



UNIVERSITÉ ÉVRY  
PARIS-SACLAY



Université d'Évry Paris-Saclay

Mémoire de Master MIAGE

Dans quelles mesures les technologies IoT des voitures peuvent-elles être adaptées pour répondre aux besoins spécifiques de la sécurité des motos sur les routes ?

Année universitaire :

2024/2025

Shana LEFEVRE

Maître d'apprentissage : Clément LECLERCQ

Tutrice enseignante : Farida ZEHRAOUI

4 rue Cléry, 75002 Paris  
23 Bd François Mitterrand, 91000 Évry-Courcouronnes

# Table des matières

<b>1 Remerciements</b>	<b>3</b>
<b>2 Fiche de bilan et de synthèse</b>	<b>4</b>
2.1 Présentation de l'activité en entreprise . . . . .	4
2.1.1 L'entreprise d'accueil . . . . .	4
2.1.2 Le maître d'apprentissage . . . . .	5
2.1.3 Résumé des travaux proposés par l'entreprise . . . . .	5
2.1.4 Travaux effectués en entreprise . . . . .	6
<b>3 Introduction</b>	<b>8</b>
3.1 Contexte et enjeux . . . . .	8
3.2 Définitions et concepts clés . . . . .	9
<b>4 État de l'art</b>	<b>12</b>
4.1 Les technologies IoT dans les voitures . . . . .	12
4.1.1 Systèmes de communication et d'échange de données . . . . .	12
4.1.2 Capteurs et perception environnementale . . . . .	14
4.1.3 Aide à la conduite et systèmes ADAS . . . . .	14
4.1.4 Analyse des données et prise de décision . . . . .	15
4.2 Les défis spécifiques liés à la sécurité des motos . . . . .	17
4.2.1 Particularités des motos sur la route . . . . .	17
4.2.2 Les technologies IoT actuelles pour les motos . . . . .	18
4.2.3 L'exploitation des données pour les motos . . . . .	23
4.2.4 Limitations des technologies IoT actuelles pour les motos . . . . .	24
4.3 Conclusion . . . . .	26
<b>5 Mémoire</b>	<b>27</b>
5.1 Pratique de la route - Analyse comparative des besoins de sécurité entre voitures et motos . . . . .	27
5.1.1 Étude des virages . . . . .	28
5.1.2 Enquête auprès de motards - Recueil de ressenti . . . . .	32
5.1.3 Défi passion . . . . .	35
5.2 Étude critique des technologies IoT existantes (voitures vs motos) . . . . .	36
5.2.1 Exemples d'IoT adaptés et développé pour la moto . . . . .	36
5.2.2 Les radars . . . . .	36
5.2.3 Freins techniques à l'adoption des technologies IoT sur moto . . . . .	38
5.2.4 Analyse comparative voitures vs motos . . . . .	38
5.2.5 Pistes pour intégrer l'IoT dans les deux-roues . . . . .	39
5.3 Proposition d'adaptation technologique . . . . .	39
5.3.1 Programme d'alerte de virages . . . . .	40
5.3.2 Étude de cas . . . . .	47
5.3.3 Design technologique . . . . .	53
5.4 Étude de faisabilité et limites . . . . .	55
5.4.1 Objectif de l'étude . . . . .	55

5.4.2	Faisabilité technique . . . . .	55
5.4.3	Faisabilité d'implémentation sur un véhicule réel . . . . .	55
5.4.4	Prototype et simulation . . . . .	56
5.4.5	Limites et contraintes . . . . .	57
5.4.6	Confidentialité et Données . . . . .	57
5.5	Apport personnel et positionnement . . . . .	61
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>63</b>
6.1	Conclusion mémoire . . . . .	63
6.2	Conclusion année d'alternance . . . . .	63
<b>Références</b>		<b>66</b>
<b>Annexes</b>		<b>67</b>
<b>A Échange avec Hichem Arioui</b>		<b>68</b>

# 1 Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue et accompagnée tout au long de mon parcours universitaire et professionnel. Je remercie tout particulièrement :

- **Monsieur Clément Leclercq**, mon maître d'apprentissage, pour sa confiance, son accompagnement et ses conseils tout au long de mon année d'apprentissage.
- **Madame Farida Zehraoui**, ma tutrice enseignante, pour son encadrement et ses conseils.
- **Mes collègues du département informatique : Monsieur David Clément, Monsieur Mathieu Le Hoang et Monsieur Thibaud Caron**, pour leur soutien, leur bienveillance et leur aide précieuse tout au long de mon apprentissage.
- **Monsieur Hichem Arioui**, Vice-Président Relations Internationales et Innovation, pour ses échanges sur ses travaux, ses retours d'expériences afin que je puisse effectuer mes recherches.
- **Monsieur Abderrahmane Boubezoul**, chargé de recherche, HDR qui m'a permis de participer à leur 3ème réunion plénière de leur projet ce 30 juin 2025 à Nantes.
- **Monsieur Christophe Brunat**, Directeur Informatique, pour son accueil et sa disponibilité.
- **Ma famille**, pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

Je remercie également l'ensemble mes collègues de l'entreprise Kappa Santé pour leur accueil chaleureux et leur soutien tout au long de mon apprentissage. Leur expertise et leur bienveillance ont été des atouts précieux dans mon parcours.

## 2 Fiche de bilan et de synthèse

### 2.1 Présentation de l'activité en entreprise

#### 2.1.1 L'entreprise d'accueil

L'entreprise Kappa Santé a été créée en 2003 par Mr SCHÜCK (médecin de santé publique) et par Mme TEXIER (pharmacienne) en vue d'apporter des services de qualité. Avec une expertise ciblée sur les domaines de : l'épidémiologie, pharmaco-épidémiologie, la constitution d'e-cohortes et des interventions en santé publique et numérique, cette société répond aux demandes à la fois au niveau national et européen. Cette CRO (Contract Research Organization) est une SAS (Société Anonyme Simplifiée) au capital de 50 000 €. Le siège social de l'entreprise est situé au 4 rue Cléry à Paris, dans le 2e arrondissement. Kappa Santé est membre de l'ENCEPP (European Network of Centres for Pharmacoepidemiology and Pharmacovigilance), de l'AFCROs (association de CRO) et du pôle compétitivité numérique Cap digital (collectif européen d'innovateurs). L'entreprise Kappa Santé est l'entreprise mère de Kap Code depuis 2015. Kap Code est une entreprise qui récupère des données liées à la santé sur les réseaux sociaux. En mars 2023, Kappa Santé a été racheté par Apices, une entreprise CRO espagnole qui réalise des études cliniques. À ses débuts, Kappa Santé réalisait des études dans le but de recueillir des informations sur des médicaments mais depuis 2012, la société s'est diversifiée et elle est devenue polyvalente en proposant des services comme le suivi et le monitoring, la création de protocole, ... De grosses entreprises comme Pfizer, Janssen, AstraZeneca, Microsoft, IBM... font confiance à Kappa Santé. Les principaux concurrents de Kappa Santé sont Aixial, Axonal, Cemka, Clinact, Euraxi, Icon, Icta, Iqvia, Sanoïa...

L'équipe dont je fais partie intègre le Département Informatique où M. BRUNAT est le directeur informatique. Nous développons en Java à l'aide du Framework JSF (Java Server Faces) et des composants PrimeFaces.

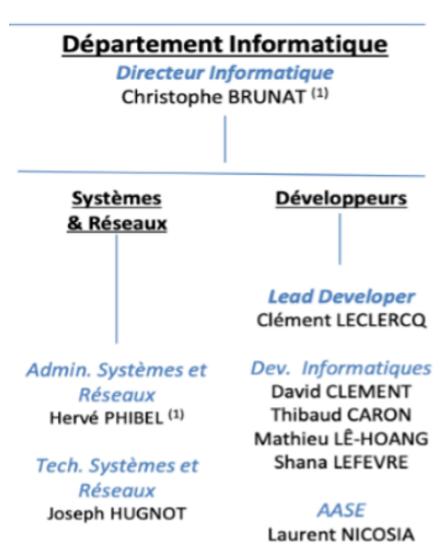


FIGURE 1 – Organigramme de l'entreprise

Pour communiquer avec notre base de données (développeur), JPA définit des entités qui sont une instance de classe et nous permet d'écrire des programmes qui interagissent avec la base de données.

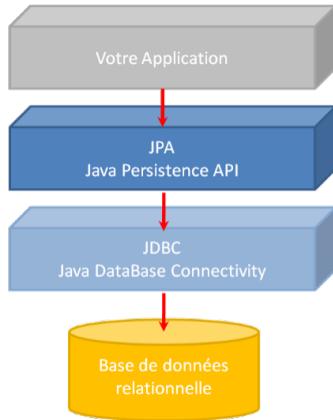


FIGURE 2 – Schéma d'intégration de JPA

### 2.1.2 Le maître d'apprentissage

Notre équipe est composée de cinq développeurs dont un « lead developer », Monsieur Clément LECLERCQ (voir schéma précédent), c'est notre superviseur. Il prend des décisions, supervise les projets, mène et assiste des réunions afin de représenter l'équipe des développeurs. Monsieur Clément LECLERCQ est également mon maître d'apprentissage. Il développe également sur les projets. Notre objectif est d'assurer le développement et la maintenance de tous nos outils informatisés de recueil de données en utilisant des langages et des outils de développement.

### 2.1.3 Résumé des travaux proposés par l'entreprise

L'intitulé de mon contrat d'apprentissage est « Développeur Java ».

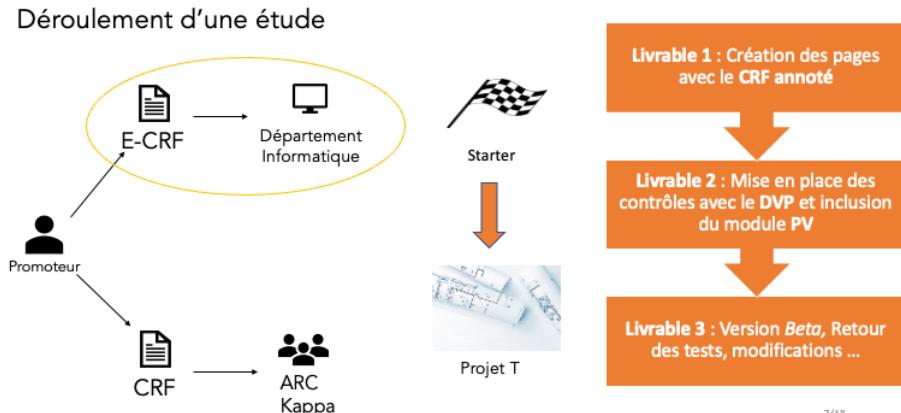


FIGURE 3 – Schéma chronologie d'un projet

Mon activité principale est de développer et d'entretenir des applications *electronicCaseReportForms*. Ces formulaires permettent de collecter des données cliniques de manière structurée et sécurisée. Ils sont utilisés dans le cadre d'études cliniques pour recueillir des informations sur les patients, les traitements administrés, et les résultats obtenus. Mon rôle consiste à développer ces e-CRF en respectant les spécifications fournies par les chefs de projet et les Data Managers, tout en assurant leur bon fonctionnement et leur conformité aux exigences réglementaires. Pour développer des études, nous partons d'une application dites "starter" qui permet de créer un e-CRF. Cette

application est une sorte de modèle qui nous permet de créer un e-CRF. Nous la faisons évoluer en fonction des besoins de l'étude. Les dead-line varient en fonction de la taille de l'étude et de la complexité de l'e-CRF.

#### 2.1.4 Travaux effectués en entreprise

Mon activité au sein de l'entreprise est de développer et d'entretenir des applications, des formulaires en ligne nommés de e-CRF. Tout au long de l'année, j'ai poursuivi mon apprentissage dans le développement en utilisant les Bonnes Pratiques de développement de Kappa Santé. Pour mener à bien notre projet, nous travaillons avec un chef de projet ainsi qu'avec un Data Manager. Cette année, j'ai épaulé mes collègues sur leurs projets en développant diverses fonctionnalités :

- Création d'envoi mails automatiques aux utilisateurs : automatiser l'envoi de mails en fonction des événements qui se passent sur l'application, par exemple, l'insertion d'un patient par un utilisateur, un récapitulatif quotidien des événements indésirables...
- Résolution de bugs, à la suite d'une demande sur notre logiciel Redmine,
- Réalisation des Phases Listener : C'est un outil propre à JSF (Java Server Faces). C'est une interface implémentée par des objets notifiés sur le début ou la fin d'un traitement, d'un cycle. Ainsi, nous pouvons personnaliser le comportement de nos e-CRF. La principale utilisation des Phase Listener est de vider les sous-champs entre les pages. On s'en sert pour vider les sous-champs entre les pages.
- Implémentation des contrôles bloquants et non-bloquants : Ce sont des contrôles qui permettent de savoir si la donnée correspond aux attentes du e-CRF. Un contrôle bloquant nécessite que l'utilisateur corrige la donnée non-conforme avant de pouvoir passer à la page suivante du questionnaire. En revanche, pour un contrôle non-bloquant, un message avertit simplement l'utilisateur de la non-conformité avant qu'il ne puisse continuer. Tous ces contrôles sont spécifiés dans le document « Data Validation Plan », qui contient toutes les instructions nécessaires à la réalisation des contrôles.
- Implémentation des Locked Queries : C'est une fonctionnalité propre à Kappa Santé. Ils permettent de bloquer, verrouiller, griser, et rendre inaccessible un champ enfant lorsque la case parent est cochée. Cette fonctionnalité est précieuse car elle évite l'enregistrement de données inutiles dans la base de données. Ainsi, l'utilisateur ne peut pas entrer des informations dans les champs. Pour faire ces modifications, j'utilise le fichier xhtml associé au formulaire avec une condition d'affichage « rendered ».
- Amélioration de nos outils, de notre starter. Pour cela, des réunions sont planifiées avec l'ensemble du personnel pour savoir quels sont les points à améliorer à la suite de nos projets. Cela permet de montrer ce projet à des promoteurs pour répondre aux appels d'offres.

Mes missions sont également : Création de fiches de procédures, la participations aux réunions. Aujourd'hui après quelques mois au sein de l'entreprise, j'ai mes propres études. Tout commence par la création de l'étude avec la mise en place tout ce dont nous avons besoin pour son bon déroulement (base de données...). Au cours du développement de l'étude, on retrouvera les fonctionnalités vue précédemment.

Cette année, pour ma dernière année d'alternance, j'ai poursuivi ce que j'ai appris durant ces deux dernières années. J'ai développé deux études pour le même promoteur. Les dead line étaient serrées entre les modifications des e-crf de la part des promoteurs et mes jours en entreprise mais avec un peu d'aide de mes collègues, nous avons pu accomplir cette tâche haut la main. À la suite

des retours du chef de projet, nous avons su que le promoteur était très satisfait de notre travail.

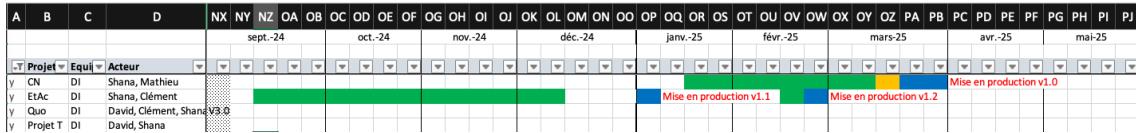


FIGURE 4 – Planning des projets sur lesquels j'ai pu travailler.

## Les légendes :

- En vert : Le développement des projets,
  - En bleu : Les phases de tests côté Data Manager,
  - En orange : Modifications à la suite des retours du promoteur.

Lors des périodes creuses sur mes projets, j'épaule mes collègues sur leurs projets, en prenant de l'avance par exemple, en développant des queries ou bien en améliorant nos outils.

Développer en Java au sein de l'entreprise m'a permis également de maîtriser davantage ce langage dans mes projets universitaires. Faire du Java en formation m'a apporté un autre regard sur les applications de Kappa Santé. Ma technique d'approche est différente : plus de lecture, plus de recul pour mieux comprendre l'architecture d'un projet. Cette année d'alternance au sein de Kappa Santé a été encore riche tant au niveau professionnel que personnel. Le cadre de travail et l'équipe dont je faisais partie ont été exceptionnels et j'y ai beaucoup appris. Maintenant, cette vie professionnelle m'enmènera vers de nouveaux horizons.

### 3 Introduction

#### 3.1 Contexte et enjeux

L'IoT<sup>1</sup> a révolutionné de nombreux aspects de notre société : la santé, de l'agriculture à l'industrie 4.0, en passant par les transports et les communications. Les **technologies embarquées et connectées** désignent l'ensemble des systèmes électroniques intégrés aux véhicules (voitures et motos) permettant d'améliorer la sécurité, le confort et la connectivité. Ces technologies incluent : les systèmes de communication, les capteurs, les caméras, les radars, les lidars, les systèmes d'aide à la conduite (ADAS) et les plateformes de gestion des données.

L'accidentalité routière en France reste un enjeu majeur de sécurité publique, avec des milliers d'accidents chaque année causant des pertes humaines et matérielles importantes. Malgré les avancées en matière de prévention et de réglementation, les comportements à risque et les conditions de circulation continuent d'alimenter cette problématique. En France, il y a environ 2,3 à 2,5 millions de motards[3], ce qui représente 2% du trafic. Le document[30] fournit des informations et des statistiques sur les accidents de la route. Les données définitives datent du 31 mai 2024.

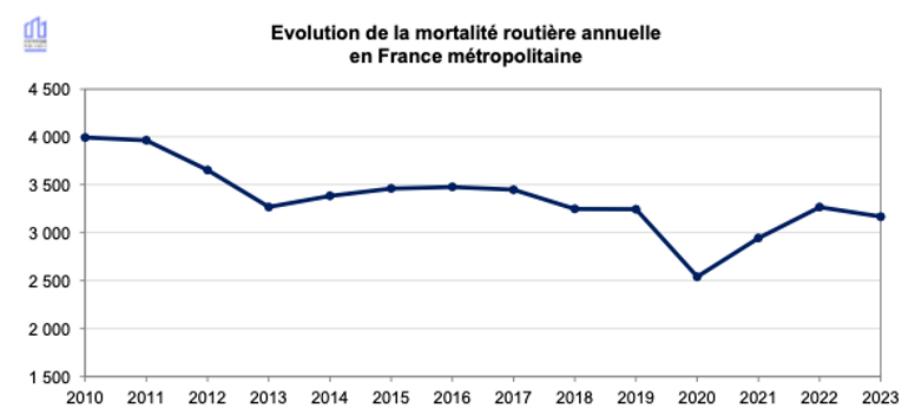


FIGURE 5 – ONISR données relatives aux accidents corporels enregistrés par les forces de l'ordre en France métropolitaine.

Grâce au graphe précédent, on constate qu'il y a une diminution sensible du nombre d'accidents mortels sur la dernière décennie surtout entre 2011 et 2013. Différents paramètres expliquent cette évolution : nouvelles infrastructures routières, les dernières technologies de sécurité (casques, ABS...), les renforcements de la réglementation, mise en place de radars et nombreuses campagnes de sensibilisation... L'ensemble de ces éléments ont contribué à réduire la mortalité bien que chaque année, on enregistre, encore, autour de 3500 morts sur les routes tous véhicules confondus.

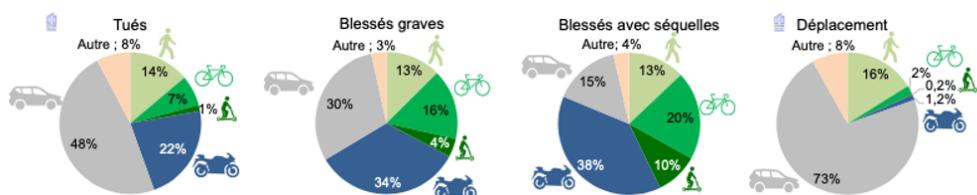


FIGURE 6 – ONISR Données relatives aux accidents corporels enregistrés par les forces de l'ordre, en France métropolitaine.

1. Internet des objets

En termes d'accidents corporels et de mortalité sur la route, les conducteurs de deux-roues sont les plus impactés. Le conducteur n'étant pas protégé par une carrosserie, il est plus vulnérable en cas d'accident. Le motard doit s'équiper de façon rigoureuse afin de limiter les blessures corporelles causées par le choc.

C'est un défi majeur pour les autorités et les constructeurs de véhicules de trouver des solutions pour réduire le nombre d'accidents et améliorer la sécurité des usagers de la route, en particulier des motards. Les technologies IoT offrent des opportunités pour répondre à ces enjeux en améliorant la détection des obstacles, la perception environnementale, l'aide à la conduite et l'analyse des données pour une meilleure prise de décision.

### 3.2 Définitions et concepts clés

Qu'est-ce que l'IoT ?

L'IoT est un réseau d'objets physiques connectés à Internet qui sont capables de collecter et d'échanger des données en temps réel. Ces objets peuvent être des capteurs, des appareils domestiques intelligents, des équipements industriels, des véhicules et bien plus encore. Ils font face à des défis et des enjeux importants comme l'exposition aux menaces de cyberattaques, l'uniformité des systèmes pour leur bon fonctionnement, la consommation d'énergie et enfin, le respect aux droits privés.

- **Les capteurs et caméras :** détectent les obstacles, surveillent l'environnement et assistent à la conduite (ex. : radars, lidars, caméras 360°). Selon dDruid[12] un capteur IoT est un "composant électronique qui transforme les variations physiques ou environnementales en signaux électriques exploitables pour surveiller, contrôler ou interagir avec des systèmes connectés". Les principaux types de capteurs d'IoT sont : les capteurs de température et d'humidité, les capteurs de mouvement et de présence, les capteurs de lumière et de luminosité, les capteurs de gaz et de qualité de l'airCapteurs de pression et de force et enfin les capteurs de proximité et de distance.



FIGURE 7 – Interaction des capteurs

Ils fonctionnent de manière autonome tout intégrant des réseaux connectés. Les éléments à identifier en premier lieu sont donc : leur taille, leur consommation d'énergie, leur capacité de traitement local, leur autonomie, leur capacité de communication.

- **Les systèmes d'aide à la conduite (ADAS)** : aident le conducteur en régulant la vitesse, le freinage d'urgence ou le maintien de trajectoire.
  - **Les modules de connectivité (4G, 5G, Wi-Fi, Bluetooth)** : permettent l'échange de données en temps réel entre le véhicule et d'autres systèmes, comme les infrastructures routières ou les smartphones.
  - **Les plateformes de gestion des données** : traitent les informations collectées pour fournir des services comme la navigation intelligente, l'alerte trafic ou la maintenance prédictive.
- Ces technologies sont essentielles pour le développement des véhicules intelligents et autonomes, ainsi que pour renforcer la sécurité des motards, souvent plus vulnérables sur la route.

