study using fixed-base and motion-base driving simulators. *Accid Anal Prev* 42:166–173. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.07.017>
174. Vehicle Interaction Lab - Fraunhofer IAO. In: *Fraunhofer Inst. Ind. Eng. IAO*. <https://www.iao.fraunhofer.de/en/labs-equipment/vehicle-interaction-lab-vi-lab.html>. Accessed 7 Sep 2022
175. Jamson AH, Smith P (2003) *Are You Used To It Yet? Braking Performance and Adaptation in a Fixed-base Driving Simulator*. Leeds, Dearborn, Detroit, Michigan
176. Younsi K, Floris J, Rajaonah B, et al (2011) Study of driver's behavior during overtaking situations. *Adv Transp Stud*
177. Galante F, Mauriello F, Montella A, et al (2010) Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: Driving simulator experiment. *Accid Anal Prev* 42:1585–1594. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.017>
178. Haines A (2011) The carrs-q advanced driving simulator. In: *Road Safety Forum 2011: Directions in Road Safety Research*
179. Lee WS, Sung DH, Lee JY, et al (2007) Driving simulation for evaluation of driver assistance systems and driving management systems. *Spons Korea Transp Inst Natl Proj Natl Traffic Core Technol*
180. Paul Tomillo A, Sanz Sacristán J, Gago Fernández C, et al Risk analysis of road tunnel using an advanced driving simulator to assess the influence of structural parameters in tunnel safety, aus der Reihe" DSC Europe. Monaco Februar 2009
181. Artz B, Cathey L, Grant P, et al (2001) The design and construction of the visual subsystem for VIRTTEX, the driving simulator at the Ford research laboratories. pp 255–262
182. Meywerk M, Aykent B, Tomaske W (2009) Einfluss der Fahrdynamikregelung auf die Sicherheit von N1-Fahrzeugen bei unterschiedlichen Beladungszuständen. Teil 2: Fahrversuche und Fahrsimulatorversuche. *FE* 82.329/2007
183. Nordmark S, Jansson H, Palmkvist G, Sehnammar H (2004) The new VTI driving simulator. Multi purpose moving base with high performance linear motion. pp 45–55
184. Zeeb E (2010) Daimler's new full-scale, high-dynamic driving simulator—a technical overview. *Actes INRETS* 157–165
185. Greenberg J, Curry R, Blommer M, et al (2006) The validity of last-second braking and steering judgments in advanced driving simulators. *DSC 2006 Eur*

## Références bibliographiques

---

186. Dagdelen M, Berlioux J-C, Panerai F, et al (2006) Validation process of the ULTIMATE high-performance driving simulator. DSC 2006 Eur
187. Grabe V, Pretto P, Giordano PR, Bühlhoff HH (2010) Influence of display type on drivers' performance in a motion-based driving simulator. In: Proceedings of the driving simulation conference. pp 81–88
188. Mayrhofer M, Schwandtner J, Schlüsselberger R, et al (2009) Optimal motion control of next generation simulator motion platform Desdemona for car driving application. In: AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit. p 6536
189. Nilsson L (1993) Simulator studies and driver behaviour research. *Driv Future Veh* Taylor Francis Lond 401–407
190. Lemonnier S (2015) L'allocation de l'attention visuelle lors d'une situation multi-tâche et dynamique : l'approche de carrefour en conduite.
191. Combessie J-C (2010) La méthode en sociologie. La découverte
192. Ramousse R, Le Berre M, Le Guelte L (1996) Introduction aux statistiques, 3. Choisir filetest statistique approprié
193. McKnight PE, Najab J (2010) Mann-Whitney U Test. In: The Corsini Encyclopedia of Psychology. John Wiley & Sons, Ltd, pp 1–1
194. Siegel S, Castellan Jr. NJ (1988) Nonparametric statistics for the behavioral sciences, 2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York, NY, England
195. Yeo MVM, Li X, Shen K, Wilder-Smith EPV (2009) Can SVM be used for automatic EEG detection of drowsiness during car driving? *Saf Sci* 47:115–124. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.01.007>
196. Fu J-W, Li M, Lu\* B-L (2008) Detecting Drowsiness in Driving Simulation Based on EEG. In: Mahr B, Huanye S (eds) *Autonomous Systems – Self-Organization, Management, and Control*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 21–28
197. Picot A (2009) Détection d'hypovigilance chez le conducteur par fusion d'informations physiologiques et vidéo. Phdthesis, Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG
198. Svensson U (2004) Blink behaviour based drowsiness detection : method development and validation. Statens väg- och transportforskningsinstitut
199. Clarion A (2009) Recherche d'indicateurs électrodermaux pour l'analyse de la charge mentale en conduite automobile. Phdthesis, Université Claude Bernard - Lyon I
200. Dinges DF, Powell JW (1985) Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behav Res Methods Instrum Comput* 17:652–655. <https://doi.org/10.3758/BF03200977>
201. Johns MW (1991) A New Method for Measuring Daytime Sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep* 14:540–545. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.6.540>
202. Davenne D, Lericollais R, Sagaspe P, et al (2012) Reliability of simulator driving tool for evaluation of sleepiness, fatigue and driving performance. *Accid Anal Prev* 45:677–682. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.09.046>
203. Blane A, Lee HC, Lee M, et al (2016) The cognitive and socio-demographic influences on driving performance and driving cessation in post-stroke drivers. *Adv Transp Stud* 75–90