Les **communications V2V (e) et V2I (Vehicle-to-Infrastructure)** font partie des technologies de transport intelligent (ITS)<sup>2</sup> qui permettent aux véhicules et aux infrastructures routières comme les feux de signalisation, les panneaux d'échanger des informations en temps réel.

---

2. infrastructure technology services

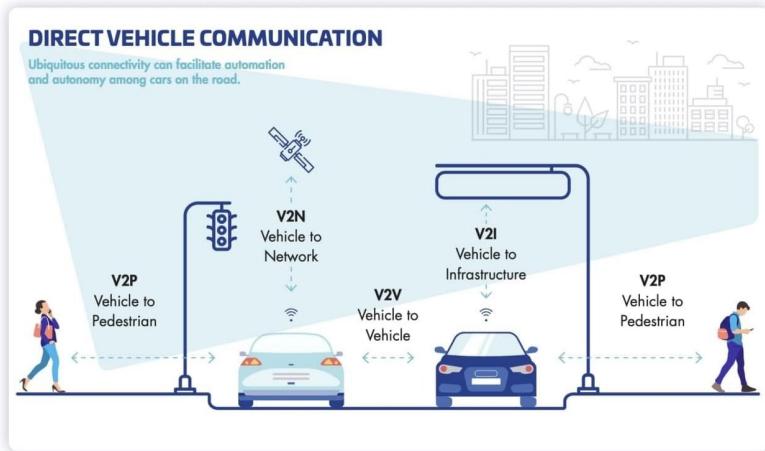


FIGURE 8 – La communication V2X

Cette communication offre des mises à jour en temps réel sur les conditions de circulation, les accidents, la météo et la disponibilité des places de stationnement, améliorant ainsi la sécurité et l'efficacité des trajets[23].

## 4 État de l'art

### 4.1 Les technologies IoT dans les voitures

Selon l'entreprise Objenious [17], l'Internet des Objets (IoT) constitue une révolution dans l'industrie automobile en rendant les véhicules plus intelligents et connectés. Depuis l'introduction de la norme européenne eCall en 2018, qui impose un système d'appel d'urgence automatique, les constructeurs ont intégré des technologies IoT pour développer des services innovants. Grâce aux réseaux haut débit comme la 4G et la 5G, les véhicules peuvent désormais collecter, envoyer et recevoir des données en temps réel, interagissant ainsi avec les infrastructures routières, les autres véhicules et les usagers.

Le marché mondial de l'IoT dans le secteur automobile, estimé à 115,37 milliards de dollars en 2022, devrait atteindre 975,66 milliards de dollars d'ici 2032, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 23,8 % sur cette période [34].

L'intégration des technologies IoT dans les véhicules permet une communication en temps réel entre les véhicules eux-mêmes, les infrastructures et d'autres dispositifs externes. Cette connectivité vise à améliorer la sécurité, l'efficacité et l'expérience de conduite. Les capteurs embarqués collectent et échangent des données sur les conditions de circulation, la météo, les performances du véhicule et le comportement du conducteur. Ces informations sont exploitées pour la maintenance prédictive, la navigation intelligente et l'optimisation des systèmes de conduite autonome.

Par ailleurs, la connectivité IoT facilite l'intégration des smartphones et autres appareils avec les véhicules, offrant ainsi des services tels que la surveillance à distance, le suivi des véhicules et des fonctionnalités d'infodivertissement personnalisées. Ces avancées technologiques redéfinissent le secteur automobile, ouvrant la voie à une mobilité plus sûre, plus intelligente et plus autonome.

#### 4.1.1 Systèmes de communication et d'échange de données

"Depuis longtemps une voiture collecte des données, ces données sont collectées via les capteurs et traitées par les calculateurs du véhicule." par Innovauto [18].

Les différentes données émises par un véhicule peuvent être **techniques** (ex : état de charge de la batterie, autonomie restante ...), **usage** (ex : trajet, style de conduite...) et **personnelles** (ex : titulaire de la carte grise, agenda du conducteur,...). Un véhicule autonome échange des données avec son environnement, et ces données suivent un cycle de vie comportant plusieurs étapes :

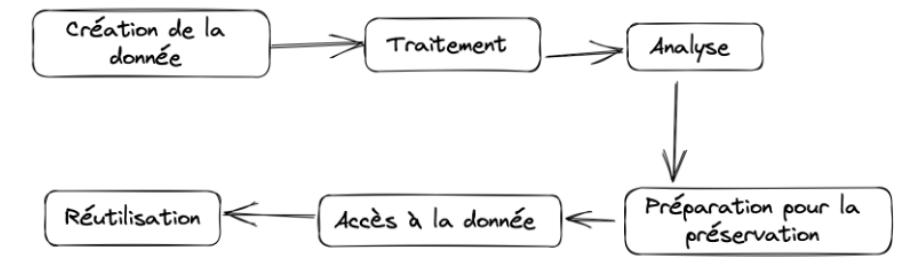


FIGURE 9 – Cycle de vie de la donnée

Les étapes du cycle de vie des données doivent respecter le RGPD sans être spécifiquement adaptées à la pratique automobile. De plus, si des véhicules sont commercialisés, ils doivent se conformer aux normes de chaque pays, telles que le RGPD en Europe, le Cloud Act aux États-Unis,

et le PIPL en Chine. Les données collectées par les véhicules autonomes sont considérées comme des données personnelles et doivent être protégées conformément à la réglementation en vigueur d'après la Thèse de Nolwen LE GUENNEC[19].

La connectivité des véhicules autonomes pose également des problèmes de sécurité, notamment la vulnérabilité aux attaques informatiques. Des questions se posent sur la manière de protéger ces systèmes contre de telles menaces. Comment peut-on sécuriser ces informations sensibles face aux cyberattaques ?

Les programmes informatiques consomment de l'énergie et l'impact environnemental de ces technologies doit être pris en compte.

Grâce à la technologie IoT, les véhicules peuvent échanger des données. Voici les 3 modes de fonctionnement des STI<sup>3</sup>.

- **Communication véhicule à véhicule (V2V) :**

Les véhicules équipés de l'IoT échangent des informations telles que leur vitesse et leur position. Cette communication permet de signaler des accidents ou des pannes, aidant les conducteurs à anticiper les problèmes de circulation et à se déplacer plus efficacement.

- **Communication véhicule à infrastructure (V2I) :**

Les véhicules connectés interagissent avec des éléments d'infrastructure routière comme les feux de circulation, les lampadaires et les caméras. L'analyse de ces données peut conduire à des ajustements tels que la modification des limites de vitesse ou la facilitation du passage des véhicules de secours, améliorant ainsi la sécurité routière pour tous les usagers.

- **Communication infrastructure au véhicule (V2I) :**

Les infrastructures routières transmettent des informations aux véhicules à proximité, permettant l'affichage en temps réel de données pertinentes pour les conducteurs.

	Bandes des opérateurs mobiles	Bande 5,9 GHz	Bandes des opérateurs mobiles + bande 5,9 GHz
Technologies	2G, 3G, 4G, bientôt 5G	ITS-G5 (dérivé du Wi-Fi)	C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything)
Mode de communication	Vehicle-to-Network	Vehicle-to-Vehicle Vehicle-to-Infrastructure Vehicle-to-Pedestrian	Vehicle-to-Network Vehicle-to-Vehicle Vehicle-to-Infrastructure Vehicle-to-Pedestrian

FIGURE 10 – Tableau comparatif du système de communication V2X d'Innovauto

La technologie basée sur les opérateurs mobiles permet une communication avec un serveur distant, mais ne prend pas en charge directement la communication entre véhicules et infrastructures. Le ITS-G5 (Wi-Fi) fonctionne sur la bande 5,9 GHz et permet une communication locale et directe entre les véhicules, les infrastructures et les piétons.

3. Système de Transport Intelligent

Le C-V2X (Cellular-V2X) combine les deux approches, offrant à la fois une communication via les réseaux mobiles et une communication directe entre les véhicules et infrastructures.

Le C-V2X est la solution la plus complète, intégrant les avantages des réseaux mobiles et de la communication directe, ce qui le rend plus adapté aux véhicules autonomes et à la gestion du trafic intelligent.

#### 4.1.2 Capteurs et perception environnementale

L'évolution des véhicules intelligents repose sur des systèmes de capteurs avancés et de perception environnementale. "Un capteur IoT est un dispositif qui mesure une ou plusieurs variables physiques de l'environnement et envoie les données à un réseau ou à une plateforme IoT pour une utilisation ultérieure." selon le site de l'entreprise IoT[33]. Ces technologies permettent aux véhicules de collecter, d'analyser et d'interpréter en temps réel leur environnement afin d'améliorer leur utilisation. Les principaux capteurs utilisés sont les caméras, les radars, les lidars et les ultrasons. Ces données permettent de :

- Déetecter les pannes.
- Alerter les propriétaires en cas de dysfonctionnement.
- Optimiser la maintenance.
- Simplifier les procédures de réparation.
- Gérer les flottes de véhicules.

La perception de l'environnement consiste à analyser et interpréter les données fournies par les capteurs pour prendre des décisions en temps réel. La décision repose sur des algorithmes avancés d'IA<sup>4</sup> qui permettent de reconnaître les objets, d'anticiper les comportements et de réagir en conséquence. Ces technologies sont essentielles pour la conduite autonome et la sécurité des usagers de la route, y compris les motards. Pour cela, il faut combiner plusieurs informations :

- Déetecter et classer les objets.
- Estimer leur vitesse et leur trajectoire.
- Anticiper les risques et les collisions.
- Améliorer la prise de décision.

Les avancées en IA<sup>5</sup> en connectivité comme la 5G et la V2X et en traitement des données continueront d'améliorer la perception environnementale des véhicules permettant ainsi la voie à une mobilité plus sûre.

#### 4.1.3 Aide à la conduite et systèmes ADAS

Dans un monde où la sécurité routière est une priorité, les systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS<sup>6</sup>) révolutionnent la manière dont les véhicules interagissent avec leur environnement, réduisant ainsi les risques d'accidents et améliorant l'expérience de conduite. Selon le site du Gouvernement [4] "Ces technologies ouvrent la voie à des véhicules de plus en plus automatisés, mais ceux qui en sont équipés ne sont pas des véhicules dits « autonomes ». Les aides à la conduite ne remplacent pas le conducteur et ses obligations. Leur usage s'opère sous la surveillance permanente du conducteur, qui reste responsable de la tâche de conduite et de la maîtrise du véhicule."

---

4. Intelligence Artificielle

5. Intelligence Artificielle

6. Advanced Driver Assistance System

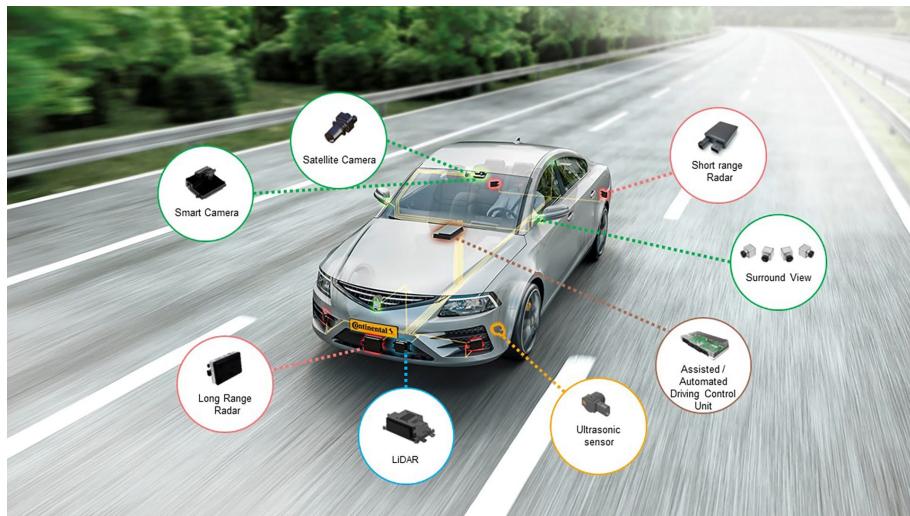


FIGURE 11 – Voiture embarquant des systèmes ADAS[16]

#### 4.1.4 Analyse des données et prise de décision

L'entreprise Valeo a conçu un radar Lidar « Scala ». D'après LeParisien [28], l'entreprise, en 2020 produit 200 000 exemplaires par an. Cette technologie permet à ce que la voiture conduise sans l'intervention d'un humain.

Les recherches sur l'utilisation et l'interprétation des données recueillies par les capteurs sont au cœur des sujets depuis quelques années. Yann LeCun, précurseur du deep learning<sup>7</sup> nous présente l'interprétation et l'utilisation de données recueillies. Ce graphe ci-dessous présente la relation entre l'écart de position d'une voiture sur la voie et l'angle du volant pour ramener la voiture au milieu.

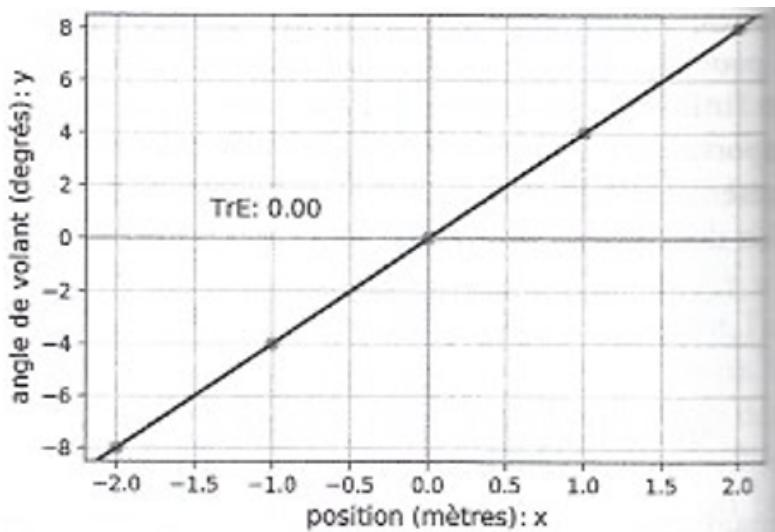


FIGURE 12 – Graphe page 88 du livre "Quand la machine apprend".

Par exemple, pour une déviation d'un mètre, il faudra incliner le volant de 4 degrés. Voici un nouvel exemple de graphique avec de nouvelles données d'entrée :

7. L'apprentissage automatique.

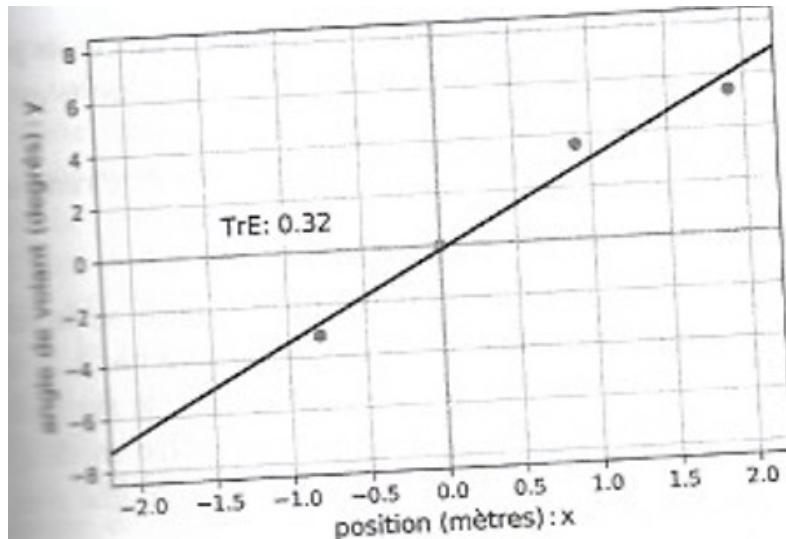


FIGURE 13 – Graphe page 88 du livre "Quand la machine apprend".

La pente passe par trois points sur quatre. Par conséquent, il faut trouver un compromis. On optera donc pour la solution où la droite passe au plus près des quatre points, comme modélisé précédemment.

En somme, l'IoT révolutionne l'industrie automobile en offrant des véhicules plus sûrs, plus efficaces et mieux entretenus, tout en ouvrant la voie à de nouvelles innovations dans le domaine de la mobilité.

La mobilité autonome vise à garantir un confort et une fluidité optimaux, ce qui nécessite un système de surveillance pour mesurer diverses variables. Cela se fait principalement par l'utilisation de capteurs embarqués. L'orientation et la direction de la roue jouent un rôle crucial, tout comme la mesure des longitudes et l'utilisation d'unités de mesure inertuelle (IMU). La mesure de la vitesse latérale, en revanche, requiert des capteurs très coûteux d'après la conférence[5] de Sofiane AHMED ALI. Pour réduire le nombre de capteurs nécessaires et, par conséquent, les coûts de développement, on peut utiliser des observateurs basés sur des modèles mathématiques pour déterminer les états du véhicule. Cette approche prometteuse présente toutefois des inconvénients, tels que la dynamique latérale du véhicule et les forces latérales agissant sur lui. L'utilisation de capteurs visuels présente des défis supplémentaires. Ces capteurs peuvent allonger le processus de collecte de données et introduire des délais dans la transmission des images, ayant ainsi un impact majeur sur le système.

## 4.2 Les défis spécifiques liés à la sécurité des motos

### 4.2.1 Particularités des motos sur la route

Les motos présentent plusieurs particularités sur la route qui impactent leur sécurité et leur interaction avec les autres véhicules. Une moto, c'est un véhicule de petite taille monté sur deux roues. Cela implique alors qu'elle est encore moins visible, surtout dans les angles morts d'un autre véhicule. Les motos sont agiles, possèdent une forte accélération et leur trajectoire est souvent imprévisible. Cela augmente le risque de collisions et les motos peuvent surprendre les autres usagers de la route. De plus sa configuration expose directement le conducteur deux-roues lors d'un accident par son manque de carrosserie. Les conditions météorologiques et la surface de la route jouent un rôle important dans l'adhérence des véhicules. Les conséquences matérielles et corporelles sont beaucoup plus importantes pour un deux-roues car la chute est inévitable. La puissance de la machine demande beaucoup d'anticipation et une conduite plus exigeante face à tous les dangers.

Avec Mr Arioui, vice-président de l'innovation et des relations internationales, lors d'un échange, nous avons abordé l'importance du regard dans les trajectoires. En effet, le regard est essentiel pour anticiper les dangers et choisir la bonne trajectoire. De plus, tous les facteurs comme l'accélération, quand solliciter la moto influencent la trajectoire. La sécurité routière[31] met en avant cette technique nommée EDSR pour "Entrée, Découverte, Sollicitation de la moto, Reprise de stabilité" permet de prendre un virage en toute sécurité en augmentant le champ de vision afin d'anticiper les dangers.



FIGURE 14 – Trajectoire de sécurité

Ci-dessous, l'importance de l'utilisation des trajectoires de sécurité. Cela permet d'anticiper les événements qui arrivent en face de nous. Attention, c'est un exemple **parmis tant d'autres** (graviers, cyclistes, camions, bus, tracteur...).



FIGURE 15 – Utilisation de la trajectoire de sécurité à moto

Pour mon retour d’expérience, le placement du regard est essentiel pour anticiper ce qu’il arrive en face. En se placant externe, cela permet donc d’agrandir le champ de vision et de pouvoir voir le véhicule qui arrive en face. En se placant interne, le champ de vision aurait été réduit et la collision entre les deux véhicules aurait été sûrement inévitable. De plus, la trajectoire de sécurité n’est pas toujours possible, il faut prendre en compte les autres facteurs : la vision (soleil), les véhicules arrivant en face, la qualité de la route... Cette trajectoire est d’autant plus importante en montagne où les virages sont nombreux et les conditions de circulation peuvent être imprévisibles. La conduite en montagne nécessite une attention particulière, car les routes peuvent être étroites, sinueuses et parfois glissantes en raison des conditions météorologiques. Les motards doivent donc adapter leur conduite en conséquence, en réduisant leur vitesse et en restant vigilants face aux obstacles potentiels.



FIGURE 16 – Illustration de la trajectoire de sécurité en montagne

Ces particularités expliquent pourquoi la sécurité des motos sur la route est un enjeu majeur et nécessite des adaptations spécifiques dans les systèmes de détection et d’assistance à la conduite.

#### 4.2.2 Les technologies IoT actuelles pour les motos

Aujourd’hui, de nouvelles marques, applications[29] apparaissent sur le marché de la moto. Cela crée également un écosystème permettant aux propriétaires de deux-roues de s’équiper à moindre frais (abonnement). Une des applications que nous pouvons exploiter sur le marché est Georide. Géoride une start-up française qui propose une solution de géolocalisation et de suivi des motos.

Grâce à un boîtier connecté, les proches des motards peuvent suivre en temps réel leur trajet. Le boîtier est connecté à un réseau et il a la capacité à détecter une chute puis de contacter l'assistance.

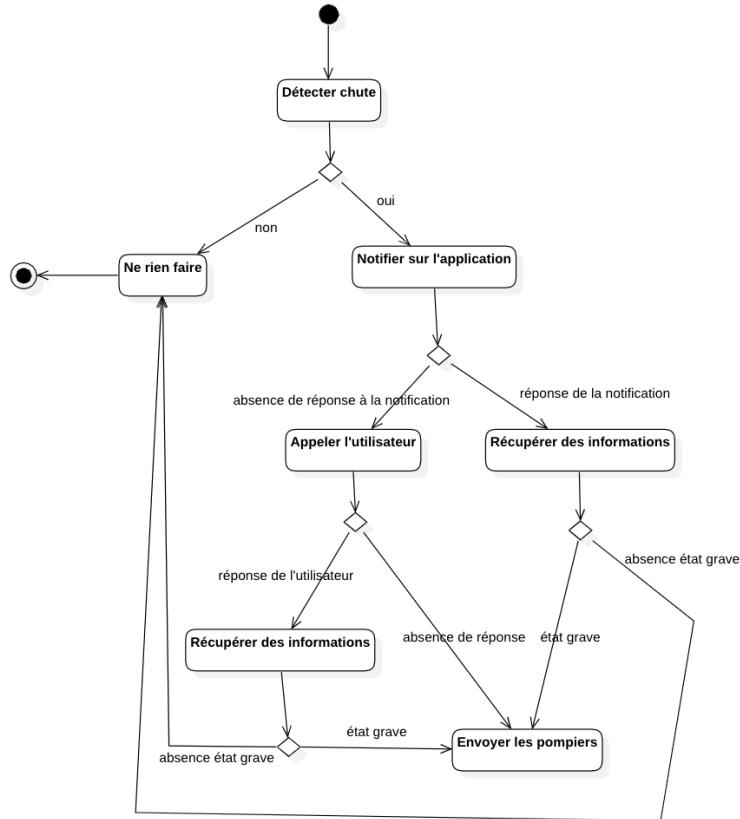


FIGURE 17 – Diagramme d'action du boîtier Géoride concernant la sécurité du motard

Ci-dessous, un témoignage d'un utilisateur de l'application Georide à la suite d'un accident à moto. Ce dernier souligne l'importance et le poids que peut avoir la technologie dans la sécurité des motards. Il évoque également la rapidité d'intervention des secours grâce à l'application, ce qui a permis de lui sauver la vie.

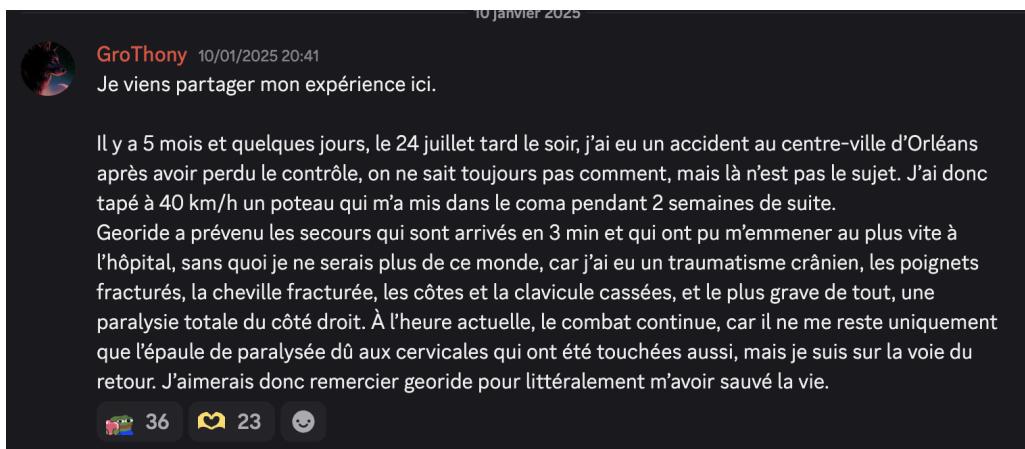


FIGURE 18 – Témoignage d'un utilisateur de Georide sur le Discord de l'application réservé pour la communauté

L'application mobile fournit des statistiques détaillées sur les performances du véhicule et des alertes en cas de vol ou de panne. Georide propose également des fonctionnalités de partage de trajet, des notifications sur l'entretien de la moto comme le graissage de chaîne renforçant ainsi la sécurité et la convivialité de l'expérience de conduite.

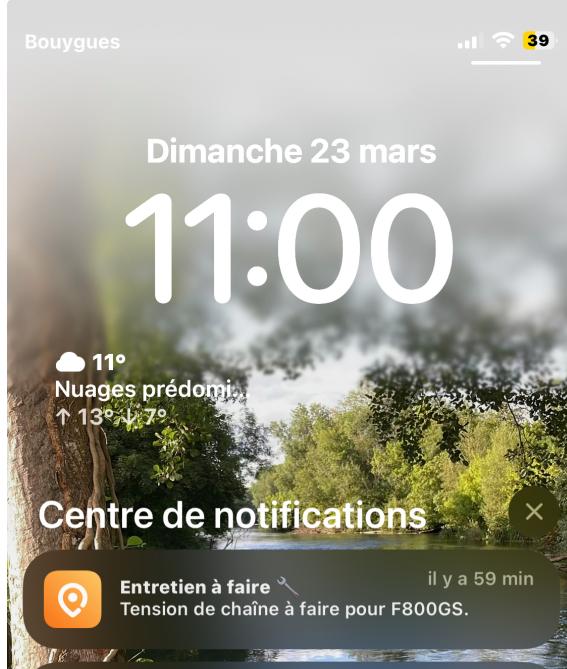


FIGURE 19 – Exemple de notification de l'application Georide

Pour des motos qui n'ont pas l'option, il est possible d'y ajouter "Live Weel" qui permet de surveiller la pression et la température des pneus. Cela permet de réduire les risques de crevaison.

Des dispositifs de communication sans fil sont également disponibles pour les motards. Des marques comme Sena et Cardo[10] proposent des systèmes de communication mains libres qui permettent aux motards de rester connectés tout en conduisant. Ces appareils se fixent sur le casque et offrent des fonctionnalités telles que la communication intercom, la musique en streaming et les appels téléphoniques. Ils sont compatibles avec les smartphones et les systèmes de navigation, améliorant ainsi la sécurité et le confort des motards sur la route. Les dernières mises à jour concernent la détection de collision. Concernant le Packtalk Pro de chez Cardo, il est équipé de capteurs qui permettent de détecter une chute et d'envoyer un message d'urgence à un contact prédéfini.

D'autres technologies sont plus accessibles comme celle qui est liée au téléphone. En effet, il existe des applications mobiles qui permettent de suivre son trajet, de partager sa position en temps réel et de recevoir des alertes en cas de danger. Ces applications sont souvent gratuites et faciles à utiliser et peuvent être pris en charge par les assurances : c'est le cas de Liberty Rider [22]. Cette application utilise les capteurs du smartphone pour détecter les chutes et envoyer automatiquement un message d'alerte à un contact d'urgence. Elle propose également des fonctionnalités de navigation, prévention des virages dangereux, de partage de trajet et de statistiques de conduite, améliorant ainsi la sécurité et la convivialité de l'expérience de conduite. D'autres applications comme Calimoto, 68 Degrés sont également disponibles et offrent des fonctionnalités similaires pour les motards.

Pour des motos plus modernes, par exemple, BMW propose des motos connectées[6]. La moto

est équipée de l'option « Connectivity » qui permet de connecter le smartphone à la moto via Bluetooth. L'écran TFT affiche les informations de navigation, les appels téléphoniques et la musique en streaming. La moto peut également être contrôlée via l'application mobile BMW Motorrad Connected, offrant des fonctionnalités de suivi, de maintenance et de partage de trajet. Ces technologies améliorent la sécurité et le confort des motards en leur permettant de rester connectés tout en conduisant. Concernant les systèmes ADAS des motos[15], il y a des systèmes de freinage ABS,<sup>8</sup> de contrôle de traction et de suspension électronique qui sont de plus en plus courants sur les motos modernes. Ces technologies améliorent la stabilité, la maniabilité et la sécurité des motards en ajustant automatiquement les paramètres du véhicule en fonction des conditions de conduite. "De plus, tous les ADAS sur les voitures ne sont pas compatibles et ne seront pas d'une grande utilité sur les motos." d'après l'article de Moto-Net [15]. D'après une étude britannique, la technologie ADAS permet de réduire de 20 à 30%[20] les accidents de la route. Cependant, ces systèmes ne sont pas encore généralisés sur les motos et leur efficacité dépend de leur intégration et de leur compatibilité avec les spécificités de la conduite à deux-roues. La technologie équivalente à ADAS et ARAS<sup>9</sup> est en cours de développement pour les motos et devrait être déployée dans les prochaines années. Selon Geoff Liersch, président de la division Deux-roues et sports motorisés chez Bosch, "nous voulons améliorer la sécurité sans retirer le plaisir de la conduite"[8]. Le système ARAS utilise des radars avant et arrière qui communiquent en permanence avec l'Unité de contrôle du moteur (ECU) et divers capteurs.

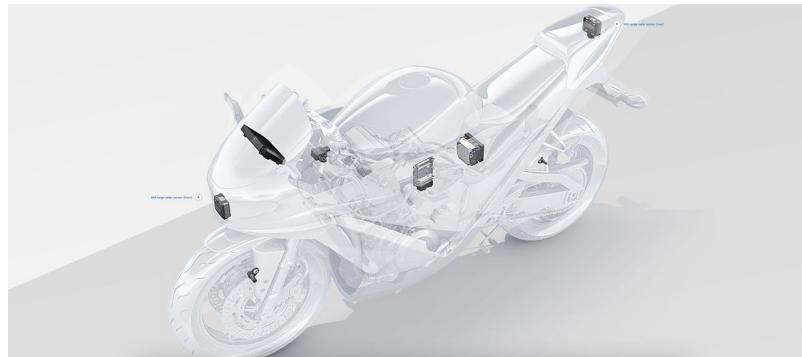


FIGURE 20 – Moto avec la technologie ARAS

Les radars adaptatifs, déjà utilisés dans l'automobile, font progressivement leur apparition sur les motos haut de gamme. Ce système utilise des capteurs radar pour :

- Maintenir une distance de sécurité avec les véhicules qui précèdent.
- Avertir le conducteur en cas de risque de collision.
- Ajuste le freinage en fonction de l'inclinaison.
- Adapter automatiquement la vitesse et la distance de freinage.
- Détection d'angles morts.

Des constructeurs comme Ducati, BMW et KTM intègrent désormais ce type de radar sur certains modèles, améliorant ainsi l'expérience de conduite, notamment sur autoroute.

Plusieurs nouvelles aides et alertes sont en cours de développement pour les motos. Parmi elles, on retrouve :

- Group Ride Assist : Aide à la conduite en groupe.

---

8. Évite le blocage des roues.

9. Advanced Rider Assistance System

- Régulateur de vitesse adaptatif + Stop and Go : Maintien automatique de la distance de sécurité.
- Emergency Brake Assist : Freinage d'urgence en cas de risque de collision.

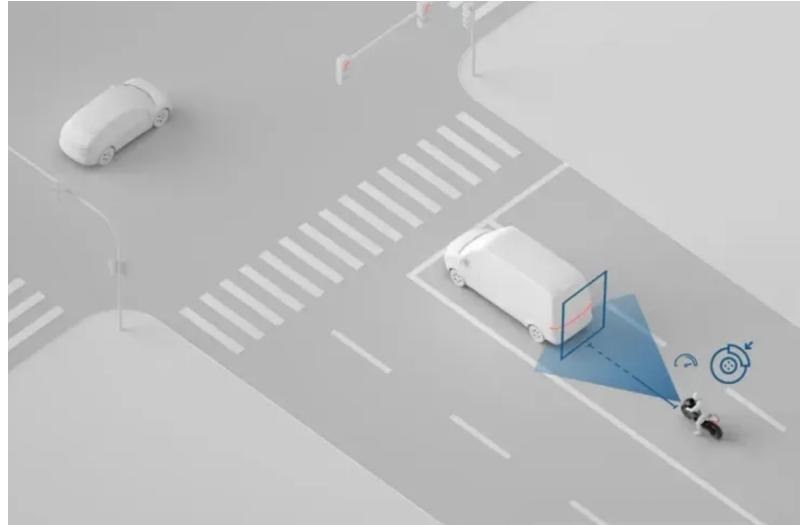


FIGURE 21 – Moto avec la technologie ARAS pour un freinage d'urgence

- Rear Collision Warning : Détecte si un véhicule s'approche trop près par l'arrière et active les feux de détresse en cas de risque de collision.

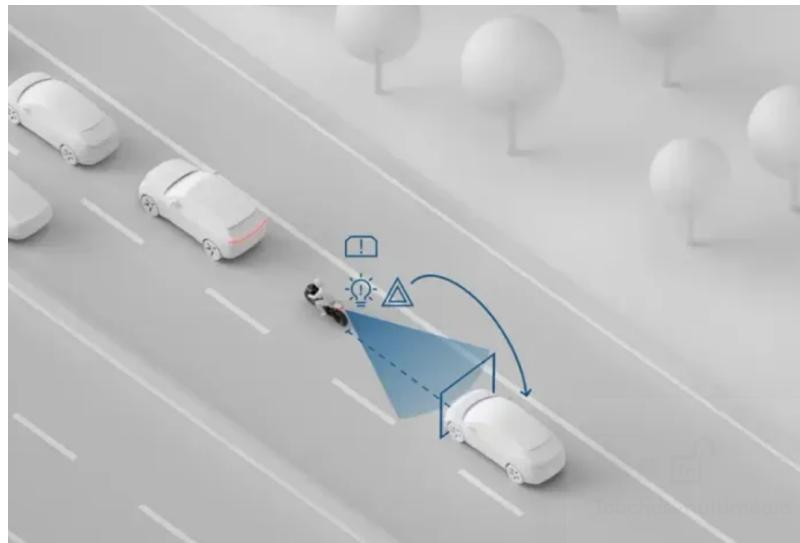


FIGURE 22 – Moto avec la technologie ARAS pour alerter en cas de collision arrière

"L'objectif est d'avoir cette technologie pour une dizaine d'euros par moto. Cela pourrait réellement avoir un impact significatif sur la réduction des accidents." d'après Geoff Liersch.

Les motos autonomes sont en cours de développement, avec des prototypes. BMW Motorrad a présenté lors du Consumer Electronic Show 2019 (CES) à Las Vegas [25] un modèle de moto autonome capable de se déplacer sans pilote. Ce prototype, basé sur la BMW R 1200 GS, utilise des capteurs et des caméras pour détecter son environnement et naviguer en toute sécurité. Il est capable

de démarrer, d'accélérer, de freiner et de tourner sans intervention humaine. Ce modèle intègre des technologies avancées telles que la conduite autonome, la connectivité et l'intelligence artificielle. Il est équipé de capteurs et de caméras pour détecter l'environnement et ajuster automatiquement la conduite en fonction des conditions de circulation. La moto est également dotée d'un système de stabilisation qui permet de maintenir l'équilibre même à l'arrêt, offrant ainsi une expérience de conduite plus sûre et plus confortable.



FIGURE 23 – Moto R1300 GS autonome de BMW (2019)

L'intégration de ces technologies dans les motos modernes montre que l'innovation continue d'évoluer pour protéger les motards. Entre les radars adaptatifs, la gestion des gaz en cas de perte d'adhérence et l'ABS spécifique, ces avancées offrent une meilleure stabilité, un freinage plus efficace et une anticipation des dangers sur la route. L'avenir pourrait encore voir l'émergence de nouvelles solutions, comme la communication V2X (Véhicule à Tout) pour améliorer l'interaction entre motos, voitures et infrastructures routières.

Avec ces innovations, la moto de demain ne sera pas seulement plus rapide et plus performante, mais surtout plus sûre et plus intelligente.

#### 4.2.3 L'exploitation des données pour les motos

Avec l'essor des technologies embarquées et connectées, les motos modernes génèrent un volume croissant de données, dont l'analyse permet d'améliorer la sécurité, la maintenance et l'expérience de conduite. Selon Bosch, les systèmes d'assistance basés sur le radar pourraient prévenir un accident de moto sur six [7], en réagissant plus rapidement que le pilote dans des situations critiques.

Des projets comme Dymoa (Cerema) exploitent les données collectées lors des trajets réels pour mieux comprendre les risques propres aux deux-roues et adapter les politiques de sécurité routière. Dans le cadre de mon alternance chez Kappa Santé, une entreprise spécialisée dans le traitement de données de santé sensibles, la protection des données personnelles est une priorité absolue. Des formations obligatoires sur le RGPD sont mises en place afin de sensibiliser les employés à ces enjeux. Cette exigence de rigueur en matière de sécurité m'a permis de mieux appréhender les enjeux liés à la collecte et à l'utilisation des données dans d'autres domaines, comme celui des motos connectées. Il est donc essentiel que les données générées par ces véhicules soient traitées avec le même niveau d'exigence : elles doivent être anonymisées, sécurisées et utilisées de manière responsable afin d'éviter toute fuite ou dérive dans leur exploitation.

#### 4.2.4 Limitations des technologies IoT actuelles pour les motos

Le progrès côté deux-roues est très intéressant et évolue. La Verge TS Ultra est une moto électrique [21] haut de gamme intégrant des technologies avancées pour assurer une sécurité maximale à son pilote. Présentée lors du CES 2024, cette superbike est équipée du système Starmatter Vision, qui comprend six caméras et deux radars haute résolution, offrant une vision à 360 degrés de son environnement. Grâce à l'intelligence artificielle et au machine learning, la TS Ultra analyse en temps réel les risques potentiels et alerte le conducteur, notamment lors des changements de voie. Un écran agrandi sur le réservoir affiche des informations claires, comme la vue arrière lors de l'activation du clignotant. Côté performances, la moto dispose d'une batterie de 20,2 kWh alimentant un moteur de plus de 204 chevaux, permettant une accélération de 0 à 100 km/h en 2,5 secondes et une vitesse maximale limitée à 200 km/h. L'autonomie annoncée est de 375 km en conditions optimales, avec une recharge rapide possible en 25 minutes. La Verge TS Ultra est disponible à partir de 54 880 euros. Les technologies qu'embarquent les motos sont à la pointe mais coûtent très chères et ne sont pas encore accessibles à tous.

Yamaha, en collaboration avec Netflix, a donné vie à la moto futuriste Y/AI [35], initialement imaginée dans la série animée "Tokyo Overdrive". Cette moto, inspirée de la Yamaha YZR-M1 du MotoGP présente un design avant-gardiste avec des roues sans rayons semi-transparentes émettant une lueur bleue en mouvement. Son moteur est dissimulé dans la structure reliant les roues, offrant une esthétique épurée. Les guidons, fixés sur les côtés des fourches avant et reliés par une arche, renforcent son allure futuriste. Ce prototype a été exposé au Motor Expo 2024 en Thaïlande, illustrant la vision de Yamaha sur l'intégration de l'intelligence artificielle dans les motos de demain.

Avec Mr Arioui, nous avons également abordé le sujet des motos électriques. Prenons l'exemple des voitures électriques. D'après le site Ilek [13], le moteur électrique "Celui-ci est capable de fournir un couple instantané pour des accélérations fluides et dynamiques". Les voitures électriques ont les mêmes comportements que les motos électriques. Elles sont puissantes, réagissent instantanément. Leur couple<sup>10</sup> est élevé. À la suite d'un échange avec Monsieur Arioui, il en ressort que les motos électriques ont un comportement totalement différent des motos thermiques. En effet, la puissance est instantanée et il n'y a pas de temps de latence entre l'accélération et la réaction de la moto. Cela demande une adaptation du motard. Lors d'une étude présentée lors de la 3ème réunion [9] à Nantes, il a été démontré que les usagers de motos électriques trouvent que les motos d'une cylindrée équivalente à 125 cm<sup>3</sup> sont seraient égales à celle d'un 600 cm<sup>3</sup>. La question soulevée est la suivante : "Faudrait-il un permis spécifique pour les motos électriques ?". Il est remonté également que la plupart des motards utilisent le mode éco pour limiter la puissance, le couple de la moto que pour limiter sa consommation. De plus, le poids de la batterie est important et cela change totalement le comportement de la moto. Ce sont des points à prendre en considération pour la technologie de demain. Une autre étude a été menée et présentée [9] sur le retour sensoriel de la vitesse des motards de la moto électrique. Cette expérience a été réalisé sur un simulateur. Il y a eu 21 participants. Les différentes expériences ont été réalisées avec ou sans vibration moteur, avec ou sans son... Une expérience avec l'absence visuelle montre une sur estimation de la vitesse. Par exemple, pour une vitesse de 50 km/h, les participants estiment la vitesse à environ plus de 65 km/h. Sans l'audition, la perception de la vitesse est faussée. Pour conclure cette étude, les étudiants ont noté que le visuel représente 41%, le bruit du moteur représente 21% enfin, la vibration, 14%. Le défi ici est

10. Plus un moteur est coupleux (qui possède du couple), plus sa capacité à tirer le poids total de la voiture ou d'une moto sera grande.

d'améliorer les zones d'attention. La décélération d'une moto thermique est de 3,8 km/h contre 5,5 km/h pour une moto thermique.

D'après une étude réalisée par « The American Automobile Association (AAA) »[14] en Janvier 2022, il y a 85% de la population interrogée exprime leur inquiétude, leur peur face à la technologie des voitures autonomes. En effet, cette technologie doit encore faire ses preuves à la population bien que des résultats soient prometteurs.

De plus, les médias et les réseaux sociaux ont un impact important sur la perception de la technologie des voitures autonomes. Les accidents impliquant des voitures autonomes sont largement médiatisés et suscitent des débats sur la sécurité et la fiabilité de ces véhicules. Les constructeurs automobiles et les autorités doivent donc communiquer de manière transparente et pédagogique pour rassurer les usagers et favoriser l'adoption de ces technologies. Les réseaux sociaux nous informent en temps réel des événements qui se déroulent dans notre pays ou à travers le monde. Récemment, j'ai lu un article[26] daté du jeudi 1er août 2024, relatant un incident survenu en avril dernier. Il s'agit d'un motocycliste de 28 ans, percuté par une voiture en conduite autonome, une Tesla Model S de 2022. Selon les données recueillies, la voiture aurait effectué une embardée après avoir perçu un bruit, ce qui a conduit à la collision. Le fabricant rappelle que ces véhicules ne sont pas entièrement autonomes et que le conducteur doit toujours être prêt à reprendre le contrôle en cas de problème. Selon l'Administration de la sécurité routière des États-Unis, 75 autres accidents impliquant des voitures autonomes ont été recensés. La semaine dernière, Elon Musk, PDG de Tesla, a déclaré que d'ici la fin de l'année, les systèmes de "conduite autonome" devraient être capables de fonctionner sans la supervision constante de son conducteur.

Même si l'évolution et le progrès de cette technologie impressionnent et présentent de bons résultats, elle montrent de nombreuses limites et n'est pas encore au point. Quels sont les limites et les dangers ?

### **4.3 Conclusion**

Bien que l'IoT offre de nombreuses opportunités pour améliorer la sécurité et l'efficacité des transports, il présente également des limites et des défis à relever. Ces limites peuvent liées à la technologie, la réglementation, la sécurité et à la confidentialité des données.

Chaque pays a sa propre réglementation et il est difficile de mettre en place une norme commune. Les constructeurs doivent donc s'adapter à chaque marché et respecter les lois en vigueur.

La sécurité des données est un enjeu majeur pour les véhicules connectés. Les données collectées par les capteurs et les systèmes embarqués peuvent être sensibles et nécessiter une protection adéquate contre les cyberattaques et les violations de la vie privée.

Enfin, l'interopérabilité entre les différents systèmes et véhicules est essentielle pour garantir une communication efficace et une coordination optimale entre les usagers de la route. Les technologies IoT offrent des solutions pour relever ces défis, mais leur mise en œuvre nécessite une collaboration étroite entre les constructeurs, les autorités et les utilisateurs pour garantir une mobilité plus sûre, plus intelligente et plus durable. Pour conclure, chaque véhicule a des besoins spécifiques et le défi est de trouver des solutions adaptées à chaque type de véhicule. Les technologies IoT offrent des opportunités pour répondre à ces enjeux.