## *Références bibliographiques*

---

204. Larue GS, Rakotonirainy A, Pettitt AN (2015) Predicting Reduced Driver Alertness on Monotonous Highways. *IEEE Pervasive Comput* 14:78–85. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2015.38>
205. Mandal B, Li L, Wang GS, Lin J (2017) Towards Detection of Bus Driver Fatigue Based on Robust Visual Analysis of Eye State. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 18:545–557. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2582900>
206. Ahlström C, Anund A, Fors C, Åkerstedt T (2018) The effect of daylight versus darkness on driver sleepiness: a driving simulator study. *J Sleep Res* 27:e12642. <https://doi.org/10.1111/jsr.12642>
207. Ahlström C, Anund A, Fors C, Åkerstedt T (2018) Effects of the road environment on the development of driver sleepiness in young male drivers. *Accid Anal Prev* 112:127–134. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.01.012>
208. Anund A, Ahlström C, Fors C, Åkerstedt T (2018) Are professional drivers less sleepy than non-professional drivers? *Scand J Work Environ Health* 44:88–95
209. Ting P-H, Hwang J-R, Doong J-L, Jeng M-C (2008) Driver fatigue and highway driving: A simulator study. *Physiol Behav* 94:448–453. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.02.015>
210. Hoddes E, Zarcone V, Smythe H, et al (1973) Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology* 10:431–436
211. Monk TH (1989) A visual analogue scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Res* 27:89–99. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90013-9](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90013-9)
212. Åkerstedt T, Gillberg M (1990) Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual. *Int J Neurosci* 52:29–37. <https://doi.org/10.3109/00207459008994241>
213. Kazemi R, Haidarimoghadam R, Motamedzadeh M, et al (2016) Effects of shift work on cognitive performance, sleep quality, and sleepiness among petrochemical control room operators. *J Circadian Rhythms* 14:
214. Rhéaume A, Mullen J (2018) The impact of long work hours and shift work on cognitive errors in nurses. *J Nurs Manag* 26:26–32. <https://doi.org/10.1111/jonm.12513>
215. Puspasari MA, Muslim E, Moch BN, Aristides A (2015) Fatigue measurement in car driving activity using physiological, cognitive, and subjective approaches. *Int J Technol* 6:971–975
216. Belz SM, Robinson GS, Casali JG (2004) Temporal separation and self-rating of alertness as indicators of driver fatigue in commercial motor vehicle operators. *Hum Factors* 46:154–169
217. Figueiro MG, Sahin L, Wood B, Plitnick B (2016) Light at Night and Measures of Alertness and Performance: Implications for Shift Workers. *Biol Res Nurs* 18:90–100. <https://doi.org/10.1177/1099800415572873>
218. Söderström M, Ekstedt M, Åkerstedt T, et al (2004) Sleep and sleepiness in young individuals with high burnout scores. *Sleep* 27:1369–1377
219. Forsman PM, Vila BJ, Short RA, et al (2013) Efficient driver drowsiness detection at moderate levels of drowsiness. *Accid Anal Prev* 50:341–350. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.005>
220. Albert K, Uddman M, Sandin J (2002) Vehicle control and drowsiness. Swedish National Road and Transport Research Institute
221. Berglund J (2007) In-vehicle prediction of truck driver sleepiness: Steering related variables. Institutionen för systemteknik