## 5 Mémoire

### [Commentaire: Idées en cours ainsi que re formulation]

Plusieurs IOT existent sur les voitures et fonctionnent parfaitement sur les motos comme l'angle mort, l'ABS, l'anti-patinage, le contrôle de traction, etc. Cependant, il existe des différences notables entre les deux types de véhicules. Dans cette partie, je vais me consacrer sur l'analyse de la route et l'optimisation de la prise des trajectoires.

### 5.1 Pratique de la route - Analyse comparative des besoins de sécurité entre voitures et motos

#### [Commentaire:

Analyse des différences fondamentales : protection physique, stabilité, visibilité, comportements routiers.

- Quelles fonctionnalités IoT des voitures sont difficilement transférables ?
- Quelles fonctionnalités sont transférables mais nécessitent adaptation ?
- Mise en évidence des lacunes spécifiques aux motos. ]

[Commentaire: reformulation à faire] J'ai eu l'occasion d'expérimenter la pratique du deux-roues sous différents angles :

- Les trajets du quotidien,
- Les balades entre ami(e)s,
- Les road trip de plus d'une dizaine de jours (environ 200 à 300 kms par jour), souvent en milieu montagneux.

Avec plus de 35 000 km parcourus en deux ans, voici les constats que j'ai pu faire autour de moi :

- Les trajets du quotidien peuvent paraître anodins, mais c'est justement la routine qui les rend dangereux. En connaissant la route par cœur, on a tendance à relâcher sa vigilance, alors que les risques restent bien réels (état de la chaussée, comportement imprévisible des autres usagers, etc.).
- Les balades entre ami(e)s apportent un vrai plaisir de conduite, mais l'effet de groupe peut parfois inciter à dépasser ses limites. On peut se retrouver à rouler à des vitesses inadaptées ou à prendre de mauvaises décisions sous l'influence de comportements plus audacieux. Le jugement individuel peut alors être altéré.
- Les road trips, quant à eux, demandent une grande endurance. La fatigue s'accumule rapidement, et avec elle, le temps de réaction s'allonge. Il est essentiel d'être pleinement en possession de ses capacités pour pouvoir réagir correctement en cas de situation imprévue.

Enfin, un point important : lorsque la chaussée est mouillée, la majorité des motards adoptent naturellement une conduite plus prudente, vitesse réduite, prise d'angle limitée, meilleure anticipation. Cela montre que la perception du risque influence fortement le comportement. Abordons maintenant une difficulté que beaucoup de deux-roues rencontrent : les virages.

### 5.1.1 Étude des virages

**[Commentaire: idée : montrer que c'est complexe]** Les illustrations ci-dessous représentent différentes trajectoires dites de sécurité. Ce sujet occupe une place centrale dans les campagnes de prévention menées par les acteurs de la sécurité routière. Il est régulièrement abordé par les forces de l'ordre, notamment les gendarmes spécialisés dans la sécurité des deux-roues motorisés, mais également par les formateurs, les auto-écoles et les usagers eux-mêmes.

En effet, la trajectoire de sécurité constitue une technique de conduite essentielle pour limiter les risques en virage, optimiser la visibilité et mieux anticiper les éventuels dangers. Elle permet au motard d'adopter une position plus stratégique sur la chaussée, en tenant compte à la fois du tracé de la route, de l'environnement, et de la circulation en sens inverse.

La sensibilisation à cette pratique est donc fortement encouragée, que ce soit lors des formations initiales, des stages post-permis ou à travers les communications des institutions publiques. Les illustrations présentées ici ont pour but de mieux comprendre ces trajectoires et de visualiser les choix possibles selon différents contextes routiers.

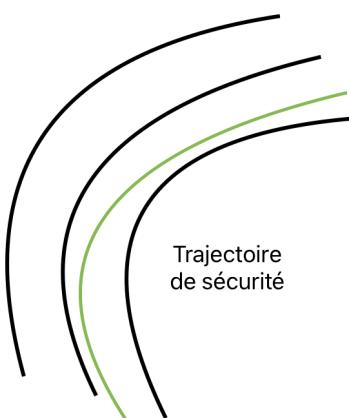


FIGURE 24 – Trajectoire de sécurité utilisée sans obstacle

Adopter une trajectoire comme celle illustrée ci-dessus permet principalement d'optimiser la visibilité à l'entrée et dans le cœur du virage. En s'éloignant légèrement de l'intérieur de la courbe, le motard bénéficie d'un champ de vision plus large, ce qui lui permet d'anticiper plus facilement les éventuels obstacles, les changements d'adhérence ou la présence d'un autre usager. Toutefois, cette trajectoire doit être adaptée dès lors qu'un autre véhicule circule en sens inverse. Dans ce cas, la priorité n'est plus uniquement la visibilité, mais également la sécurité du croisement. Il convient alors d'adopter une trajectoire dite de compromis ou "de sécurité", qui permet de conserver une marge de manœuvre tout en maintenant une distance suffisante avec le véhicule opposé.

La figure suivante illustre ainsi la trajectoire idéale à privilégier en présence d'un autre usager sur la route. Elle vise à garantir un passage fluide, sans empiétement sur la voie opposée, tout en maintenant une bonne stabilité du deux-roues dans la courbe. Ce type d'ajustement est essentiel pour réduire les risques de collision frontale, notamment dans les virages à visibilité réduite.

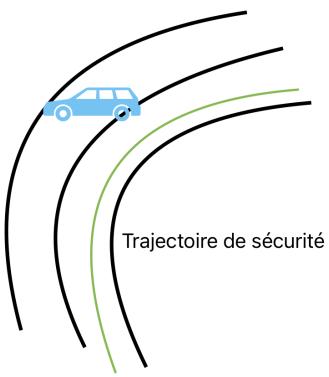


FIGURE 25 – Trajectoire de sécurité utilisée avec un autre usager

Instinctivement, le motard va se rapprocher à l'extérieur du virage pour s'éloigner du danger représenté en bleu par la voiture. Pour poursuivre cette démonstration, nous allons y ajouter d'autres dangers sur la route représentés par des objets en bleu rendant l'impossibilité de prendre une trajectoire "parfaite". Dans la vie courante, cela peut représenter des gravillons, un animal mort sur la route, des plaques d'égout, des nids de poule, des bandes d'étanchéité (mastics), etc. Ces éléments font perdre de suite l'adhérence des pneus et peuvent entraîner une chute.

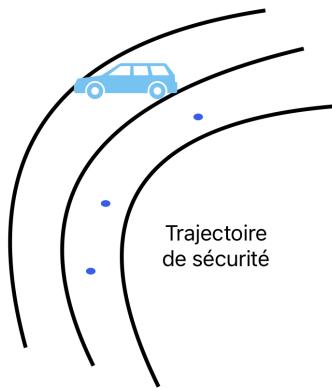


FIGURE 26 – Autre configuration de la route avec plusieurs autres dangers

Ajoutons maintenant la trajectoire idéale à la situation permettant de garder l'adhérence des pneus :

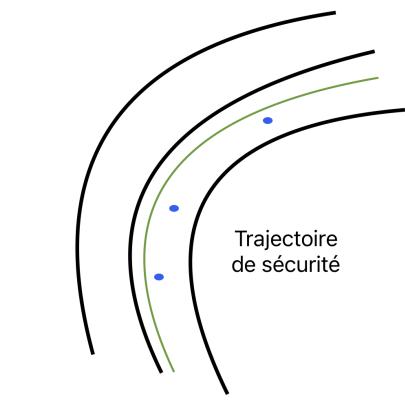
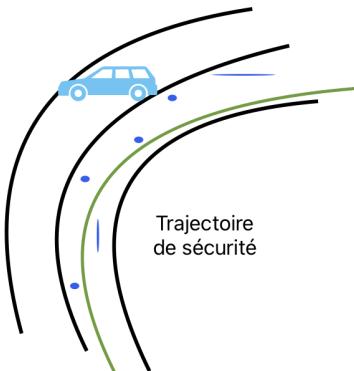
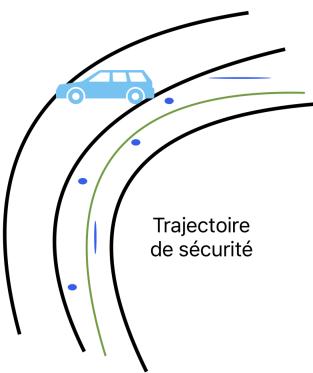


FIGURE 27 – Trajectoire de sécurité utilisée avec des dangers sur la route

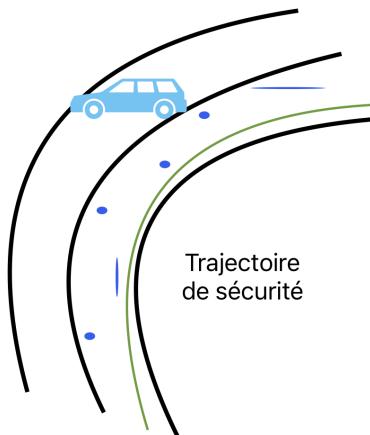
Cette trajectoire améliore l'adhérence des pneus, mais elle présente un risque important en cas de danger venant en sens inverse. Si un véhicule surgit en face, le motard dispose de très peu de temps pour réagir ou se décaler, ce qui peut entraîner un accident. Il est donc essentiel d'adapter sa trajectoire en fonction de plusieurs éléments : l'état de la route, la visibilité et la présence d'autres usagers. La vitesse joue également un rôle déterminant : plus la moto roule vite, plus il devient difficile de corriger la trajectoire à temps. Voici ci-dessous plusieurs exemples de trajectoires, chacune présentant ses avantages et ses limites.



(a) Trajectoire possible 1



(b) Trajectoire possible 2



(c) Trajectoire possible 3

FIGURE 28 – Autres exemples de trajectoires de sécurité

Annalysons et commentons ces trajectoires :

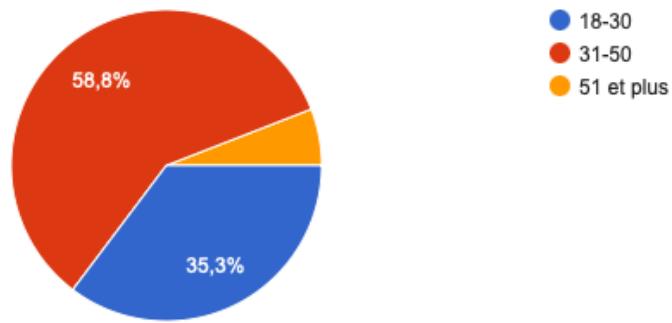
- Trajectoire 1 : C'est la plus sécurisante. Elle permet de s'éloigner efficacement du véhicule venant en sens inverse. Toutefois, si la vitesse est trop élevée, il sera difficile de revenir à l'intérieur du virage, comme le montre la trajectoire en vert.
- Trajectoire 2 : Elle est plus risquée, car elle place le motard plus près du danger potentiel. Même si la courbe semble fluide et permet une prise de virage à vitesse plus élevée, elle réduit la marge de manœuvre en cas d'imprévu.
- Trajectoire 3 : Elle représente un bon compromis, car elle maintient une certaine distance avec les véhicules en face. Cependant, rester trop proche du bas-côté peut s'avérer dangereux, notamment en cas d'obstacle imprévu (dégradation de la chaussée, présence d'un animal, etc.). La visibilité y est également plus restreinte, ce qui peut compromettre l'anticipation, l'analyse du virage.

Pour conclure sur ces schémas, il existe de nombreuses trajectoires possibles, mais peu sont réellement adaptées aux spécificités de la conduite moto. Certaines sont plus risquées que d'autres, et l'expérience du pilote joue un rôle clé dans le choix et la gestion de la trajectoire. Cela met en

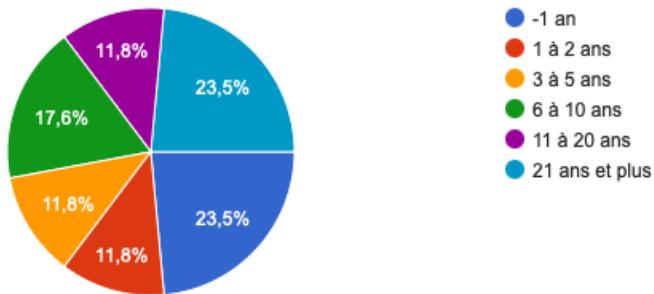
évidence à quel point cette phase de conduite est exigeante et complexe et combien de facteurs doivent être pris en compte pour envisager une assistance efficace.

### 5.1.2 Enquête auprès de motards - Recueil de ressentiment

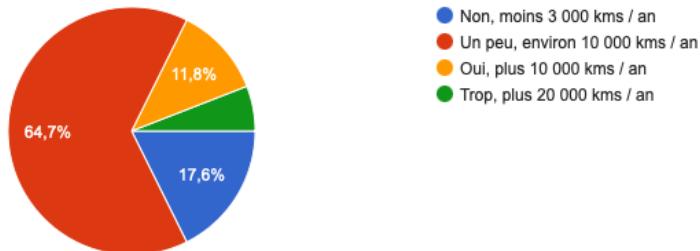
**[À faire: ajout des réponses d'une enquête partagé sur les réseaux, expériences etc...]** J'ai réalisé une enquête dans différents groupes de motards sur les réseaux sociaux afin de récupérer leur ressentiment. Il est très important pour comprendre la problématique de s'interessé à l'interessé. Cela m'a permis de mieux comprendre leurs besoins, leurs attendus afin d'avoir un oeil beaucoup plus objectif de ce que moi je peux vivre, ressentir. L'échantillon est composé d'une petite vingtaine de personnes avec 58,8 % d'hommes contre 41,2 % de femmes. Voici les différents profils des participants :



(a) Age des participants



(b) Nombre d'années de permis



(c) Nombre de kms à l'année



(d) Utilisation de la moto

FIGURE 29 – Profils des participants

Pour conclure, lors de cette enquête, il y a tous types de motards. Beaucoup roulent moins de 3 000 kms/an ce qui est très peu. C'est moins d'expérience sur la route.

**[À faire: ajout bilan des retours de l'enquête]** Lors de mon enquête, la plupart des usagers possèdent des deux-roues roadster comme des 400 cc à 600 cc. On retrouve des Honda, Kawasaki,

Aprillia, KTM et Yamaha. Ce sont des motos qui sont inférieures à 10 000 euros. Pour les voyages, ou bien les voyages dans les Alpes, j'ai pu apercevoir une majorité de motards qui roulent en GS<sup>11</sup>. J'estime entre environ 50 et 70% des motos rencontrées dans les Alpes (Suisse, Italie et France) sont des GS.

Voici quelques retours d'expérience des motards en situation d'urgence selon l'enquête :

- "Proche d'un rond-point, j'ai mal évalué la distance. Donc je suis arrivée trop vite, j'étais déjà dans l'insertion sur le rond-point et j'ai failli terminer dans un véhicule. Contrainte d'effectuer un freinage d'urgence et de me mettre le plus à l'extérieur pour éviter la catastrophe."
- "La voiture de La Poste stationnée en plein virage en sens inverse, empiétant sur ma voie. Sur une route à 50 km/h en agglomération. J'ai dû pratiquer l'évitement pour ne pas me prendre le véhicule."
- "Ma roue s'est coincée dans un rail de tram .."
- "J'ai pris un trou (pas visible avant d'être dedans) sur une nationale, ce qui m'a fait guidonner, impossible à rattraper donc la moto a fini par se coucher et une belle glissade pour finir."
- "Évitement de personne qui tourne sans avoir mis de clignotant. Classique."

Pour la fin de l'étude, j'ai demandé aux participants quelles sont leurs attentes concernant les technologies IoT sur les motos. Certains ne souhaitent pas de technologie IoT, car ils estiment que cela peut nuire à la conduite et à la sensation de liberté. D'autres sont favorables à l'intégration de technologies IoT. Par exemple, un assistant virtuel qui indiquerait au pilote les dangers potentiels sur la route (chaussée dégradée, virage dangereux, gravillon...). Les autres retours sont des technologies qui sont déjà présentes sur les motos du marché comme l'ABS, le contrôle de traction, l'anti-patinage, etc. Cependant, d'après certains motards, il faut mettre ces éléments de série et non en option comme l'appel d'urgence.

Le véritable défi réside dans la capacité à adapter la trajectoire en temps réel, en fonction d'un ensemble de paramètres dynamiques et interdépendants. Cette adaptation ne dépend pas uniquement de la courbure de la route, mais également de nombreux vecteurs qui rendent la situation complexe à modéliser et à anticiper. Parmi ces vecteurs, on peut citer :

- La vitesse instantanée du véhicule, qui influence directement la trajectoire possible et le temps de réaction du conducteur ;
- L'angle d'inclinaison de la moto, déterminant l'équilibre et l'adhérence lors de la prise de virage ;
- L'état de la chaussée, incluant l'adhérence, les irrégularités, les débris ou l'humidité ;
- Les conditions météorologiques, telles que la pluie, le vent, la chaleur ou le brouillard, qui impactent à la fois la visibilité et la tenue de route ;
- La présence et le comportement des autres usagers, qu'il s'agisse de véhicules motorisés, de cyclistes ou de piétons ;
- La géométrie de la route, incluant la largeur, le dénivelé, les virages successifs ou les intersections.

Dans ce contexte complexe, les technologies IoT (Internet of Things) peuvent jouer un rôle central.

---

11. Gelände/Straße : tout-terrain/route. C'est une moto conçue pour être à la fois confortable sur route et capable de rouler sur des chemins non goudronnés. Premiers prix : 12 000 euros, haut de gamme : environ 30 000 euros.

En fournissant des données en temps réel sur l'environnement routier, elles permettent de mieux analyser la situation et de faciliter la prise de décision. Par exemple, une communication entre véhicules pourrait alerter un motard d'un freinage brusque à venir, ou un capteur pourrait ajuster une recommandation de trajectoire en fonction de l'adhérence mesurée sur la route.

Il est important de rappeler que, malgré les apports technologiques, la trajectoire la plus appropriée reste celle dans laquelle le motard se sent en sécurité. Elle dépend fortement de son expérience, de ses réflexes, de sa confiance en lui et de sa connaissance de la route. Il n'existe donc pas une seule "bonne" trajectoire, mais une pluralité d'options, à ajuster en fonction du contexte, des données disponibles et des capacités du pilote.

### 5.1.3 Défi passion

Le plaisir de conduire une moto réside dans la sensation de liberté qu'elle procure. Cependant, cette liberté s'accompagne de responsabilités, notamment en matière de sécurité. Les technologies IoT peuvent contribuer à améliorer cette sécurité tout en préservant le plaisir de conduite. "Passionné auto moto depuis mon plus jeune âge, j'aime rouler souvent seul, mais j'aime me sentir libre et pouvoir aller où je veux et quand je veux, la moto, c'est indescriptible et c'est comme une drogue, mais c'est la passion." selon un retour de l'enquête.

Adapter l'IOT représente un défis car il faut prendre en compte de nombreux paramètres (environnement, comportement des usagers, etc.) et s'assurer que les solutions proposées sont adaptées à chaque situation.

## 5.2 Étude critique des technologies IoT existantes (voitures vs motos)

[Commentaire:

avec un regard critique et des cas concrets.

Analyse de cas réels où les technologies IoT ont été adaptées à la moto (Airbags connectés, gilets intelligents, casques IoT, etc.).

Freins techniques : taille réduite, alimentation électrique, exposition météo, vibrations, etc.

lidar et radar ?

]

[À faire: à relire]

### 5.2.1 Exemples d'IoT adaptés et développé pour la moto

Plusieurs dispositifs connectés ont été développés spécifiquement pour les motards ces dernières années. Voici quelques exemples :

- Airbags connectés (ex. : Dainese Smart Jacket, In&motion avec Ixon) : Ces gilets intelligents détectent les mouvements anormaux (chute, décélération brutale) via accéléromètres et gyroscopes, et déclenchent un coussin gonflable. L'algorithme est souvent connecté à une plateforme cloud qui analyse les données de milliers d'utilisateurs pour améliorer la détection.
- Casques connectés (ex. : CrossHelmet, Shoei IT-HT, Livall) : Ils embarquent caméras arrière, GPS, commandes vocales, HUD (affichage tête haute), et parfois même des alertes de proximité de véhicules. Certains permettent la communication entre motards via Bluetooth ou 4G.
- Systèmes d'aide à la navigation : Solutions telles que Beeline Moto ou TomTom Rider offrent une navigation simplifiée pensée pour les deux-roues, avec une interface minimalistique et résistante aux intempéries.

Ces exemples montrent que l'écosystème IoT dédié à la moto commence à s'étoffer mais reste bien moins développé que celui des voitures. Il serait pertinent d'évaluer l'impact réel de ces technologies sur la sécurité. Des données chiffrées, comme la réduction du taux de blessures graves grâce aux airbags intelligents, permettraient d'objectiver les bénéfices et de dépasser le simple argument technologique. La question de l'accessibilité mérite également d'être abordée. Le coût des équipements, souvent élevé (un casque connecté peut coûter entre 500 et 1500 euros), constitue un frein pour de nombreux utilisateurs. La complexité d'installation ou de mise à jour des systèmes peut aussi limiter leur adoption.

### 5.2.2 Les radars

Aujourd'hui, de nombreuses motos sont équipées de technologies directement issues de l'industrie automobile, telles que l'ABS (système antibloquage des roues), la détection d'angle mort ou encore le régulateur de vitesse adaptatif. Ces dispositifs ont été progressivement adaptés pour répondre aux contraintes spécifiques des deux-roues, en tenant compte des enjeux liés à l'équilibre, à la maniabilité et à la sécurité du motard. Après avoir expérimenté ces technologies, les retours des utilisateurs sont globalement très positifs. Ils mettent notamment en avant le gain en confort, particulièrement sur les longs trajets ou dans les conditions difficiles. Le régulateur adaptatif, par exemple, réduit significativement la fatigue en ajustant automatiquement la vitesse en fonction du véhicule qui

précède. La détection d'angle mort accroît quant à elle la vigilance du conducteur, permettant une meilleure anticipation des dangers et réduisant ainsi les risques de collision.

L'intégration de ces technologies améliore non seulement l'expérience de conduite, mais contribue également de manière concrète à la sécurité routière. Moins sollicités sur des tâches répétitives, les motards conservent une meilleure concentration et sont donc moins exposés aux erreurs liées à la fatigue ou à l'inattention. Ces progrès montrent clairement l'intérêt de continuer à développer et à adapter des technologies automobiles avancées aux besoins spécifiques des utilisateurs de deux-roues motorisés.

**[À faire: relecture]** Les radars sont aujourd'hui intégrés aux modèles les plus récents de motos et remplissent efficacement leur fonction. Comme mentionné précédemment, la détection des éléments présents sur la route joue un rôle essentiel dans la sécurité du motard, tout comme les actions automatisées ou assistées qui en découlent. Ces technologies permettent notamment d'anticiper certains dangers, d'éviter des collisions ou de réguler la vitesse en fonction de l'environnement immédiat.

Cependant, les radars présentent certaines limites. Leur capacité à différencier les types d'objets ou à analyser finement l'environnement reste restreinte. C'est dans ce contexte que l'utilisation du LiDAR (Light Detection and Ranging) s'avère particulièrement intéressante. Cette technologie repose sur l'émission de faisceaux laser pour mesurer avec grande précision les distances et modéliser l'environnement en trois dimensions. Elle est très performante pour la cartographie 3D et la classification des objets, ce qui en fait un atout majeur dans les systèmes d'aide à la conduite avancés.

Néanmoins, le LiDAR n'est pas sans contraintes. Il reste très sensible aux conditions météorologiques défavorables telles que la pluie, le brouillard ou la neige, qui peuvent altérer la qualité des données recueillies. De plus, son intégration sur une moto pose plusieurs défis pratiques. La taille et le poids des capteurs peuvent affecter la maniabilité, l'esthétique et l'ergonomie de la moto. Sans compter le coût : en 2020, selon PW Consulting[11], un capteur LiDAR compact se situait entre 3 000 et 10 000 euros — un prix difficilement envisageable pour la majorité des motards.

Heureusement, les coûts tendent à diminuer avec l'évolution du marché et la démocratisation de cette technologie. Aujourd'hui, il est possible de se procurer un capteur LiDAR pour un montant compris entre 500 et 2 000 euros, en fonction des gammes et des performances souhaitées. Cela ouvre de nouvelles perspectives pour une intégration progressive sur les deux-roues, à condition que les autres contraintes techniques soient également maîtrisées.

Les prototypes :

Éléments	Prix
Capteurs LIDAR	500 à 2 000 euros
Traitement embarqués	300 à 1 500 euros
Interfaces et boîtier durci	100 à 400 euros
Intégration et calibration	200 à 1 000 euros
Total estimation	1 100 à 5 900 euros

TABLE 1 – Prix moyen estimé pour la technologie LIDAR sur moto (2025)

Prenons les coûts moyens d'un deux roues :

Catégorie	Cylindrée	Prix moyen (TTC, €)
Scooter	50–125 cm <sup>3</sup>	2 000 – 4 500 euros
Moto légère	125 cm <sup>3</sup>	3 500 – 5 000 euros
Moto moyenne cylindrée	300–650 cm <sup>3</sup>	6 000 – 9 000 euros
Moto grosse cylindrée	700–1 000+ cm <sup>3</sup>	10 000 – 18 000 euros
Moto sportive haut de gamme	1 000+ cm <sup>3</sup>	18 000 – 30 000 euros
Moto électrique	équiv. 50–125 cm <sup>3</sup>	4 000 – 12 000 euros
<b>Prix moyen toutes catégories</b>		<b>7 000 – 9 000 euros</b>

TABLE 2 – Prix moyen estimé des deux-roues neufs en 2025 (France/Europe) par The Market Reports

### 5.2.3 Freins techniques à l'adoption des technologies IoT sur moto

Contrainte Impact sur les technologies IoT Taille réduite Moins d'espace pour intégrer des capteurs, antennes, processeurs ou batteries. Alimentation électrique limitée Les motos ont moins de réserve électrique. Chaque dispositif doit être très économique. Exposition aux intempéries La pluie, le soleil, la poussière imposent une étanchéité totale (norme IP67 minimum). Vibrations intenses Les capteurs doivent être fixés solidement, et les composants doivent résister aux chocs et aux variations de température. Position de conduite L'affichage tête haute ou l'utilisation d'écrans doit être ergonomiquement adapté pour ne pas nuire à la concentration. De plus, la complexité d'intégrer des technologies sans modifier l'équilibre ou l'esthétique du deux-roues rend les innovations plus délicates à généraliser.

### 5.2.4 Analyse comparative voitures vs motos

TABLE 3 – Analyse comparative des technologies IoT entre voitures et motos

Critère	Voiture	Moto
<b>Espace disponible</b>	Suffisant pour intégrer de nombreux composants électroniques (capteurs, unités de calcul, caméras, etc.)	Très limité, surtout sur les modèles sportifs ou compacts. Intégration plus contraignante.
<b>Alimentation électrique</b>	Batterie de forte capacité alimentant l'ensemble des systèmes embarqués	Batterie plus petite, nécessitant des dispositifs peu gourmands en énergie
<b>Protection matérielle</b>	Composants protégés dans un habi-tacle fermé	Composants exposés aux intempé-ries, aux vibrations, à la poussière et aux variations thermiques
<b>Sécurité passive</b>	Ceintures, airbags frontaux et laté-raux, zones de déformation	Gilet airbag externe, protections mé-caniques personnelles (casque, dor-sale)
<b>Ergonomie d'affichage</b>	Écrans tactiles, affichage tête haute (HUD), commandes vocales	Affichage minimaliste via smart-phone, casque connecté, ou retour haptique/sonore
<b>Maturité des technologies IoT</b>	Très avancée (ADAS, V2X, LIDAR, conduite autonome partielle)	Émergente, avec développement ré-cent des casques connectés, gilets in-telligents et radars adaptatifs

### 5.2.5 Pistes pour intégrer l'IoT dans les deux-roues

Pour surmonter les limites actuelles, plusieurs pistes peuvent être envisagées : Miniaturisation : développer des capteurs IoT plus petits et moins gourmands, spécifiques aux motos. Énergie autonome : utiliser des solutions rechargeables ou solaires intégrées aux équipements (casque, gilet). Normes de résistance : généraliser des composants certifiés IP67 ou supérieurs. Interface modulaire : privilégier des alertes visuelles/sensorielles simples (LED, vibration, son), modulables par l'utilisateur. Systèmes d'analyse distribués : partager les calculs entre un smartphone, un capteur embarqué et le cloud pour alléger la charge locale.

Pour conclure, la technologie LIDAR peut représenter à elle seule entre 12% et 84% du prix d'un deux-roues neuf mais le pourcentage reste moindre pour des voitures haut de gamme avoisinant les 50 000 euros. Cela reste très élevé pour un motard, surtout si l'on considère que la majorité des motards ne changent pas de moto tous les ans. De plus, il faut prendre en compte le coût de l'assurance, de l'entretien, du carburant, etc. Il est donc essentiel de trouver un équilibre entre sécurité et coût pour rendre ces technologies accessibles à tous les motards.

Concernant les autres technologies que peuvent proposer les autres marques, elles sont très pertinentes car elles sont destinées pour la sécurité des deux-roues et parfois élaborées par des motards eux-mêmes. Je pense à Géoride par exemple, qui est une application complète.

Ce qui peut être intéressant est d'avoir une interopérabilité entre les différents systèmes IoT. Prenons l'exemple de Géoride qui a un système de détection de chute, des motos peuvent l'avoir également ainsi que l'intercom Cardo. Cela permettrait d'éviter trois appels.

[À faire: Critique IoT technologie et la spécificité des deux roues]

## 5.3 Proposition d'adaptation technologique

[Commentaire:

- Systèmes de communication V2X (Vehicle-to-Everything) pour motos : miniaturisation, portabilité, est ce que cela est possible ? les conditions.
- Capteurs embarqués sur la moto et sur le pilote (gilet, casque, smartphone).
- Intégration d'IA pour la détection du risque en temps réel : freinage d'urgence, angle d'inclinaison, anticipation de collision. => à voir
- Systèmes d'alerte connectés avec autres usagers (voitures, infrastructures).
- Possibilité d'un écosystème IoT dédié aux motos, interopérable avec celui des voitures. => à voir si ça existe déjà
- modélisation d'un tableau de bord connecté pour moto, avec des capteurs et des alertes en temps réel.

]

[À faire: parler également de l'accélération]

Pour pouvoir proposer de nouvelles fonctionnalités de prévention, il faut optimiser le tableau de bord. Il faut créer des logos communs à tous pour avoir le même langage.

[À faire: ajout d'un tableau de bord connecté avec des capteurs et des alertes en temps réel.] L'idée serait d'intégrer dans les motos une puce GPS qui serait capable d'avertir en cas de virage dangereux. L'alerte (sonore via un intercom et voyant au tableau de bord) serait envoyée via le tableau de bord connecté si la vitesse est supérieure à la vitesse recommandée. Cette vitesse sera calculée via la valeur de la courbure du virage. Des chercheurs Alex Liniger et Simon Hecker

ont développé un prototype , Aegis Rider AG[24] permettant de prendre la meilleure trajectoire. Cependant, ce dernier ne prend pas en compte les autres facteurs de la route (autres usagers, état de la chaussée, etc.). Comme démontré ci-dessous, la trace bleue indiquant la trajectoire de sécurité et le compteur de vitesse masquent la qualité de la route par conséquent, le motard ne pourra pas anticiper les dangers de la route (gravillon, trous, ....). À l'heure d'aujourd'hui, cette solution reste extrêmement complexe. Ma solution permettra de fonctionner dans la pluspart des cas.



FIGURE 30 – Prototype Aegis Rider AG pour la détection de virages dangereux.

Cette fonctionnalité est très intéressante mais elle empêche une bonne visibilité de la surface de la route et elle peut fausser une prise de décision. Comme illustré dans la Figure 27, le processus ne pourra pas adapter sur des virages dit "imparfaits".

#### 5.3.1 Programme d'alerte de virages

Le programme permet de savoir si la vitesse à l'instant  $t$  est trop rapide pour le virage. Je me base sur la valeur de la courbure.

Voici le diagramme d'action de cette fonctionnalité :

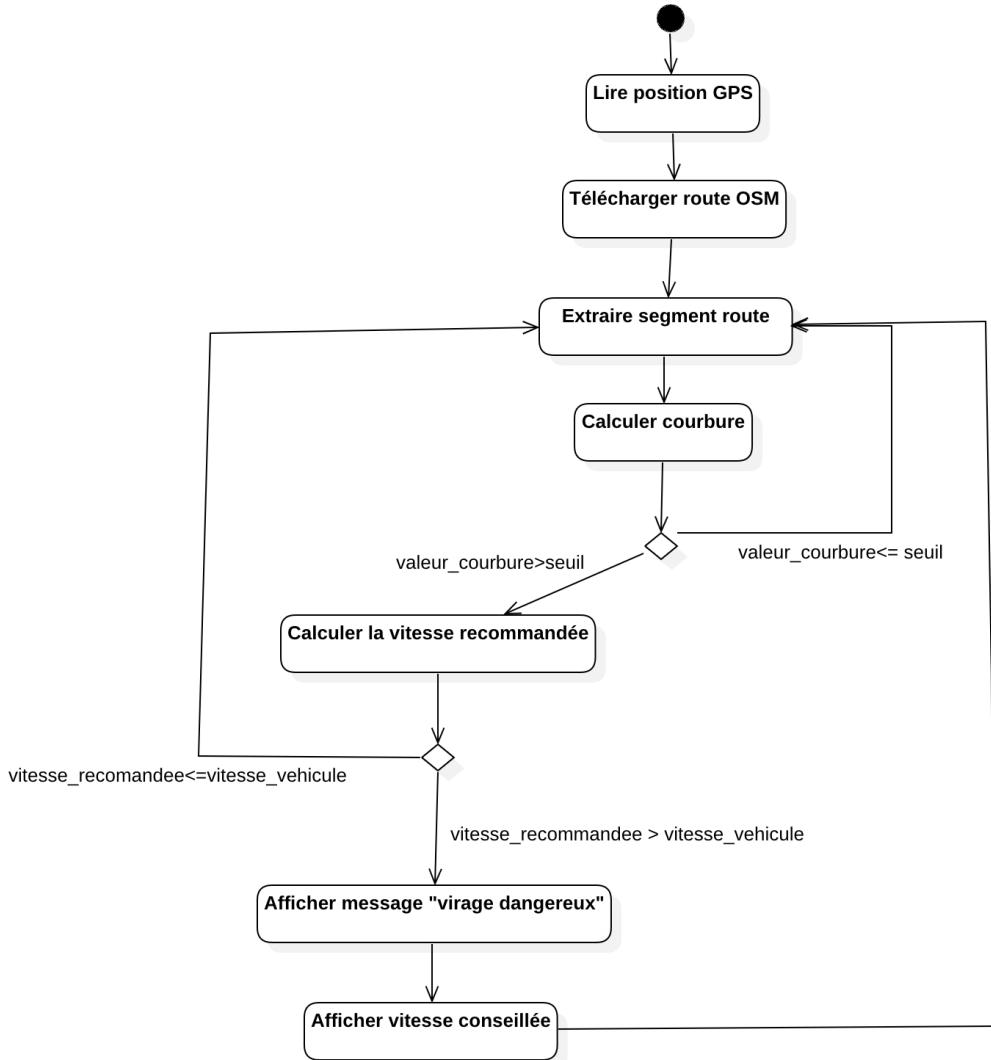


FIGURE 31 – Diagramme d'action du Système de prévention de virages dangereux

Pour réaliser un bout de code sur cette fonctionnalité, j'ai décidé d'utiliser ces bibliothèques :

- osmnx[27] : permet d'interroger OSM (OpenStreetMap) et de récupérer des graphes routiers.
- geodesic (de geopy [1]) : mesure la distance réelle (en mètres) entre 2 points GPS.

Il faut convertir le graphe routier G (au format NetworkX) en un GeoDataFrame (via GeoPandas), pour pouvoir manipuler les tronçons de route comme des objets géographiques (segments, courbes...). Cette partie est importante pour les calculs.

```
edges = ox.graph_to_gdfs(G, nodes=False)
```

Listing 1 – Conversion du graphe routier

Avec :

- G : le graphe routier obtenu via `ox.graph_from_point` qui contient des nœuds (c'est-à-dire les intersections) et des arêtes qui représentent les routes.
- nodes=False : car je ne prends que les arêtes (edges), c'est-à-dire les segments de route.

Je n'ai pas besoin pour mon programme de tous les noeuds (par exemple une intersection à plusieurs routes, un arrefour, un croisement...)du réseau. Il peut être intéressant pour calculer un plus court chemin. De plus, cela risquerait de sur-charger les données.

L'intérêt de calculer la courbure de la courbe est de pouvoir anticiper le virage et par conséquent, adapter la vitesse pour optimiser l'adhérence, la trajectoire où l'on se sentira le plus en sécurité. Le calcul de la courbure permettra d'identifier un virage s'il est dangereux à partir de données GPS cartographiques pour enfin adapter le comportement du système embarqué (alerte, adaptation de trajectoire, assistance...). Donc la courbure mesure à quel point une route peut changer de direction sur une courte distance, ici, dans un virage.

Une route droite a une courbure environ égale à 0. Une route qui tourne fort (virage serré) a une courbure élevée.

Route	Rayon du virage	Courbure (simplifiée)	Risque
ligne droite	infini	0	faible
Virage large autoroute	500 m	Faible (0.01)	faible
Virage serré en montagne	30 m	Forte (0.1–0.2)	Élevé

TABLE 4 – Exemple en pratique

Un virage serré avec une courbure  $> 0.1$  est souvent dangereux à  $+60$  km/h, surtout à moto. Plusieurs études indiquent que les rayons  $< 50$  m sont classés comme virages dangereux pour les motos. À plus de 60 km/h, une moto doit pencher à plus de  $35^\circ$  à  $40^\circ$  dans le virage ce qui augmente énormément le risque de chute, surtout s'il y a du gravier, pluie, vent latéral... L'estimation "courbure  $> 0.1 = \text{danger } > 60$  km/h" est une règle empirique, basée sur des données de sécurité moto reconnues, des normes d'ingénierie routière et des approximations géométriques issues de GPS.

L'avantage d'avoir un calcul automatique et en amont, cela permet de prévenir avant même d'être dans le virage. Il peut remplacer un panneau quand celui-ci n'est pas visible. Elle ne remplace pas une analyse dynamique complète mais elle est suffisante pour alerter automatiquement le pilote ce qui est exactement l'objectif du système.

Je commence par créer 3 points, p1, p2 et p3, notés respectivement A, B et C sur la Figure 32, à partir des premières coordonnées GPS `position_actuelle`. Ces trois points forment un triangle géographique.

```
p1, p2, p3 = coords[mid - 1], coords[mid], coords[mid + 1]
a = geodesic(p1, p2).meters
b = geodesic(p2, p3).meters
c = geodesic(p1, p3).meters
```

Listing 2 – Calcul de points

**[À faire: reformuler]** Pour pouvoir analyser la courbure d'un virage situé à proximité immédiate du véhicule, il est essentiel de déterminer avec précision quel segment de route (tronçon) est le plus proche de la position GPS actuelle. Pour cela, le code suivant a été utilisé :

```
point_actuel = Point(position_actuelle[1], position_actuelle[0]) # (
    longitude, latitude)
edges["distance"] = edges.geometry.distance(point_actuel)
segment_proche = edges.loc[edges["distance"].idxmin()]
```

---

### Listing 3 – Calcul de points

1. Création d'un point géométrique : La position actuelle, exprimée sous la forme (latitude, longitude), est convertie en un objet géométrique Point (au format (longitude, latitude)), comme attendu par la bibliothèque shapely). Ce point représente la localisation du véhicule dans l'espace. 2. Calcul des distances aux segments de route : La variable edges contient l'ensemble des segments de route extraits depuis OpenStreetMap, représentés sous forme de lignes géométriques (LineString). Pour chacun de ces segments, on calcule la distance entre sa géométrie et la position actuelle du véhicule à l'aide de la méthode .distance(). Ce calcul est réalisé sur l'ensemble du GeoDataFrame, et les distances obtenues sont stockées dans une nouvelle colonne nommée "distance". 3. Identification du segment le plus proche : Grâce à la méthode .idxmin(), on récupère l'indice du segment présentant la plus petite distance au point courant. Ce segment est ensuite extrait via .loc[]. Il s'agit donc du segment de route le plus proche du véhicule à l'instant T.

Cette opération est cruciale, car elle permet de concentrer les analyses (détection de virage, estimation de courbure, adaptation de la vitesse, etc.) sur la portion de route réellement pertinente dans le contexte de conduite.

#### Calcul de la courbure

Courbure mathématique[2] d'un virage :

$$courbure\_virage = \kappa = \frac{1}{R}$$

où R est le rayon du virage

Forme simplifiée de la courbure basée sur la déviation par rapport à une ligne droite.

a, b et c sont trois points dans la courbe.

$$courbure = \left| \frac{a + b - c}{a + b} \right|$$

a + b = distance réelle parcourue en suivant la route

c = distance directe entre le début et la fin (comme si on traçait une corde)

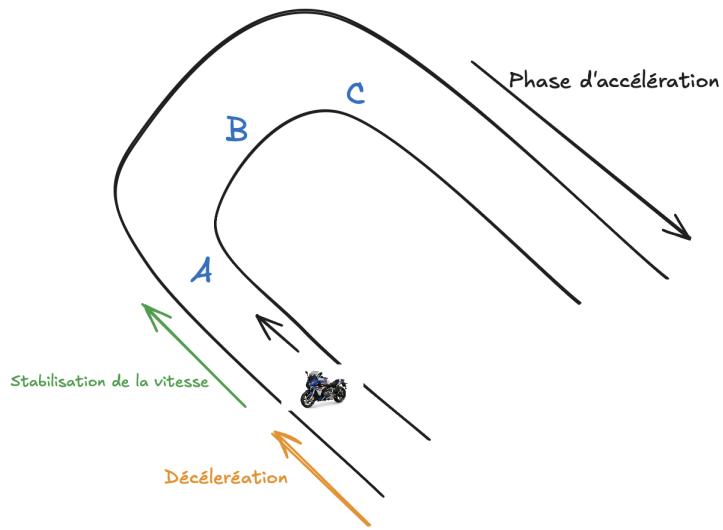


FIGURE 32 – Schéma présentant une moto avant un virage

La vitesse recommandée se calcule grâce à la courbure. Pour calculer la vitesse recommandée, conseillée, deux solutions s'offraient à moi. La première :

#### Vitesse recommandée

Calcul de la vitesse recommandée :

$$vitesse_{recommandée} = \max(20, 80 - \text{courbure} \times 200)$$

Le "20" permet d'éviter une vitesse trop basse. Ici, on la limite à 20 km/h.

En dessous de 20km/h, il y a peu d'intérêt. Même les plus grosses épingle peuvent se prendre à 20km/h. À cette vitesse, il n'y a pas d'effet gyroscopique<sup>12</sup>. Cependant, j'ai plutôt choisi de m'orienter sur des conditions simples pour catégoriser l'intensité du virage pour y associer une vitesse "maximale" qui peut être utilisée sans danger.

Voici comment j'ai classé la valeur de la courbure en fonction de la vitesse idéale :

- < 0.0005 → ligne droite → 80 km/h
- de 0.0005 à 0.002 → léger virage → 60 km/h
- >= 0.002 → virage serré → 30 km/h

Le fait de catégoriser la valeur de la courbure, cela permet facilement d'y associer une vitesse.

C'est une stratégie qui propose une solution plus globale en diminuant les erreurs en tests. Après avoir essayé plusieurs points GPS et analysé les virages, c'est pour moi la solution qui me convient le mieux à l'heure actuelle.

12. C'est la capacité (tendance) d'un corps en rotation à maintenir une direction constante de son axe de rotation selon le Larousse.