## *Références bibliographiques*

---

222. Boyle LN, Tippin J, Paul A, Rizzo M (2008) Driver performance in the moments surrounding a microsleep. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 11:126–136
223. Fagerberg K (2004) Vehicle-based detection of inattentive driving for integration in an adaptive lane departure warning system Drowsiness detection. Master Sci Thesis Master Thesis IR-SB-EX-0413 Stockh Swed
224. King DJ, Mumford DK, Siegmund GP (1998) An algorithm for detecting heavy-truck driver fatigue from steering wheel motion. In: *The 16th ESV Conference Proceedings*
225. Mattsson K (2007) In-vehicle prediction of truck driver sleepiness: lane position variables
226. Pizza F, Contardi S, Ferlisi M, et al (2008) Daytime driving simulation performance and sleepiness in obstructive sleep apnoea patients. *Accid Anal Prev* 40:602–609
227. Wierwille WW, Wreggit SS, Kirn CL, et al (1994) Research on vehicle-based driver status/performance monitoring; development, validation, and refinement of algorithms for detection of driver drowsiness. final report
228. Walton D, Thomas JA (2005) Naturalistic observations of driver hand positions. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 8:229–238
229. Brown ID (2002) A laboratory comparison of two steering techniques. In: *Behavioural research in road safety: twelfth seminar*
230. LTSA (1999) *The Official New Zealand Road Code and Licence Guide for Car Drivers*. Wellington Land Transp Saf Auth
231. Sanders MS, McCormick EJ (1993) *Human Factors in System Design*. Hum Factors Eng Des Seventh Ed McGraw-Hill Singap 726–745
232. De Waard D, Van den Bold T, Lewis-Evans B (2010) Driver hand position on the steering wheel while merging into motorway traffic. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* 13:129–140. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2009.12.003>
233. Shekari Soleimanloo S, White MJ, Garcia-Hansen V, Smith SS (2017) The effects of sleep loss on young drivers' performance: A systematic review. *PLoS ONE* 12:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184002>
234. National Center of Prevention and Road Safety (NCPRS) (2016) *Analytical Study on Road Accidents in Algeria*
235. Dijk D-J, Brunner DP, Borbély AA (1991) EEG power density during recovery sleep in the morning. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 78:203–214. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(91\)90034-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(91)90034-2)
236. Fairclough SH, Graham R (1999) Impairment of Driving Performance Caused by Sleep Deprivation or Alcohol: A Comparative Study. *Hum Factors* 41:118–128. <https://doi.org/10.1518/001872099779577336>
237. Brunner DP, Dijk D-J, Borbély AA (1993) Repeated Partial Sleep Deprivation Progressively Changes the EEG During Sleep and Wakefulness. *Sleep* 16:100–113. <https://doi.org/10.1093/sleep/16.2.100>
238. Lenné MG, Triggs TJ, Redman JR (1998) Interactive Effects of Sleep Deprivation, Time of Day, and Driving Experience on a Driving Task. *Sleep* 21:38–44. <https://doi.org/10.1093/sleep/21.1.38>
239. Valck ED, Cluydts R (2001) Slow-release caffeine as a countermeasure to driver sleepiness induced by partial sleep deprivation. *J Sleep Res* 10:203–209. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2001.00260.x>