Ci-dessous le code qui permet de récupérer une localisation GPS (latitude, longitude), qui calcule la valeur de la courbure pour après estimer une vitesse de sécurité.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import osmnx as ox
from geopy.distance import geodesic
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from shapely.geometry import Point
import math

# Exemple de simulation de positions GPS (latitude, longitude) pour le test
# sucession de virages
position_actuelle = (48.385171, 2.563108)
# ligne droite
#position_actuelle = (48.514114, 2.320894)
#position_actuelle = (48.380441, 2.565690)
# virage serré
#position_actuelle = (48.371103, 2.560765)
# virage moyen
#position_actuelle = (48.358995, 2.534561)
# autoroute
#position_actuelle = (48.335448, 2.595849)

# Vitesse actuelle du véhicule
vitesse_vehicule = 90

# Rayon de recherche autour de la position_actuelle (en mètres)
rayon_recherche = 1000

# Chargement du réseau routier
G = ox.graph_from_point(position_actuelle, dist=rayon_recherche,
    network_type='all')

# Conversion
edges = ox.graph_to_gdfs(G, nodes=False)

# Calcul de la courbure
def compute_curvature(geometry):

    coords = list(geometry.coords)

    # contrôle des petits segments
    if geodesic(coords[0], coords[-1]).meters < 50:
        return 0

    if len(coords) < 3:
        return 0
```

```

mid = len(coords) // 2
if mid - 1 < 0 or mid + 1 >= len(coords):
    return 0

p1, p2, p3 = coords[mid-1], coords[mid], coords[mid+1]
a = geodesic(p1, p2).meters
b = geodesic(p2, p3).meters
c = geodesic(p1, p3).meters
if a + b == 0:
    return 0

# formule de la courbure
courbure = abs((a + b - c) / (a + b))

# affichage
print("Courbure\u00e9calcul\u00e9formule:", courbure)
print("Position\u00e9actuelle:", position_actuelle)
print("p1:", p1)
print("p2:", p2)
print("p3:", p3)

return courbure

# Trouver le segment le plus proche de la position actuelle
point_actuel = Point(position_actuelle[1], position_actuelle[0]) # (lon,
                     lat)
edges["distance"] = edges.geometry.distance(point_actuel)
segment_proche = edges.loc[edges["distance"].idxmin()]

# Calcul de la courbure du segment
courbure = compute_curvature(segment_proche.geometry)

# evaluer la vitesse conseillée

#vitesse_recommandee = 60 * math.exp(-300 * courbure) + 20

# vitesse recommandee
def vitesse_recommandee(courbure):
    if courbure < 0.0005:
        return 80 # Ligne droite
    elif courbure < 0.002:
        return 60 # Leger virage
    else:
        return 30 # Virage serre
vitesse_conseillée = vitesse_recommandee(courbure)

# affichage des resultats

```

```

print("==== Analyse du segment actuel ===")
print(f"Courbure estimée : {courbure:.4f}")
print(f"Vitesse actuelle : {vitesse_vehicule} km/h")
print(f"Vitesse conseillée : {vitesse_conseillée} km/h")

if courbure < 0.0005:
    print("Ligne droite")
elif courbure < 0.002:
    print("Léger virage")
    if vitesse_vehicule > vitesse_conseillée:
        print("[ALERTE] Vous êtes dans un léger virage, ajustez votre vitesse.")
    else:
        print("[INFO] Vitesse correcte dans le virage.")
else:
    print("Virage serré")
    if vitesse_vehicule > vitesse_conseillée:
        print("[ALERTE] Vous êtes dans un virage serré, ralentissez !")
    else:
        print("[INFO] Vitesse adaptée au virage.")

#visualisation
edges.plot(figsize=(10, 10))
plt.scatter(*position_actuelle[::-1], color='red', label='Position actuelle')
plt.title("Réseau routier analysé")
plt.legend()
plt.show()

```

### 5.3.2 Étude de cas

Contexte : Lors d'une balade dans le département de Seine-et-Marne (77), un motard circule sur une route départementale. Dans ce contexte, il est équipé d'un boîtier GPS capable de récupérer ses coordonnées en temps réel, ce qui permet de suivre précisément sa position sur le réseau routier. En progressant sur son itinéraire, il arrive à proximité d'un secteur bien connu des motards locaux : la portion dite des "17 virages", située près d'Arbonne-La-Forêt.

Cette série de virages successifs est réputée pour sa technicité et sa dangerosité. Plusieurs facteurs viennent complexifier la conduite sur cette portion : l'état de la chaussée est dégradé, la route est étroite, véhicules arrivant en face (voitures, motos, cyclistes, bus...) et l'adhérence est souvent insuffisante, notamment en cas d'humidité ou de feuilles au sol. À cela s'ajoute un virage particulièrement critique, en forme d'équerre, qui apparaît de manière assez soudaine au milieu de la série.

Dans ce type de situation, adopter une trajectoire de sécurité est vivement recommandé. Le pilotage doit être précis, fluide, et adapté aux conditions réelles. Par expérience, maintenir une vitesse proche de 70 km/h, bien que ce soit la limitation autorisée, représente déjà une allure

soutenue au vu de la complexité de la portion. Une bonne anticipation, une lecture fine de la route et une vitesse maîtrisée sont ici essentielles pour garantir la sécurité du motard.

Voici ci-dessous, une image satellite de l'endroit.

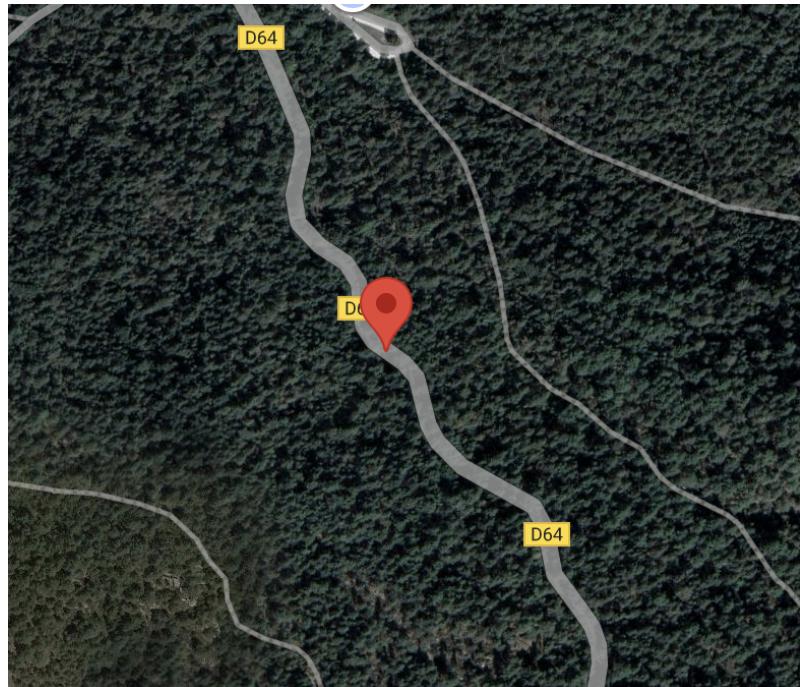


FIGURE 33 – Point GPS des 17 virages.

Les coordonnées GPS sont : 48.385171, 2.563108. Afin de s'assurer de l'exactitude et du bon débuggage, voici l'interprétation du réseau routier par le programme.

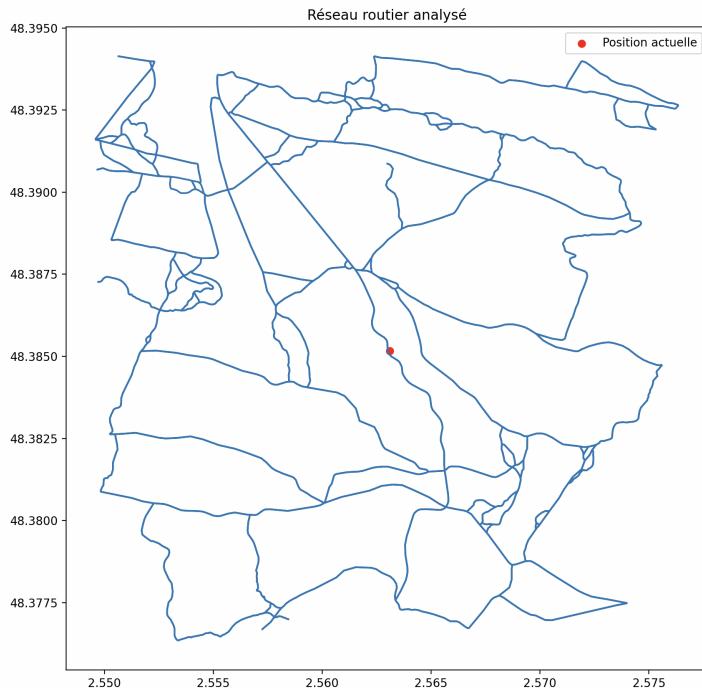


FIGURE 34 – Réseau routier interprété par le programme pour la position 48.385171, 2.563108.

Voici la carte issue du traceur Géoride, attestant que l'expérience a bien été réalisée.

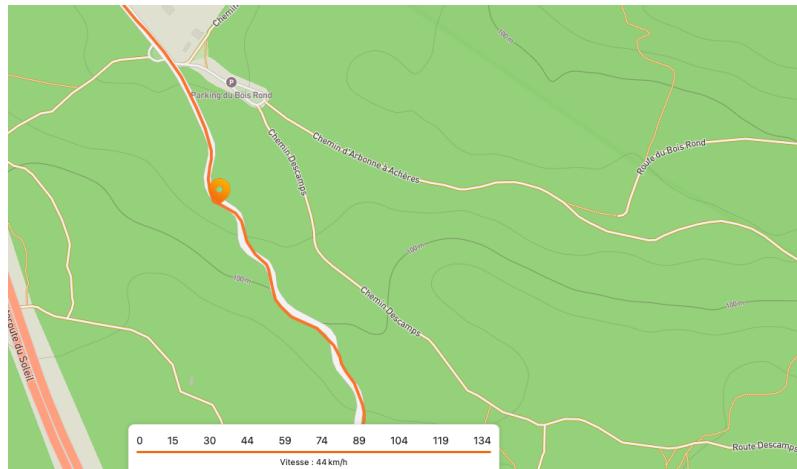


FIGURE 35 – Carte du traceur Géoride arrivant sur la position 48.385171, 2.563108.

Maintenant que nous disposons du point GPS de référence, il s'agit de définir les trois points nécessaires au calcul de la courbure : p1, p2 et p3. La carte ci-dessous illustre leur positionnement précis autour du point initial. À partir des coordonnées GPS obtenues — ici 48.385171, 2.563108 — notre programme génère automatiquement les trois points suivants :

- p1 : (48.3847394, 2.5636118)
- p2 : (48.3846809, 2.563653)
- p3 : ( 48.3845233, 2.56368)



FIGURE 36 – Placement des points p1, p2 et p3.

Ces trois points, espacés dans l'environnement par rapport à la (*position\_actuelle*), permettent d'évaluer localement la courbure de ce segment routier. Cette estimation est ensuite utilisée pour calculer une vitesse de passage adaptée en accord avec les critères de sécurité fixé dans le programme. On remarque qu'une certaine distance sépare la position actuelle (*position\_actuelle*) du point p1, ce qui permet une anticipation suffisante du virage à venir. Cette marge est essentielle pour que le motard ait le temps d'ajuster sa vitesse et sa trajectoire en fonction des caractéristiques du virage détecté.

Dans le cadre de cette mise en situation réelle, il est important de souligner que les passages étudiés ont été effectués bien avant le lancement de l'expérimentation. Ainsi, aucune donnée de vitesse n'a été relevée de manière systématique ou avec un dispositif de mesure précis à ce moment-là. Chaque passage a été réalisé selon les capacités du motard au moment t, en fonction de son ressenti, de la configuration de la route et des conditions de circulation. L'objectif était avant tout d'observer un comportement naturel, sans contrainte technique imposée. Pour assurer un suivi, chaque passage a été enregistré à l'aide d'une caméra embarquée.

Voici, un premier exemple, un premier passage où la vitesse mesurée atteint 51 km/h.



FIGURE 37 – Premier passage dans Les 17 virages aux points GPS 48.385171, 2.563108.

Résultat du premier passage avec le programme :

```

==== Analyse du segment actuel ====
Courbure estimée : 0.0006
Vitesse actuelle : 51 km/h
Vitesse conseillée : 60 km/h
Leger virage
[INFO] Vitesse correcte dans le virage.

```

FIGURE 38 – Premier passage dans Les 17 virages aux points GPS 48.385171, 2.563108.

On voit que le passage se fait à 51 km/h et que la valeur de la courbure est de 0.0006. C'est un léger virage. La vitesse estimée pour ce virage est de 60 km/h. Donc il n'y aura pas d'alerte. Voici maintenant un second passage réalisé un peu plus vite.



FIGURE 39 – Deuxième passage dans Les 17 virages aux points GPS 48.385171, 2.563108.

```

cages[distance] = cages.geometry.distance(point_actuel)
Courbure calculée formule : 0.0005605372037621602
==== Analyse du segment actuel ====
Courbure estimée : 0.0006
Vitesse actuelle : 70 km/h
Vitesse conseillée : 60 km/h
Leger virage
[ALERTE] Vous etes dans un leger virage, ajustez votre vitesse.

```

FIGURE 40 – Deuxième passage dans Les 17 virages aux points GPS 48.385171, 2.563108.

Le deuxième passage est réalisé plus rapidement (sans excès de vitesse), cependant, la vitesse est trop "rapide" pour ce virage avec une courbure de 0.0006 et il nécessite de meilleures capacités pour le passer. Il faut que le motard soit à un niveau intermédiaire. Comme l'objectif du programme est de faire de la prévention, j'ai décidé de me baser sur un niveau de débutant. Pour conclure, il y a un message qui apparaîtra.

Prenons un dernier exemple avec une nouvelle situation, une ligne droite.

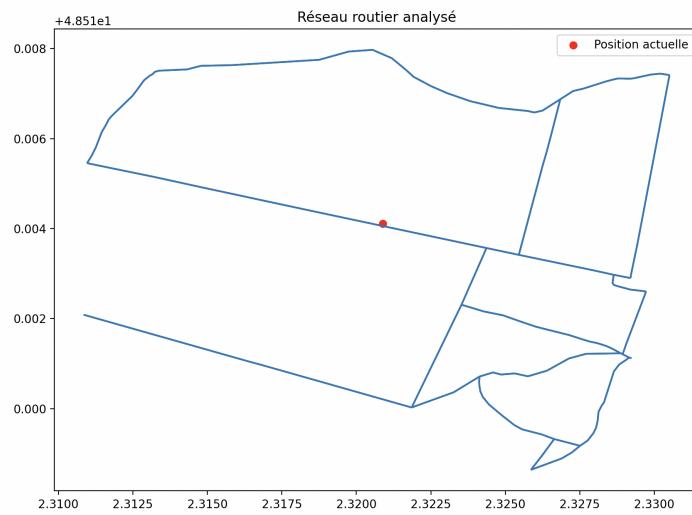


FIGURE 41 – Réseau routier interprété par le programme aux points GPS 48.514114, 2.320894.

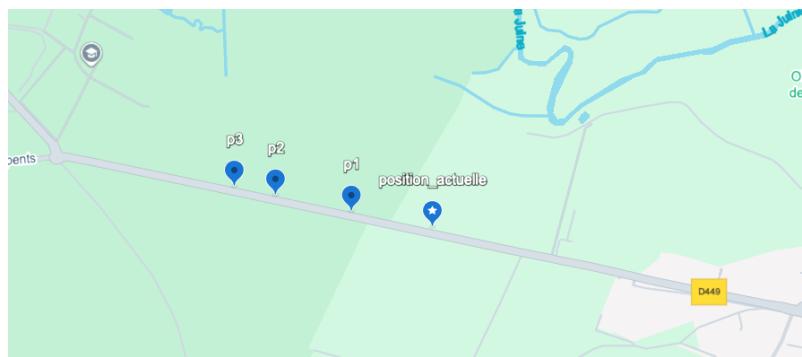


FIGURE 42 – Placement des points p1, p2 et p3 en ligne droite pour les coordonnées 48.514114, 2.320894.

Idem que pour l'exemple précédent. Le programme nous génère des trois points. Avec les coordonnées 48.514114, 2.320894, voici les points que nous avons :

p1 : (48.514499, 2.317749)

p2 : (48.5149154, 2.3148266)

p3 : (48.5151433, 2.3132539)

Pour cette simulation au terminale, je décide de mettre deux vitesses, une à 80 km/h et une autre à 90 km/h. Ici je ne prends pas en compte la limitation de vitesse. Nous avons comme résultats :

```

    tries to a projected CRS before this operation.

    edges["distance"] = edges.geometry.distance(point_actuel)
Courbure calculée : 0.835225107837803
==== Analyse du segment actuel ====
Courbure estimée : 0.8352
Vitesse actuelle : 70 km/h
Vitesse conseillée : 80 km/h
Ligne droite

```

FIGURE 43 – Résultat en ligne droite pour les coordonnées 48.514114, 2.320894 à 80 km/h