## Références bibliographiques

---

240. Jewett ME, Dijk D-J, Kronauer RE, Dinges DF (1999) Dose-response Relationship Between Sleep Duration and Human Psychomotor Vigilance and Subjective Alertness. *Sleep* 22:171–179. <https://doi.org/10.1093/sleep/22.2.171>
241. Gillberg M, Åkerstedt T (1994) Sleep restriction and SWS-suppression: effects on daytime alertness and night-time recovery. *J Sleep Res* 3:144–151. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.1994.tb00121.x>
242. Rosenthal L, Roehrs TA, Rosen A, Roth T (1993) Level of Sleepiness and Total Sleep Time Following Various Time in Bed Conditions. *Sleep* 16:226–232. <https://doi.org/10.1093/sleep/16.3.226>
243. Devoto A, Lucidi F, Violani C, Bertini M (1999) Effects of Different Sleep Reductions on Daytime Sleepiness. *Sleep* 22:336–343. <https://doi.org/10.1093/sleep/22.3.336>
244. Deschamps N, Ricaud X, Rabut G, et al (2013) The Impact of Dry Eye Disease on Visual Performance While Driving. *Am J Ophthalmol* 156:184-189.e3. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2013.02.019>
245. Anund A, Fors C, Ihlström J, Kecklund G (2018) An on-road study of sleepiness in split shifts among city bus drivers. *Accid Anal Prev* 114:71–76. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.005>
246. Jonsson B (2011) Hand Position on Steering Wheel During Driving. *Traffic Inj Prev* 12:187–190. <https://doi.org/10.1080/15389588.2010.533722>
247. Åkerstedt T, Ingre M, Kecklund G, et al (2010) Reaction of sleepiness indicators to partial sleep deprivation, time of day and time on task in a driving simulator – the DROWSI project. *J Sleep Res* 19:298–309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00796.x>
248. Sandberg D, Akerstedt T, Anund A, et al (2011) Detecting driver sleepiness using optimized nonlinear combinations of sleepiness indicators. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 12:97–108
249. Makishita H, Matsunaga K (2008) Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. *Accid Anal Prev* 40:567–575. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.08.012>
250. Huang S-H (2019) Examining the robustness of perception and reaction time from the perspective of driver attention allocation. *Adv Transp Stud Special Issue* 3:21–38
251. Larue GS, Rakotonirainy A, Pettitt AN (2010) Predicting driver's hypovigilance on monotonous roads: literature review. In: 1st International Conference on Driver Distraction and Inattention
252. Monot N (2019) Des systèmes d'aide à la conduite au véhicule autonome connecté. These de doctorat, Bordeaux
253. Leyrit L (2010) Reconnaissance d'objets en vision artificielle : application à la reconnaissance de piétons. Phdthesis, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II
254. Thuan D (2021) Evolution of Yolo algorithm and Yolov5: The State-of-the-Art object detection algorithm. Bachelor's Thesis DIN16SP Information Technology, Oulu University of Applied Sciences
255. Liu W, Anguelov D, Erhan D, et al (2016) SSD: Single Shot MultiBox Detector. In: Leibe B, Matas J, Sebe N, Welling M (eds) *Computer Vision – ECCV 2016*. Springer International Publishing, Cham, pp 21–37
256. Eddine TH (2020) La détection d'objet avec OpenCV et deep learning
257. Bouafia Y, Guezouli L (2018) An Overview of Deep Learning-Based Object Detection Methods
258. Kaur J, Singh W (2022) Tools, techniques, datasets and application areas for object detection in an image: a review. *Multimed Tools Appl* 81:38297–38351. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13153-y>

## *Références bibliographiques*

---

259. Kyrkou C (2020) YOLOped: efficient real-time single-shot pedestrian detection for smart camera applications. *IET Comput Vis* 14:417–425. <https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2019.0897>
260. Lac L (2022) Méthodes de vision par ordinateur et d'apprentissage profond pour la localisation, le suivi et l'analyse de structure de plantes : application au désherbage de précision. Phdthesis, Université de Bordeaux
261. Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A (2016) You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. pp 779–788
262. Lakehal D (2022) Réseaux des capteurs sans fil intelligent pour la détection des mauvaises herbes dans les applications agricoles. PhD Thesis, Université Larbi Tébessi-Tébessa
263. Abdelouaheb M (2021) Utilisation de méthodes de Deep learning pour l'extraction de texte dans les images. PhD Thesis, Université de Biskra,
264. Mitra S, Acharya T (2007) Gesture Recognition: A Survey. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part C Appl Rev* 37:311–324. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2007.893280>
265. Pantic M, Pentland A, Nijholt A, Huang TS (2007) Human Computing and Machine Understanding of Human Behavior: A Survey. In: Huang TS, Nijholt A, Pantic M, Pentland A (eds) *Artificial Intelligence for Human Computing*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 47–71
266. Baradel F, Wolf C, Mille J (2017) Human Action Recognition: Pose-Based Attention Draws Focus to Hands. pp 604–613
267. Rogez G, Supancic JS, Ramanan D (2015) Understanding Everyday Hands in Action From RGB-D Images. pp 3889–3897
268. Wan S, Aggarwal JK (2015) Robust Object Recognition in RGB-D Egocentric Videos Based on Sparse Affine Hull Kernel. pp 97–104
269. Holte MB, Tran C, Trivedi MM, Moeslund TB (2012) Human Pose Estimation and Activity Recognition From Multi-View Videos: Comparative Explorations of Recent Developments. *IEEE J Sel Top Signal Process* 6:538–552. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2012.2196975>
270. Tran C, Doshi A, Trivedi MM (2012) Modeling and prediction of driver behavior by foot gesture analysis. *Comput Vis Image Underst* 116:435–445. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2011.09.008>
271. Ohn-Bar E, Trivedi MM (2014) Hand Gesture Recognition in Real Time for Automotive Interfaces: A Multimodal Vision-Based Approach and Evaluations. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 15:2368–2377. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2337331>
272. Poll TH (2011) Most US drivers engage in 'distracting' behaviors: Poll. *Insur Inst Highw Saf Arlingt Va Tech Rep FMCSA-RRR-09-042*
273. Ohn-Bar E, Tawari A, Martin S, Trivedi MM (2015) On surveillance for safety critical events: In-vehicle video networks for predictive driver assistance systems. *Comput Vis Image Underst* 134:130–140. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2014.10.003>
274. Campbell KL (2012) The SHRP 2 Naturalistic Driving Study: Addressing Driver Performance and Behavior in Traffic Safety. *TR News*
275. Martin S, Ohn-Bar E, Tawari A, Trivedi MM (2014) Understanding head and hand activities and coordination in naturalistic driving videos. In: 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings. pp 884–889

## *Références bibliographiques*

---

276. Veeraraghavan H, Atev S, Bird N, et al (2005) Driver activity monitoring through supervised and unsupervised learning. In: Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems, 2005. pp 580–585
277. Borghi G, Frigieri E, Vezzani R, Cucchiara R (2018) Hands on the wheel: A Dataset for Driver Hand Detection and Tracking. In: 2018 13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2018). pp 564–570
278. Cheng SY, Park S, Trivedi MM (2007) Multi-spectral and multi-perspective video arrays for driver body tracking and activity analysis. *Comput Vis Image Underst* 106:245–257. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2006.08.010>
279. Venturelli M, Borghi G, Vezzani R, Cucchiara R (2017) From depth data to head pose estimation: a siamese approach. *ArXiv Prepr ArXiv170303624*
280. Padam Priyal S, Bora PK (2013) A robust static hand gesture recognition system using geometry based normalizations and Krawtchouk moments. *Pattern Recognit* 46:2202–2219. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2013.01.033>
281. Premaratne P, Ajaz S, Premaratne M (2013) Hand gesture tracking and recognition system using Lucas–Kanade algorithms for control of consumer electronics. *Neurocomputing* 116:242–249. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.11.039>
282. Girshick R, Donahue J, Darrell T, Malik J (2014) Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. pp 580–587
283. Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A (2016) You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. pp 779–788
284. Molchanov P, Gupta S, Kim K, Kautz J (2015) Hand gesture recognition with 3D convolutional neural networks. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops. pp 1–7
285. Bambach S, Crandall DJ, Yu C (2013) Understanding embodied visual attention in child-parent interaction. In: 2013 IEEE Third Joint International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL). pp 1–6
286. Welcome to Python.org. In: Python.org. <https://www.python.org/about/>. Accessed 8 Dec 2022
287. Rosebrook A (2016) Practical Python and OpenCV+ Case Studies: An Introductory, Example Driven Guide to Image Processing and Computer Vision. PyImageSearch
288. Bradski G, Kaehler A (2008) Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O’Reilly Media, Inc.
289. Python Matplotlib Library with Examples. In: Edureka. <https://www.edureka.co/blog/python-matplotlib-tutorial/>. Accessed 12 Mar 2023
290. Introduction to Matplotlib. In: GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/python-introduction-matplotlib/>. Accessed 25 Aug 2022
291. TensorFlow. In: TensorFlow. <https://www.tensorflow.org/?hl=fr>. Accessed 8 Dec 2022
292. MediaPipe. <https://mediapipe.dev/>. Accessed 8 Dec 2022
293. Google Colab. <https://research.google.com/colaboratory/faq.html?hl=fr>. Accessed 25 Aug 2022
294. Cuda - Definition - Kookyoo.net. <http://www.kookyoo.net/lexique/cuda-definition>. Accessed 25 Aug 2022