```

==== Analyse du segment actuel ====
Courbure estimée : 0.0000
Vitesse actuelle : 90 km/h
Vitesse conseillée : 80 km/h
Ligne droite

```

FIGURE 44 – Résultat en ligne droite pour les coordonnées 48.514114, 2.320894 à 90 km/h.

Pour conclure, comme l’usager évolue sur une ligne droite, une courbure ayant comme valeur 0 ou proche de 0, il n’y aura pas de message d’erreur qui s’affiche.

### 5.3.3 Design technologique

Afin de garantir l’efficacité du système de recommandation de vitesse sans perturber la conduite, une attention particulière doit être portée à la manière dont l’information est transmise à l’usager. Deux canaux complémentaires peuvent être mobilisés : le retour visuel et le retour sonore. 5.1. Un affichage visuel universel et optimisé Pour prévenir l’usager d’un virage nécessitant une adaptation de la vitesse, il est proposé d’utiliser des pictogrammes universels, compréhensibles instantanément, sans nécessiter de lecture textuelle ou de concentration prolongée. Ces icônes pourront s’inspirer de la signalisation routière standard (ex. : virage serré, limitation de vitesse conseillée, alerte danger). L’interface visuelle devra s’adapter au support utilisé :

Sur smartphone ou GPS dédié : affichage discret dans un coin de l’écran, en contraste fort pour assurer la lisibilité en plein jour. Sur écran tête haute (HUD) : intégration dans le champ de vision sans gêner la route. Sur casque connecté : affichage minimaliste, par exemple avec une jauge de courbure ou un code couleur (vert = ok, orange = attention, rouge = ralentir). L’objectif est de minimiser le temps d’attention visuelle requis, et ainsi éviter que le motard détourne les yeux de la route. 5.2. Complément sonore : alerte rapide et personnalisable En complément de l’affichage, un signal sonore court et identifiable peut être émis lorsque la courbure détectée dépasse un certain seuil et que la vitesse du motard est jugée excessive par rapport à la situation. Ce bip peut remplir plusieurs fonctions :

Alerte préventive : inciter le motard à lever le pied dans un virage moyen ou serré. Alerta critique : signaler un danger si la vitesse est clairement inadaptée. Pour ne pas créer de gêne ou de stress, le signal doit : Être court, non strident et facilement reconnaissable, Être désactivable ou réglable par l’utilisateur (volume, type de son), Ne pas se répéter en boucle inutilement, afin de respecter l’attention du conducteur. L’ajout de ce canal auditif permet d’éviter la dépendance au visuel et s’adresse particulièrement aux utilisateurs préférant rester concentrés sur la route sans consulter un écran. 5.3. Accessibilité et personnalisation Le système devra permettre une personnalisation des retours utilisateur, afin de s’adapter aux préférences et aux besoins de chacun : Possibilité d’activer ou désactiver le son, Choix du mode d’alerte (visuel seul, sonore seul, ou les deux), Réglage de la sensibilité des alertes (par exemple, activer uniquement pour les virages très

serrés). Cela garantit une expérience utilisateur plus inclusive, tenant compte des profils variés : motards expérimentés, jeunes conducteurs, ou encore personnes malentendantes.



FIGURE 45 – Génération d'un tableau de bord possible avec l'IA.

Il pourrait être intéressant de poursuivre le développement sur une action sur les freins afin de ralentir légèrement la moto ou bien empêcher ou couper l'accélération. C'est une piste intéressante mais cependant, il faut prendre en considération plusieurs facteurs :

- Ne pas surprendre le motard,
- Ne pas diminuer l'adhérence des pneus,
- Ne pas influencer sur la trajectoire de sécurité, or la vitesse joue un rôle crucial dans la trajectoire.

## 5.4 Étude de faisabilité et limites

[Commentaire:

- Quels obstacles (coût, poids, énergie, connectivité, acceptabilité des motards) à l'implémentation ?
- Quelles pistes pour la recherche ou le développement industriel ?
- (une maquette fonctionnelle, un prototype conceptuel, ou même une étude de cas simulée)
- ouverture défi environnemental
- protection des données sensibles (lien via kappa) ]

### 5.4.1 Objectif de l'étude

Cette étude vise à évaluer la faisabilité de la mise en œuvre d'un système d'assistance à la conduite basé sur l'analyse de la courbure de la route, dans le but de recommander une vitesse adaptée. Le système exploite des données géographiques pour déterminer la géométrie des segments routiers en fonction de la position d'un véhicule. Puis, il applique un modèle simple de calcul de courbure pour estimer la dangerosité d'un virage et proposer une vitesse conseillée. Ce chapitre examine les obstacles techniques, les contraintes d'implémentation réelle, ainsi que les perspectives de développement.

### 5.4.2 Faisabilité technique

Mon programme utilise des données routières open source via OpenStreetMap (OSM). Ces données sont accessibles et gratuites cependant, on apperçoit un manque de précision surtout en milieu rural. Certains segments peuvent manquer de points ou contenir des simplifications qui faussent l'évaluation de la courbure. La méthode mise en œuvre repose sur le calcul géodésique entre trois points consécutifs, p1, p2 et p3 sur un segment de route à partir d'un point GPS, la position actuelle. Cela permet d'obtenir une estimation simple de la courbure. Cependant, cette approche reste sensible à la densité des points sur les segments (peu de points donc cela implique une mauvaise précision).

### 5.4.3 Faisabilité d'implémentation sur un véhicule réel

[À faire: reformuler] Le monde du deux-roues posent certaines contraintes matérielles et logicielles. En effet, les capteurs nécessite d'un GPS de très bonne précision, d'un module RTK pour éviter les erreurs de localisation afin que les calculs soient optimisés. La connectivité doit être parfaite si les cartes ne sont pas embarquées, cela peut poser des limites en zone blanche. Une connexion réseau sera nécessaire. Concernant le matériel embarqué, nous pouvons utiliser un microcontrôleur<sup>13</sup>. La consommation de ces appareils ne doivent pas être trop importante car ça reste un "petit véhicule" avec une petite batterie. Cela pourrait impliquer des pannes comme un alternateur ou une bobine HS. Les limites actuellement restent les prix. En effet, ajouter des fonctionnalités de sécurité ayant des prix trop important baissent l'attractivité des motos.

Comme il n'existe pas encore de produit commercial alliant GPS et l'alerte virage, on peut estimer sur la base des coûts de prototypes et de composants.

---

13. (ex : Raspberry Pi, Arduino, ESP32) capable d'exécuter les traitements de calcul ou de les transmettre à une plateforme distante.

Élément	Estimation de coût
Capteur GPS + IMU (accéléromètre / magnétomètre)	50–200 €
Abonnement cartes HD (HERE, TomTom, etc.)	10–30 € / mois
Interface casque ou écran moto (HUD / retour haptique)	100–300 €

TABLE 5 – Estimation des coûts des principaux composants d'un système d'assistance moto

Afin d'avoir un GPS précis et réactif. Il doit être accompagné de la technologie IMU. IMU permet de compenser la latence et les imprécisions GPS en fournissant la vitesse angulaire (gyroscope) pour la courbure des virages, l'orientation (magnétomètre) et l'accélération linéaire (accéléromètre) pour les freinage. L'IMU peut fonctionner à 100-1000 Hz ce qui permet d'améliorer fortement le temps de réaction. Ces points sont cruciaux pour une fonctionnalité comme la notre, la prédiction d'abord de virages dangereux. La marge d'erreur n'est pas permise.

Voici un tableau comparatif :

Propriété	GPS	GPS + IMU
Précision de position	Environ 3 à 5 m	Bonne
Temps de réaction	Lent (de 0,5 à 1 seconde)	Rapide (<0,1 seconde)
Fiabilité en virage	Faible	Haute
Sensibilité au signal	Oui	Moins critique

TABLE 6 – Comparaison des performances entre un GPS seul et un système GPS couplé à une centrale inertielle (IMU)

L'acceptabilité d'un tel système dépend également du profil du conducteur. Un motard préfèrera un système non intrusif (affichage sur smartphone, retour haptique) et intuitif. Le système doit être discret afin de ne pas distraire l'attention ni le surcharger d'information. Un bip, un logo pourraient constituer une solution ergonomique.

#### 5.4.4 Prototype et simulation

Le prototype logiciel développé offre plusieurs fonctionnalités clés : le chargement dynamique d'un réseau routier à partir d'un point GPS, l'identification du segment de route le plus proche, le calcul de la courbure de ce segment, la recommandation d'une vitesse adaptée à cette courbure, ainsi que la visualisation de l'environnement routier et de la position actuelle du véhicule. Ce prototype constitue une première base fonctionnelle, ouvrant la voie à de futures expérimentations sur le terrain.

Les évolutions envisagées pour les prochaines étapes du projet sont les suivantes : l'intégration du système dans une plateforme embarquée, l'ajout d'un suivi GPS en temps réel, le développement d'une interface utilisateur, visuelle ou auditive, et la réalisation de simulations ou d'expérimentations sur circuit fermé.

#### **5.4.5 Limites et contraintes**

Lors de l'évaluation de la dangerosité d'un virage, la courbure n'est pas le seul facteur à prendre en compte. D'autres éléments jouent un rôle déterminant, tels que l'état de la chaussée, les conditions météorologiques, la visibilité, la signalisation ou encore la présence éventuelle d'obstacles. Ces paramètres peuvent considérablement modifier le niveau de risque perçu ou réel, même pour un virage à géométrie simple. Le système repose sur un algorithme volontairement simplifié afin de garantir une certaine robustesse. Cette approche permet une exécution rapide et stable dans divers contextes, mais elle peut entraîner un manque de précision, notamment lorsque les conditions réelles diffèrent des hypothèses de calcul. Par ailleurs, la fiabilité globale du système dépend fortement de deux facteurs externes : la fréquence de mise à jour de la cartographie utilisée et la précision du positionnement GPS. Une carte obsolète ou un signal GPS perturbé peut nuire à la qualité des recommandations fournies. Dans un contexte d'usage réel, le comportement du conducteur reste une variable essentielle. Il est possible que ce dernier ignore tout simplement les recommandations émises par le système, soit par choix, soit par inattention, soit par manque de confiance. Cela limite l'impact potentiel du dispositif sur la sécurité. Il est également crucial de prévenir toute dépendance excessive du conducteur à ce type de système d'assistance. Une automatisation trop poussée pourrait entraîner un relâchement de la vigilance ou une perte de capacité d'analyse en cas de situation imprévue. Enfin, en cas de dysfonctionnement du système ou de latence dans les calculs, l'information transmise pourrait être erronée ou inadaptée à la situation. Ce type de défaut présente un risque non négligeable, d'autant plus critique si l'utilisateur se repose entièrement sur la technologie pour prendre ses décisions de conduite.

#### **5.4.6 Confidentialité et Données**

Le développement de technologies d'assistance à la conduite basées sur la géolocalisation, comme celle proposée dans ce projet, soulève d'importants enjeux juridiques, notamment en matière de souveraineté, d'accès aux données cartographiques, et d'usage du GPS selon les pays. Dans certains États, l'accès aux données cartographiques est limité. Par exemple, la Chine impose l'utilisation de fournisseurs cartographiques agréés par l'État, avec des restrictions sur les données affichées ou exportables. En Autriche et en Allemagne, les dispositifs de géolocalisation sont autorisés, mais l'usage de détecteurs ou d'avertisseurs de radars est strictement interdit, y compris lorsqu'ils sont intégrés à un GPS. Le Japon autorise l'usage du GPS, mais certains dispositifs RF<sup>14</sup>, notamment ceux qui interfèrent avec d'autres systèmes, sont interdits.

Ces exemples illustrent la diversité des contraintes réglementaires à l'échelle internationale, ce qui constitue un défi pour tout projet technologique visant un déploiement global.

En France, l'utilisation d'un GPS est autorisée dans un véhicule, y compris à moto, tant qu'il ne compromet ni la visibilité, ni la sécurité du conducteur. Le Code de la route – Article R412-6[32] précise que "tout conducteur doit se tenir constamment en état et en position d'exécuter commodément et sans délai toutes les manœuvres qui lui incombent". Ainsi, tout système d'affichage (écran, casque connecté, retour haptique) devra être conçu de manière à ne pas distraire le conducteur ou gêner sa conduite. Ce point est d'autant plus crucial sur les deux-roues motorisés, où la perte

14. Radio Fréquence : Ce sont des dispositifs qui émettent et recçoivent des ondes radio pour communiquer entre 3 kHz et 300 GHz.

d'attention ou une mauvaise visibilité peut avoir des conséquences graves. L'utilisation d'un système

GPS implique nécessairement la collecte de données personnelles sensibles, notamment :

- La position géographique (latitude et longitude),
- La vitesse instantanée,
- L'horodatage précis de chaque relevé (timestamp).

Ces informations peuvent permettre d'identifier les comportements individuels ou les trajets récurrents d'un utilisateur. Par conséquent, tout dispositif embarqué ou toute application qui traite ces données doit impérativement respecter le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD), en vigueur au sein de l'Union européenne.

Afin d'approfondir et d'améliorer le fonctionnement du système, il sera nécessaire de collecter, de suivre et d'analyser ces données GPS. Cependant, avant toute collecte, il convient d'obtenir le consentement explicite et éclairé du motard. Ce consentement doit être associé à une déclaration ou une politique de confidentialité transparente, expliquant clairement la finalité de la collecte, l'utilisation prévue et les modalités de stockage des informations.

#### Exemple d'organisation : expérience à Kappa Santé

Lors de mon alternance chez Kappa Santé, j'ai pu observer un exemple pertinent d'organisation pour le traitement rigoureux des données sensibles. Chaque collaborateur dispose d'un accès strictement limité aux données nécessaires à ses activités. Par exemple, les développeurs utilisent exclusivement des données fictives, évitant ainsi tout risque d'exposition accidentelle ou de manipulation involontaire de données confidentielles. Les données réelles, destinées aux analyses approfondies et aux études spécifiques, sont uniquement manipulées par des collaborateurs dûment habilités. Cette organisation repose sur l'utilisation de plusieurs bases de données distinctes, dont l'accès est soigneusement régulé selon les rôles et les droits attribués à chaque utilisateur.

Ce type d'organisation présente plusieurs avantages majeurs, notamment la discrétion, la confidentialité accrue des informations, ainsi que la réduction significative des risques en matière de sécurité des données. Un tel modèle pourrait être envisagé comme une référence, en particulier dans d'autres contextes sensibles tels que la mobilité connectée ou la sécurité routière. En garantissant à la fois l'efficacité et la protection des informations personnelles, ce modèle renforce la confiance des utilisateurs et assure une conformité stricte aux réglementations en vigueur.

Principes clés à respecter : Dans le cadre du traitement de données personnelles, voici les principes fondamentaux à appliquer :

- Minimisation des données : collecter uniquement les données strictement nécessaires à la réalisation des objectifs fixés.
- Consentement éclairé : l'utilisateur (ici, le motard) doit être clairement informé de l'objectif précis de la collecte et fournir explicitement son accord.
- Sécurité du stockage : assurer le stockage des données dans une base sécurisée, idéalement chiffrée, et limiter la durée de conservation au strict minimum requis.
- Transparence : accompagner tout dispositif, service ou prototype d'une politique de confidentialité accessible et compréhensible par l'utilisateur.

Exemples de données pouvant être conservées conformément au RGPD : À titre indicatif, voici des exemples précis de données pertinentes, conservées de manière conforme et sécurisée :

- Latitude et longitude,

- Vitesse instantanée,
- Horodatage précis (timestamp),
- Identifiant utilisateur pseudonymisé (non directement identifiable).

Ces pratiques garantissent le respect de la vie privée des usagers tout en permettant d'exploiter les données efficacement dans le cadre de recherches ou d'améliorations technologiques.

Outre les aspects juridiques, la spécificité des motos implique des contraintes techniques supplémentaires. En effet, les deux-roues sont capables d'accélérations rapides et atteignent des vitesses élevées. Le système embarqué doit donc :

- Être capable de traiter et d'analyser les données en quasi temps réel,
- Offrir une précision suffisante des points GPS (idéalement < 2 m),
- Fournir des recommandations sans latence significative,
- Être résilient aux pertes de signal GPS, notamment dans les tunnels ou zones urbaines denses.

Ces exigences imposent le choix d'un matériel performant, fiable, et optimisé pour des usages embarqués dans des conditions parfois extrêmes (vibrations, chaleur, humidité). **[À faire: choix,**

**marque du produit]** Voici des propositions de composants que nous pouvons utiliser :

- u-blox NEO-M8N : excellent rapport qualité/prix, 40 €
- u-blox ZED-F9P : haute précision RTK, mais cher ( 200–250 €)
- SparkFun GPS + IMU : combine ZED-F9P + BNO080 (IMU)

**[À faire: a relire +maj]** Le programme développé fonctionne correctement dans la majorité des cas. Toutefois, certaines limites subsistent. En particulier, la récupération des données relatives aux limitations de vitesse ne se fait pas toujours de manière fiable. En conséquence, une limitation par défaut de 80 km/h est appliquée lorsqu'aucune information précise n'est disponible. Sur les portions d'autoroute, la limitation de vitesse est généralement de 130 km/h, et les valeurs calculées pour la courbure sont quasiment nulles, ce qui n'entraîne pas de recommandations particulières.

Cependant, une situation spécifique peut se présenter sur des voies rapides limitées à 110 km/h : dans ce cas précis, la courbure du virage doit être suffisamment prononcée pour déclencher une alerte à 80 km/h. Cette décision représente un compromis assumé dans la conception du programme, fondé sur une approche prudente pour garantir la sécurité du conducteur.

Du point de vue des utilisateurs, la fonctionnalité proposée pourrait être perçue comme trop « prévoyante » par certains motards expérimentés. En effet, plus le motard accumule de kilomètres et d'expérience, particulièrement s'il varie régulièrement ses trajets et types de routes, plus sa capacité à anticiper naturellement les dangers s'améliore. Ainsi, pour ces usagers aguerris, l'alerte pourrait sembler déclenchée prématurément.

Pour remédier à cette perception, il pourrait être pertinent d'introduire une variable personnalisable définissant différents niveaux d'alerte. Cette adaptation permettrait de moduler le déclenchement en fonction d'une vitesse spécifique, ajustée selon l'expérience ou les préférences du motard. Un autre facteur pertinent à considérer serait l'accélération : une accélération soudaine ou inhabituelle avant un virage pourrait, par exemple, déclencher une alerte anticipée afin de prévenir tout danger potentiel.

Enfin, il est important de souligner que le programme actuel (illustré en Figure 36) se base exclusivement sur les données de l'instant présent. Il ne prend pas encore en compte les données relatives à la trajectoire prévisionnelle ou à la direction future du véhicule. Cette dimension prédictive pourrait être intégrée dans une future évolution du programme, permettant ainsi une anticipation encore plus efficace et précise des situations à risque.

Le développement d'un système d'assistance à la conduite basé sur la courbure routière et la géolocalisation soulève des enjeux techniques, légaux et éthiques. Il est impératif de concevoir un dispositif conforme à la réglementation locale, respectueux de la vie privée, et suffisamment robuste pour un usage en conditions réelles. Intégrer dès la phase de prototypage les dimensions de confidentialité, de sécurité des données et de respect des législations nationales constitue un levier essentiel pour la viabilité du projet, autant sur le plan juridique que sur celui de l'acceptabilité sociale.

## 5.5 Apport personnel et positionnement

La sécurité n'a pas de prix. C'est un principe fondamental qui devrait guider tout développement technologique appliqué aux transports. Si les voitures bénéficient depuis plusieurs années de dispositifs de sécurité avancés comme de l'ABS à l'assistance au maintien de voie, les deux-roues motorisés restent, en comparaison, bien plus vulnérables. Et pourtant, la pratique du deux-roues s'étend, elle attire un public passionné, exigeant, conscient des risques mais aussi demandeur d'innovation.

Aujourd'hui, la réflexion autour de la sécurité moto ne doit pas uniquement se limiter à des équipements de protection ou à des comportements individuels. Elle doit intégrer une vision systémique, dans laquelle l'environnement, les infrastructures, la technologie embarquée et l'intelligence collective des usagers jouent un rôle complémentaire.

De nombreux projets technologiques sont en cours. L'ABS est désormais obligatoire sur les motos de plus de 125 cm<sup>3</sup> et certaines marques comme BMW, Honda ou Yamaha explorent déjà des systèmes d'assistance avancés :

- détection d'angle mort,
- alertes de collision,
- freinage adaptatif
- ...

Mais ces dispositifs restent encore peu répandus, coûteux ou en phase de test. La moto, par sa nature même :

- équilibre dynamique,
- surface réduite,
- exposition aux éléments

Représente un défi technique beaucoup plus complexe que la voiture. Tous les paramètres doivent être pensés avec précision comme l'inclinaison, l'adhérence, la vision périphérique, le comportement du pilote, l'état de la chaussée, etc.

Il est difficile de modéliser l'ensemble de ces facteurs dans un algorithme simple. Certaines situations et certains facteurs restent imprévisibles. Et parfois, aucune formule ne suffit à expliquer un comportement ou une prise de décision sur la route. Certaines actions sont sur l'instinct. D'où l'importance de ne pas tout miser sur l'automatisation mais de construire des outils d'assistance intelligents conçus comme un appui à la prise de décision, et non comme un remplacement du jugement du pilote. C'est pour cela qu'évoluer une trajectoire parfaite n'est pas facile.

Heureusement, les mentalités évoluent. Le motard d'aujourd'hui n'est plus seulement un amateur de sensations fortes, c'est aussi un usager averti, souvent bien informé, conscient des limites de sa machine et soucieux de sa sécurité. À condition qu'elles soient bien expliquées, justifiées et qu'elles apportent une réelle valeur ajoutée à l'expérience de conduite, les innovations technologiques ont de fortes chances d'être acceptées. Il ne s'agit donc pas simplement de créer une technologie nouvelle mais de proposer des solutions pertinentes, pensées avec les utilisateurs, testées dans des conditions réelles, et intégrées dans un écosystème cohérent. La sensibilisation et l'éducation auront également un rôle clé à jouer pour accompagner cette transition. Nous pourrons nous référer aux moniteurs écoles par exemple, aux constructeurs...

À terme, ce travail s'inscrit dans une dynamique plus large : celle de combler le fossé technologique entre la sécurité automobile et la sécurité des deux-roues motorisés. Ce n'est qu'en intégrant les spécificités de la moto dans les démarches de conception, de régulation et d'innovation que l'on pourra répondre aux besoins réels des motards. Une mobilité durable, inclusive et sûre ne pourra

exister sans penser à ceux qui, chaque jour, prennent la route sans carrosserie pour les protéger.

## 6 Conclusion

### 6.1 Conclusion mémoire

Mes recherches n'ont pas été évidentes à mener car mon domaine professionnel n'est pas tourné vers les véhicules ou l'automatisation. Malgré cela, j'ai eu la chance de pouvoir aborder un sujet qui me tenait particulièrement à cœur, ce qui m'a inspirée et motivée tout au long de ce travail. Au cours de cette démarche, j'ai pu faire des rencontres enrichissantes et assister à des travaux et des échanges passionnants. Cela m'a offert la possibilité d'aborder l'univers de la moto sous un angle scientifique en découvrant des contraintes techniques et opérationnelles qui ne sont pas toujours évidentes à percevoir en tant que simple utilisatrice.

Même si, à première vue, il n'y avait pas de lien direct entre ce sujet et les missions réalisées durant mon alternance, j'ai pu observer que certaines problématiques restaient similaires. C'est notamment le cas de la protection et de la gestion des données sensibles. Qu'il s'agisse de santé ou de mobilité connectée, le défi reste le même : garantir la sécurité et la confidentialité des données sensibles tout en exploitant leur potentiel technologique.

Développer des technologies pour améliorer la sécurité des deux-roues représente aujourd'hui un défi réel et complexe. De nombreux aspects restent encore à explorer, et les solutions existantes sont loin d'être suffisantes pour répondre à tous les besoins. Ce travail m'a permis d'entrevoir à quel point le sujet est vaste, stimulant, mais aussi combien de zones d'ombre persistent dans ce domaine encore peu exploré.