## Références bibliographiques

---

295. Collange C, Flórez J, Defour D (2008) A GPU interval library based on Boost.Interval. In: 8th Conference on Real Numbers and Computers. Santiago de Compostela, Spain, pp 61–71
296. Thuan D (2021) Evolution of Yolo algorithm and Yolov5: The State-of-the-Art object detection algorithm
297. Benkhelifa A (2018) Les systèmes embarqués dans l'automobile. PhD Thesis, Haute école de gestion de Genève
298. Schmidt EA, Schrauf M, Simon M, et al (2009) Drivers' misjudgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accid Anal Prev* 41:1087–1093. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.007>
299. Taub EA (2017) Sleepy Behind the Wheel? Some Cars Can Tell. *N. Y. Times*
300. Driver Alert Control | Driver Alert Control | Assistance à la conduite | XC90 2020 Late | Assistance Volvo. <https://www.volvocars.com/ma/support/manuals/xc90/2019w46/assistance-a-la-conduite/driver-alert-control/driver-alert-control>. Accessed 31 Aug 2022
301. Nikolskaia K, Bessonov V, Starkov A, Minbaleev A (2019) Prototype of Driver Fatigue Detection System Using Convolutional Neural Network. In: 2019 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). pp 82–86
302. How does attention assist work? In: Walters Mercedes-Benz Riverside. <https://www.waltersmercedesbenzofrivside.com/how-does-attention-assist-work/>. Accessed 31 Aug 2022
303. Mark (2017) Driver Fatigue Detection. In: Miles Cont.<https://www.milescontinental.co.nz/news/features/driver-fatigue-detection/>. Accessed 31 Aug 2022
304. Présentation Alerte Attention Conducteur Peugeot 308 restylée – Vidéo officielle (2017) - Vidéos Féline. <http://www.feline.cc/videos/7580-peugeot-308-2017-facelift-alerte-attention-conducteur-officiel/>. Accessed 31 Aug 2022
305. StopSleep : the best solution against drowsiness. <https://www.stopsleep.co.uk/>. Accessed 31 Aug 2022
306. Produit MiniTOUCANGO – EN. <https://toucango.com/en/minitoucango-product/>. Accessed 31 Aug 2022
307. Zhang Z (2016) Introduction to machine learning: k-nearest neighbors. *Ann Transl Med* 4:218. <https://doi.org/10.21037/atm.2016.03.37>
308. Krajewski J, Sommer D, Trutschel U, et al (2009) Steering Wheel Behavior Based Estimation of Fatigue. *Driv Assesment Conf 5*. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1311>
309. Hu S, Zheng G (2009) Driver drowsiness detection with eyelid related parameters by Support Vector Machine. *Expert Syst Appl* 36:7651–7658. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.09.030>
310. Fors C, Ahlström C, Sörner P, et al (2011) Camera-based sleepiness detection : final report of the project SleepEYE. Statens väg- och transportforskningsinstitut
311. Kircher K, Ahlstrom C, Kircher A (2009) Comparison of Two Eye-Gaze Based Real-Time Driver Distraction Detection Algorithms in a Small-Scale Field Operational Test. *Driv Assesment Conf 5*. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1297>
312. Ahlstrom C, Victor T, Wege C, Steinmetz E (2012) Processing of Eye/Head-Tracking Data in Large-Scale Naturalistic Driving Data Sets. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 13:553–564. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2174786>
313. Trutschel U, Sirois B, Sommer D, et al (2011) PERCLOS: An Alertness Measure of the Past. *Driv Assesment Conf 6*. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1394>

## *Références bibliographiques*

---

314. Lal SKL, Craig A (2001) A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biol Psychol* 55:173–194. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00085-5)
315. Benoit A, Caplier A (2005) Hypovigilance analysis: open or closed eye or mouth? Blinking or yawning frequency? In: *IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2005*. pp 207–212
316. Noguchi Y, Nopsuwanchai R, Ohsuga M, Kamakura Y (2007) Classification of Blink Waveforms Towards the Assessment of Driver's Arousal Level - An Approach for HMM Based Classification from Blinking Video Sequence. In: Harris D (ed) *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 779–786
317. Omi T, Nagai F, Komura T (2008) Driver drowsiness detection focused on eyelid behaviour. In: *34th Congress on Science and Technology of Thailand*. pp 1–8
318. Dinges DF, Grace R (1998) PERCLOS: A valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance. *US Dep Transp Fed Highw Adm Publ Number FHWA-MCRT-98-006*
319. Jo J, Lee SJ, Kim J, et al (2011) Vision-based method for detecting driver drowsiness and distraction in driver monitoring system. *Opt Eng* 50:127202. <https://doi.org/10.1117/1.3657506>
320. Qing W, BingXi S, Bin X, Junjie Z (2010) A PERCLOS-Based Driver Fatigue Recognition Application for Smart Vehicle Space. In: *2010 Third International Symposium on Information Processing*. pp 437–441
321. Grace R, Steward S (2001) Drowsy Driver Monitor and Warning System. *Driv Assesment Conf 1*. <https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1010>
322. Ji Q, Zhu Z, Lan P (2004) Real-time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue. *IEEE Trans Veh Technol* 53:1052–1068. <https://doi.org/10.1109/TVT.2004.830974>
323. Senaratne R, Hardy D, Vanderaa B, Halgamuge S (2007) Driver Fatigue Detection by Fusing Multiple Cues. In: Liu D, Fei S, Hou Z, et al (eds) *Advances in Neural Networks – ISNN 2007*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 801–809
324. Ochocki M, Sawicki DJ (2017) Yawning Recognition based on Dynamic Analysis and Simple Measure. In: *CHIRA*. pp 111–117
325. Bergasa LM, Nuevo J, Sotelo MA, et al (2006) Real-time system for monitoring driver vigilance. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 7:63–77. <https://doi.org/10.1109/TITS.2006.869598>
326. Kaplan KA, Itoi A, Dement WC (2007) Awareness of sleepiness and ability to predict sleep onset: Can drivers avoid falling asleep at the wheel? *Sleep Med* 9:71–79. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2007.02.001>
327. Ji Q, Zhu Z, Lan P (2004) Real-time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue. *IEEE Trans Veh Technol* 53:1052–1068. <https://doi.org/10.1109/TVT.2004.830974>
328. Zhao CW, Jegatheesan J, Loon SC (2015) Exploring iot application using raspberry pi. *Int J Comput Netw Appl* 2:27–34
329. Raspberry PI with Java – Igfasonza.com. <http://www.igfasouza.com/blog/raspberry-pi-with-java/>. Accessed 1 Sep 2022
330. Meurisse D Raspberry-Pi 4: revue technique EN VIDEO. In: *MCHobby - Blog*. <https://arduino103.blogspot.com/2019/06/raspberry-pi-4-revue-technique-en-video.html>. Accessed 1 Sep 2022
331. Dennis AK (2016) *Raspberry pi computer architecture essentials*. Packt Publishing Ltd

## *Références bibliographiques*

---

332. GPIO. In: Fram. 314 Raspberry Pi À Sauce Fr. <https://www.framboise314.fr/scratch-raspberry-pi-composants/gpio/>. Accessed 1 Sep 2022
333. PuTTY — DMS. <https://dms.umontreal.ca/wiki/index.php/PuTTY>. Accessed 1 Sep 2022
334. Djenaihi L (2020) Un système de détection des objets de la circulation routière et d'estimation de leur distance. Thèses, Université de Biskra,Algerie
335. Anund A, Kecklund G, Peters B, Åkerstedt T (2008) Driver sleepiness and individual differences in preferences for countermeasures. *J Sleep Res* 17:16–22. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2008.00633.x>
336. Lamia G, Cylia M (2018) Conception et réalisation d'un système du contrôle à distance de la qualité de l'air. Thesis, Université Mouloud Mammeri

## *Annexe*

Le lien de nos données (les photos du volant) qui ont été utilisées dans l'entraînement de notre modèle (page 103):



Lien du site Web makesense.ai (page 104):



Lien du site Web YOLO V5 (page 108):



Lien de notre projet complet (page 116):



Lien du site Web du programme Raspberry Pi Imager (page 136) :



## Résumé

Les accidents de la circulation causés par un conducteur s'endormant au volant sont particulièrement sévères et souvent mortels, la somnolence/fatigue altérant gravement les performances du conducteur, notamment sa faculté de décision. Concrètement, ses réflexes sont ralentis ou même absents. C'est la raison pour laquelle la somnolence augmentée provoque des accidents extrêmement graves par perte de contrôle du véhicule. Pour éviter ce type d'accident, il convient de détecter le changement imprévu de l'état physiologique et comportemental du conducteur. Dans cette thèse, nous avons d'abord apporté une nouvelle contribution en évaluant l'effet de la somnolence et de la fatigue sur la position des mains au volant. Ensuite, nous avons proposé un programme basé sur l'intelligence artificielle pour détecter et calculer les mains sur les différentes positions du volant de manière automatique et rapide. Enfin, nous avons conçu et mis en place un système d'aide à la conduite fiable et mobile pour détecter la somnolence et les bâillements du conducteur en temps réel à l'aide d'une carte à microcontrôleur Raspberry Pi et une webcam et certains actionneurs.

Mots clés : somnolence, intelligence artificielle, volant, Raspberry Pi.

## ملخص

تعتبر حوادث المرور الناجمة عن نوم السائق أثناء القيادة كارثية بشكل خاص وغالبًا ما تكون قاتلة، حيث يضعف النعاس/التعب أداء السائق بشدة، وخاصة قدرته على اتخاذ القرار. والواقع تتباطأ ردود أفعاله أو حتى تغيب وهذا هو السبب في أن ارتفاع مستويات النعاس يؤدي إلى حوادث بالغة الخطورة بسبب فقدان السيطرة على المركبات. ومن أجل تجنب هذا النوع من الحوادث يجب الكشف عن التغيرات غير المتوقعة في الوضع الفسيولوجي والسلوكي للسائق. في هذه الأطروحة، قدمنا أولاً مساهمة جديدة من خلال تقييم تأثير النعاس والتعب على وضعية اليدين أثناء القيادة. بعد ذلك، اقترحنا برنامجًا يعتمد على الذكاء الاصطناعي لاكتشاف وحساب الأيدي على المواضع المختلفة لعجلة القيادة بطريقة تلقائية وسريعة. وفي الأخير، قمنا بتصميم وتنفيذ نظام مساعدة السائق موثوق ومتنقل لاكتشاف نعاس السائق وتناوبه في الوقت الفعلي باستخدام لوحة متحكم Raspberry Pi وكاميرا ويب وبعض المشغلات.

لكلمات المفتاحية: النعاس، الذكاء الاصطناعي، عجلة القيادة، راسبيري باي.

## Summary

Traffic accidents caused by a driver falling asleep at the wheel are particularly serious and often fatal, as drowsiness/fatigue seriously impairs the driver's performance, in particular his decision-making ability. Concretely, his reflexes are slowed down or even absent. This is the reason why increased drowsiness causes extremely serious accidents due to loss of control of the vehicle. To avoid this type of accident, it is necessary to detect the unexpected change in the physiological and behavioral state of the driver. In this thesis, we first made a new contribution by evaluating the effect of drowsiness and fatigue on the position of the hands while driving. Then, we proposed a program based on artificial intelligence to detect and calculate the hands on the different positions of the steering wheel automatically and quickly. Finally, we designed and implemented a reliable and mobile driver assistance system to detect driver drowsiness and yawning in real time using a Raspberry Pi microcontroller board and a webcam and some actuators.

Keywords: drowsiness, artificial intelligence, steering wheel, Raspberry Pi.