### 6.2 Conclusion année d'alternance

Cette année, ainsi que ce travail, viennent clôturer trois années très enrichissantes chez Kappa Santé. Durant ces années, j'ai acquis de nombreuses compétences techniques, notamment dans le cadre des missions propres au métier de développeur, telles que l'analyse, la programmation, la gestion rigoureuse des données sensibles et l'intégration de bonnes pratiques dans mes processus de travail.

Mais au-delà de ces aspects purement techniques, cette expérience m'a également beaucoup apporté sur le plan humain et relationnel. J'ai eu la chance de travailler au sein d'une équipe dynamique et pluridisciplinaire, ce qui m'a permis d'apprendre, à comprendre les besoins spécifiques d'une étude et à développer diverses qualités essentielles dans le monde professionnel.

Aujourd'hui, après quatre ans d'alternance, je suis prête à me diriger vers de nouveaux horizons. Ce changement constitue une opportunité pour approfondir d'autres domaines d'expertise, découvrir de nouveaux secteurs et continuer à évoluer tant professionnellement que personnellement. Je suis enthousiaste à l'idée de relever de nouveaux défis, tout en conservant précieusement les enseignements tirés de cette expérience marquante à Kappa Santé. Merci Kappa Santé.

## Références

- [1] Rapp. tech. adresse : <https://geopy.readthedocs.io/en/stable/>.
- [2] Rapp. tech. adresse : <https://en.wikipedia.org/wiki/Curvature>.
- [3] ACTIRROUTE, *Quel est le nombre de motards en France ?* Français. adresse : <https://permisdeconduire.actiroute.com/categories/moto/permis-a/nombre-de-motards>.
- [4] « ADAS (Advanced Driver Assistance System) - Les aides à la conduite des véhicules, » rapp. tech. adresse : <https://www.securite-routiere.gouv.fr/chacun-son-mode-de-deplacement/dangers-de-la-route-en-voiture/equipement-de-la-voiture/adas>.
- [5] S. AHMED ALI, *Synthèse d'un observateur neuro-adaptatif hybride pour l'estimation de la dynamique latérale d'un véhicule autonome terrestre*, Français, IBGBI, juill. 2024.
- [6] BMWMOTORRAD, « L'ASSISTANT DE PASSAGE DE RAPPORTS AUTOMATIQUE (ASA), » rapp. tech. adresse : <https://www.bmw-motorrad.fr/fr/engineering/automated-shift-assistant.html>.
- [7] BOSCH, « Advanced Rider Assistance Systems (ARAS), » rapp. tech. adresse : <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/advanced-rider-assistance-systems-2w/>.
- [8] « Bosch dévoile son nouveau système radar pour motos : freinage, assistance et prévention des accidents, » rapp. tech., 2024. adresse : <https://www.mobilite-verte.com/news/article-1422.html>.
- [9] A. BOUBEZOUL, *3ème réunion plénière du projet*, Nantes, 30 juin 2024.
- [10] CARDO, « Packtalk Pro, » rapp. tech. adresse : <https://cardosystems.com/fr/products/packtalk-pro>.
- [11] P. CONSULTING, « Marché des systèmes de capteurs LIDAR, » rapp. tech. adresse : <https://pmarketresearch.com/it/lidar-sensor-systems-market>.
- [12] DDRUID, « Tout savoir sur les capteurs IoT, » rapp. tech., 2023. adresse : <https://ddruid.io/capteurs-iot/>.
- [13] P. ECUVILLON, « Performance des voitures électriques : Puissance, autonomie et durabilité, » rapp. tech., nov. 2024. adresse : <https://mieux-consommer.ilek.fr/mobilite/performance-voiture-electrique/#:~:text=Puissance%20des%20voitures%20%C3%A9lectriques%20%3A%20kW%20et%20chevaux&text=Contrairement%20aux%20voitures%20thermiques%2C%20o%C3%B9,courante%20sur%20les%20mod%C3%A8les%20standards..>
- [14] E. EDMONDS, « Consumer Skepticism Toward Autonomous Driving Features Justified, » Anglais, rapp. tech., déc. 2022. adresse : <https://newsroom.aaa.com/2022/05/consumer-skepticism-toward-active-driving-features-justified/>.
- [15] EXPERTMOTO, « Moto : Systèmes d'aide à la conduite (ADAS) les plus courants, » rapp. tech., nov. 2020. adresse : <https://motards.net/articles/accessoires-moto/moto-adas/>.
- [16] Y. FRISONI, « ADAS Sensors and Computing Hardware for 360° perception, » rapp. tech. adresse : <https://conti-engineering.com/areas-of-expertise/automotive/adas/>.
- [17] *La révolution de l'IoT dans l'industrie automobile*, jan. 2025. adresse : <https://objenious.com/blogpost/iot-dans-lindustrie-automobile/>.

- [18] « Le cheminement de la donnée, » rapp. tech. adresse : <https://www.innovauto.org/systemes-embarques/le-cheminement-de-la-donnee>.
- [19] N. LE GENNEC, « Machine Learning et Véhicule autonome : le défi d'une gouvernance des données personnelles automobiles, » thèse de doct., déc. 2023.
- [20] D. LEFEVRE, « ARAS ou les systèmes d'aides à la conduite spécifiques au motard, » rapp. tech., déc. 2022. adresse : <https://motards.net/articles/accessoires-moto/moto-adas/>.
- [21] A. LENOIR, *Cette moto électrique promet une sécurité maximale grâce à l'IA*, Français, jan. 2024. adresse : <https://www.phonandroid.com/cette-moto-electrique-promet-une-securite-maximale-grace-a-lia.html>.
- [22] LIBERTYRIDER, « Liberty Rider, » rapp. tech. adresse : <https://liberty-rider.com/fr>.
- [23] LUXOFT, « The present and future of autonomous driving : how do cars interact with roads and signs ? » Rapp. tech., mai 2023. adresse : <https://www.joberty.com/blog/the-present-and-future-of-autonomous-driving-how-do-cars-interact-with-roads-and-signs/>.
- [24] MCNEWS, « ALERTS TO HELP RIDERS CORNER PROPERLY, » rapp. tech., oct. 2021. adresse : <https://www.motorcyclenews.net/alerts-to-help-riders-corner-properly>.
- [25] B. MOTORRAD, « L'innovation de A à Z, » rapp. tech., 2024. adresse : <https://www.bmw-motorrad.fr/fr/engineering/innovation/innovation.html>.
- [26] A. NAME, « Title of the article, » *Journal de Québec*, 2024, Accessed : 2024-08-01.
- [27] « OSMnx 2.0.5, » rapp. tech. adresse : <https://osmnx.readthedocs.io/en/stable/>.
- [28] L. PARISIEN, *Le radar Lidar Scala de Valeo, l'œil des voitures autonomes*, Français, juill. 2019. adresse : <https://youtu.be/qfuVpTghT-w>.
- [29] RIDER, « Exploration de l'Internet des objets (IOT) dans les applications pour motos, » rapp. tech., 2025. adresse : <https://web.ridingmoto.com/fr/L%27Internet-des-objets-dans-les-applications-pour-motos/>.
- [30] L. sécurité ROUTIÈRE, « Accidentalité routière 2023 en France, » Français, rapp. tech., mai 2024.
- [31] L. sécurité ROUTIÈRE, « La trajectoire de sécurité, » rapp. tech. adresse : <https://www.securite-routiere.gouv.fr/chacun-son-mode-de-deplacement/dangers-de-la-route-moto/mieux-conduire-moto/la-trajectoire-de>.
- [32] J. SÉNAT, « Conditions d'application de l'article R. 412-6 du code de la route modifié par l'article 15 du décret n° 2008-754 du 30 juillet 2008, » rapp. tech., 2010. adresse : <https://www.senat.fr/questions/base/2010/qSEQ100212204.html#:~:text=412%2D6%20du%20code%20de%20la%20route%20oblige%20le%20conducteur,%2C%20%C3%A0%20l'article%20R..>
- [33] I. SYSTEMM, « Qu'est-ce qu'un capteur connecté IoT ? » Rapp. tech., oct. 2022. adresse : <https://www.ip-systemes.com/quest-ce-qu-un-capteur-connect-iot.html>.
- [34] « Taille du marché mondial de l'IoT automobile, prévisions 2022 – 2032., » rapp. tech., juin 2023. adresse : <https://www.sphericalinsights.com/fr/reports/automotive-iot-market>.

- [35] K. TEXIER, *Quand l'intelligence artificielle (IA) et Yamaha redéfinissent la moto du futur*, Français, déc. 2024. adresse : <https://www.motoplanete.com/actualite-moto/articles/18335/quand-l-intelligence-artificielle-ia-et-yamaha-redefinissent-la-moto-du-futur/page.html>.

## **Annexes**

## A Échange avec Hichem Arioui

Voici l'échange transcrit que j'ai eu avec M. Hichem Arioui sur les deux-roues motorisés le 9 mai 2025 à l'Université d'Évry (Bâtiment Île de France).

Hichem Arioui : Donc tu fais quel parcours exactement ?

Shana : En moto, moi, je fais tout. Que ce soit de la route, l'autoroute, des chemins de campagne.

Hichem Arioui : D'accord.

Shana : Et j'aimerais me mettre aussi à l'off road. C'est un peu... Ce n'est pas vraiment du cross, mais c'est autre chose.

Hichem Arioui : Ok, très bien. Moi, [...]je fais de la moto. Je ne le fais pas ici en France, je le fais en Indonésie. Mais c'est plutôt des scooters. Ok. Des X-max, des T-max. Voilà, tout simplement. Mais je connais, c'est un domaine sur lequel je travaille depuis 2000... 2005, 2004, quelque chose comme ça.

Shana : D'accord. Oui, j'ai vu un peu ce que vous travaillez. Là, c'est en ce moment sur les motos électriques, pardon ? Là, en ce moment, oui,

Hichem Arioui : c'est des motos électriques parce que c'est une difficulté un peu étrange, parce que la façon dont on accélère et on freine, le couple, il est instantané.

Shana : Oui, on le voit avec les Tesla, par exemple.

Hichem Arioui : Exactement. Mais ouais. Et pour freiner, accélérer, parfois, ça t'emmène vraiment vers des situations de dérapage que tu ne peux pas contrôler forcément.

Shana : Malgré l'ABS et autres ?

Hichem Arioui : Ben oui. L'ABS, généralement, quand on peut le débloquer, les motards le débloquent. Ce qu'ils veulent pas- ce qu'ils cherchent, les motards, pas les novices. Je parle des expérimentés. C'est plutôt la liberté de faire ce que je veux. Donc, tu n'es pas le TCS, le MCS, le machin. Ça, ils désactivent. Ils n'aiment pas.

Shana : Moi, j'ai la chance, c'est que j'ai une moto vraiment récente qui date de l'année dernière. J'ai changé entre temps.

Hichem Arioui : C'est quoi ?

Shana : J'ai un GS, un F800GS. C'est une moto type trail. On peut faire du voyage aussi beaucoup. Et je le sens que des fois, les aides, elles arrivent et ça pardonne beaucoup de choses que ce soit...

Hichem Arioui : Tu as quoi comme aide dessus ?

Shana : J'ai l'ABS, j'ai l'anti-wheeling. Donc, ça pardonne au niveau de l'accélération. Je sens que la moto veut se lever, enfin nous empêche de se lever. Donc, c'est vrai que pour une personne qui vient de débuter, ou que ce soit la moto, ou qui découvre la moto, ou qui est un peu brute, ça pardonne beaucoup. Et la plupart des motos ne l'ont pas forcément. En fait, j'ai pas mal de connaissances dans la moto en termes d'amis, etc. Et d'autres qui ont fait des chutes. Et en fait, avec leur retour d'expérience, c'est intéressant. En fait, à côté, je suis pompier volontaire.

Hichem Arioui : D'accord.

Shana : Donc, c'est vrai que le terme d'accident au niveau des motos, ça revient un peu plus. On se dit : OK, mais qu'est-ce qu'elle a fait la personne ? Elle a trop accéléré, excès de confiance. C'est pour ça que moi, je me dis que j'aimerais bien apporter...

Hichem Arioui : La moto, elle pardonne vraiment pas, c'est le terme. Oui. Moi, dans les études que j'ai faites, j'ai remarqué que c'est 25 fois à peu près plus dangereuse que le véhicule. Et les chutes, elles sont généralement fatales. Elles sont graves. C'est très peu de situations... C'est pour ça que ça m'intéresse. C'est très bien ce que tu dis, parce que généralement, quand on développe une aide,

n'importe laquelle, on part sur les forums motards.

Shana :Pour avoir le retour d'expérience.

Hichem Arioui : 80%, on n'en a rien à cirer. Ça ne nous intéresse pas. Surtout, ne faites pas ça pour la moto, parce que c'est plutôt des forums d'expérimentés. Ce n'est pas des novices. Ce qu'ils veulent, ce n'est pas d'introduire quoi que ce soit comme aide. Ils veulent être libres de toute aide. Shana : C'est ça mon défi aussi, c'est de se dire comment on peut apporter plus de sécurité dans la moto sans forcément nous retirer le plaisir de conduire.

Hichem Arioui : Si tu trouves une réponse, je serais intéressé. Oui, je comprends, mais je me dis que...

Shana : En plus, j'ai des personnes qui ont par exemple le permis depuis plusieurs années, mais qui ne conduisent quasiment pas. Et la moto, pour moi, ce n'est pas comme la voiture. C'est-à-dire qu'il faut un peu s'entraîner, se dire : je la prends, je vais m'entraîner pour les virages, les trajectoires de sécurité. Parce que j'ai fait quelques stages avec les gendarmes pour avoir vraiment des notions de sécurité à ce niveau-là. Hichem Arioui : Lesquels exactement, les gendarmes ? C'est de Fontainebleau ?

Shana : C'est un peu tout. La gendarmerie du coup, par exemple, du Seine-et-Marne, où tu proposes des journées.

Hichem Arioui : C'est les plus fous, en plus.

Shana : Oui, c'est vrai que quand on conduit avec eux, on conduit un peu fort.

Hichem Arioui : J'ai fait des projets avec eux depuis une dizaine d'années maintenant. Je les connais, mais c'est...

Shana : Ça conduit fort.

Hichem Arioui : J'ai fait avec eux le... Quel circuit ? Le circuit de... Peut-être Carole qui est à côté. En 77. Un circuit.

Shana : La Ferté-Gaucher ?

Hichem Arioui : La Ferté-Gaucher, oui. C'est des malades. C'est des malades. Et surtout en moto électrique où c'est vraiment très super dangereux. Les mouvements qu'ils ont faits, j'ai la vidéo, je ne sais pas si je l'ai ici ou pas. Mais c'est des fous. Vraiment, c'est des fous. En fait, pour moi, ils ont fait tomber toute la théorie que j'ai faite. C'est-à-dire là où tu dis : Ce virage-là, je ne peux pas l'attaquer avec telle vitesse, ils l'attaquent avec une vitesse beaucoup plus supérieure que... Parce que nous, on prend beaucoup plus d'hypothèses théoriquement et tout. Donc, ça fait que les modèles ne sont pas complètement fidèles, mais tu le vois. Tu dis : Non, ce n'est pas possible.

Shana : J'ai eu l'occasion de faire aussi de la piste avec ma moto que j'ai actuellement. Donc c'est encadré par une association, toujours avec la pédagogie de la sécurité et de découvrir la moto, sa moto sur l'environnement sécurisé. Et on avait appris à déhancher, ce qu'on ne fait pas du tout sur route, mais on nous dit : On peut déhancher pour... Garder une stabilité sur la moto pour que ce soit plus droit afin que, par exemple, s'il y a des feuilles ou quoi, plus la moto est penchée, du coup, elle est vulnérable.

Hichem Arioui : Absolument.

Shana : Mais par contre, on perd en termes de champ de vision sur ce qui arrive en face. Donc là, l'idée, c'était de se dire, plus on déhanche, plus on peut passer vite et plus on peut pencher la moto pour passer vite. Et c'était très intéressant. Et après de se poser la question, c'est est-ce que si on rajoute une aide, parce que là récemment, j'étais en voiture, donc c'est une Clio 5 2019, donc qui a quelques aides. Et à un moment donné, on a des parkings, on va dire en quinconce, il faut les éviter pour ralentir. Je suis passée... Pour moi, ça passait, mais la voiture pensait que ça ne passait pas et

elle a pilé d'un coup.

Hichem Arioui : D'accord.

Shana : Et je ne savais pas qu'elle pouvait faire ça. Moi, j'avais juste un voyant me disant freiner. C'est vrai que je me suis dit : mais si on reporte ça sur la moto, on ne peut pas.

Hichem Arioui : Le problème, c'est que tu sais... Je te donne un exemple simple, quelque chose que j'aimerais développer, on est en train de développer en ce moment. Ok. Ce que je te dis, tu le gardes pour toi parce que c'est des recherches encore...

Shana : Ok, pas de souci.

...

Shana : Le regard. C'est vrai que c'est le regard qui change tout dans les virages.

Hichem Arioui : Il est fondamental. Tout le monde le dit. Pour les sorties de virage, c'est le regard ou la vitesse,...

Hichem Arioui : Ce que j'ai fait avec un doctorant, ce qui est un travail exceptionnel pour moi euh. Je, je, je vante rarement mes travaux, mais celui-ci est exceptionnel dans le sens où, par exemple, parce que tu as parlé à juste titre du virage, où est-ce que je regarde pour faire le virage, certainement, tu as fait avec les motards le EDSR.

Shana : Oui. L'entrée, la découverte, exact.

Hichem Arioui : Exactement, la sortie de la sollicitation, machin. Exactement. Où est-ce que tu regardes exactement ? Ils vont te dire : Tu regardes à l'apex ou le point de corde, voilà exactement l'apex en anglais. Et quand est-ce que tu regardes ? Après, dès que tu obtiens la ligne droite pour sortie, tu commences à te redresser. Ce genre de choses. Et nous, ce qu'on a fait, ce point-là, on a fait ça en simulation virtuelle. On ne peut pas s'autoriser ça. Ouais. C'était en simulateur. Donc, ce qu'on fait, c'est que j'obstrue toute la zone et je montre que l'apex. Ok. Je dis au conducteur : Je suis en train de te montrer l'apex, mais en fait, ce n'est pas l'apex, c'est un autre point. C'est juste pour tester la sensibilité de ce point-là. Donc en fait, l'apex, il est réellement ici, mais moi, je mets ici ou je le mets ici ou je le mets un peu légèrement ici à droite et à gauche. Il est fondamental dans le sens où la trajectoire est complètement différente. C'est-à-dire à 10, 15 centimètres, la trajectoire est complètement différente. Et le changement est complètement différent. La sensibilité, elle est énorme. C'est-à-dire, je pense, on a fait quoi ? Comme euh comme... cinquante centimètres de mouvement. C'est-à-dire le point, il est là. Oui, donc la trajectoire est complètement différente. D'accord. Et elle est encore plus, comment dire, elle est encore plus différente si la vitesse est supérieure. Et donc, et ça dépend où est-ce que tu commences ton virage. Est-ce que tu le commences complètement collé à droite et c'est un virage à droite ou plutôt au milieu, ça dépend. Et là, tu vois que c'est énorme et c'est ce qu'on souhaite faire. Donc ça, c'est juste pour te dire que je ne vais pas te convaincre, le regard, il est capital. Ce qu'on souhaite faire maintenant, c'est avec des oculomètres. Ce que je suis en train de dire, je dis : Écoute, tu es en train de regarder là, surtout pour les novices. Ce que tu es en train de regarder là, ne regarde pas là, regarde-là. Et je sais que s'il continue à regarder ici, la trajectoire, comment elle va être et si elle est rattrapable à partir d'un certain moment ou pas et comment je peux la corriger. Et après, il faut prendre en- Et lui dire : Ne regarde plus ici, regarde ici. Et je sais que s'il regarde là, la trajectoire, bien sûr, c'est une correction, elle n'est pas active, elle est passive. En fait, j'agis sur- j'agis pas sur la moto, j'agis plutôt sur le regard. Et en changeant de regard, je sais comment la trajectoire va être corrigeée. Et quand vous dites le regard, ça prend en compte aussi, par exemple, la surface de la route, s'il n'y a pas de gravier, s'il n'y a

pas de... Mais bien sûr. En fait, je parle dans des situations où il n'y a pas de tiers, il n'y a pas de personnes sur machin. Et les routes euh, pour que je puisse calculer ce genre de choses, je connais exactement les délimitations ou le cas le plus simple, je connais le marquage au sol. J'arrive à le détecter facilement. Je ne suis pas encore sur piste, je ne suis pas encore sûre.

Shana : Après, ça se voit façon dans un virage, il y a énormément de possibilités. Juste par exemple les gens qui font par exemple le moto GP ou les courses sur moto. Et c'est vrai que ça modifie énormément. Il y a énormément de possibilités en fait.

Hichem Arioui : C'est-à-dire, on se conçoit de faire dans un premier temps. Malheureusement, la recherche, c'est comme ça. Je ne propose pas tout de suite l'aide, mais ce que disent tout le temps les policiers ou les gendarmes qui sont super intéressés par cette idée-là, c'est qu'on a réussi à prouver la causalité entre le regard et la trajectoire. Parce qu'on le dit, mais on ne l'a jamais prouvé réellement. Nous, on le prouve. Ça n'a jamais été prouvé. Mathématiquement, je parle scientifiquement. Tout le monde le dit. Oui, le regard est super important, surtout les gendarmes. Il faut que tu regardes ici. Mais on l'a prouvé. Avec la sensibilité dont je te parlais tout à l'heure, c'est quelque chose de capital. Et qu'est-ce qu'on en fait de cette erreur-là, de ce biais-là ? S'il doit regarder là, mais il regarde là, et la trajectoire de sécurité ou la trajectoire optimale, elle est comme ça, mais lui, il est loin. Comment je le fais converger vers cette ligne de sécurité ? Juste en changeant son regard. C'est ça ce qu'on est en train de faire en ce moment. Pour moi, c'est excellent. Je ne sais pas si c'est quelque chose qui... Mais moi, je serais intéressé par le retour des situations dans le jeu. Par le retour des situations danger que tu... Auxquelles tu te pointes. Voilà.

Shana : j'en ai plusieurs. Avec ou sans aide. Bien sûr. J'ai pas mal de... Je pense qu'il y a déjà l'anticipation sur, par exemple, les autres. C'est capital.

Hichem Arioui : Par exemple... Ça dépend pas que toi, en fait, ça dépend des autres aussi, ce qui te voit ou pas. Ça dépend des autres.

Shana : Et des fois, moi, je me dis des fois : Cette voiture-là, je sens qu'elle ne m'a pas vu, je le sens. Et des fois, c'est vrai. Donc bah, je ralenti, je suis là.

Hichem Arioui : Ce qu'on est en train de faire, c'est avec un consortium européen qui s'appelle le CMC, Connected Motorcycle Consortium. C'est un consortium qui travaille sur les motos connectées et donc en fait, il donne une visibilité sur les motos que tu vois pas. Même dans un carrefour où elle est derrière un bâtiment, je pourrais la voir. Ou tout simplement dans un carrefour où tu veux, toi, tu es complètement à droite, tu veux prendre à droite. Elle, elle te voit pas, donc elle te crasse facilement. Des situations comme ça.

Shana : Je suis intervenue sur une intervention où c'est la dame qui a pas vu la moto. Ouais. Elle a dû regarder vraiment sur un rond-point à gauche. Pas de voiture, elle allait tout droit et il y avait la moto tout droit. La moto, elle était un peu en dessous, donc la personne va bien. Mais c'est vrai que ça fait une situation de se dire peut-être que le motard allait trop vite, je pense, sur la manière il l'a dit qu'il avait mis de l'angle et il avait pas regardé la voiture qu'il avait pas vue. Donc ça fait une situation en plus. Bon l'interfile ou...

Hichem Arioui : Bien sûr.

Shana : Bon après, il y a deux cas. Il y a les personnes qui roulent un peu vite et t'as le cas où la personne roule lentement, mais la voiture met pas de clignotant. Il y a cette partie-là.

Hichem Arioui : L'interfilement est interdit aux États-Unis. D'accord. Ok. Ici, il est interdit, mais il est toléré.

Shana : Maintenant, il est passé avec la FFMC.

Hichem Arioui : C'était quand ça ?

Shana : C'était il y a quelques mois. C'est passé là, je pense peut-être février, quelque chose comme ça.

Hichem Arioui : C'est-à-dire ? Ils le tolèrent ou ils l'autorisent ?

Shana : Maintenant, c'est autorisé. Mais max 50 km/h, 20 km/h d'écart avec les voitures. Il faut pas que ce soit... Max 50, donc tu le fais pas en autoroute.

Hichem Arioui : Moi, je parle de l'autoroute.

Shana : Si la circulation dépasse pas les 50. Oui. Mais si ça roule à 40, normalement, on peut pas parce qu'il faut 20... Si, on peut. Mais on ne peut pas plus de 20 km/h.

Hichem Arioui : Tu peux m'envoyer, s'il te plaît, le document après ?

Shana : Oui, je pourrais essayer de vous retrouver ça. Ok. Il y a ça. Après, il y a les personnes qui glissent parce qu'on n'a pas vu la plaque d'huile ou d'essence. Ça, ça arrive. Le bas-côté aussi. Les gravillons, les choses comme ça.

Hichem Arioui : Ça, c'est fatal.

Shana : Et aussi, des fois, avec la pluie dans un virage, des fois, moi, ça m'est déjà arrivé, la moto, elle a fait comme un petit saut. Et je pense que les roues devaient pas être alignées avec la pluie. Je sais pas vraiment ce qui s'est passé, mais avec... Posé, je me suis dit : À mon avis, ça va pas être ça. Ça, en arrivant sur Melun, 4 voix, 90 km/h et ça fait un petit virage léger, mais on peut bien le prendre en temps sec. Là, il pleuvait, mais j'avais roulé toute la journée et mes pneus adhéraient pas trop mal, donc je me suis dit : Je la prends.

Hichem Arioui : Il n'y avait pas de flaqué d'eau ?

Shana : C'était un peu humide.

Hichem Arioui : D'accord.

Shana : Et je pense que mes roues, elles étaient un peu de travers. Elles n'étaient pas vraiment alignées quand j'ai pris mon virage. Et je pense que ça a dû faire un... Là, que ce n'était pas... Je pense que ça a dû faire... Hop. Je me suis retrouvée sur le réservoir. Je me suis vue tomber, mais je ne l'ai pas fait tomber. Voilà, là, c'était une bonne frayeuse. Parce que...

Hichem Arioui : Je le dis, mais ce n'est pas à reproduire, mais généralement, dans des situations de chute, freiner, c'est tout à fait le...

Shana : Il ne faut pas.

Hichem Arioui : Il ne faut pas. C'est exactement le contraire qu'il faut faire, généralement, pour soulever la...

Shana : Comme quand on guidonne. Guidage, il faut limite, ils disent de mettre un petit coup d'accélération.

Hichem Arioui : Exactement. Le guidonnage est à faible vitesse et à fréquence un peu particulière.

Shana : Ça m'est arrivé quand j'ai fait le petit saut avec la moto, je me suis retrouvée sur le réservoir, ça guidonnait un peu, j'ai laissé faire. Après, je me suis dit : C'est bon, je... Ça, ça a été une belle frayeuse. Une fois aussi, sur le regard, je suis arrivée un peu vite sur un virage, j'ai voulu freiner. Là, l'ABS et tout s'est déclenchée. J'ai eu un petit problème aussi sur mon sélecteur de vitesse. Je n'ai pas pu bien faire mon freinage, mon rétrogradage et du coup, frein moteur. J'ai regardé un peu tout droit. J'ai réussi à piler, je l'ai arrêté vraiment avant, mais ça a été le regard. J'aurais pu tout lâcher, me dire... Ça m'est déjà arrivé. Donc tout lâcher, les commandes et on penche la moto, on met le regard.

Hichem Arioui : C'est exactement la différence entre l'expert et le novice. Face à n'importe quelle situation, le novice, il freine. L'expert, il évite. Il freine après.

Shana : C'est ce que je dis un peu tout le monde avec un retour d'expérience, qui viennent de

commencer ou quoi. Il vaut mieux tout lâcher, pencher, mettre le regard. Il y a plus de chances de ne pas tomber en faisant ça que en freinant et en descendant tout droit.

Hichem Arioui : Exactement. Le novice, tout de suite, il...

Shana : Oui. Mais même, par exemple, il vaut mieux faire un évitemen t d'urgence qu'un freinage.

Hichem Arioui : Exactement.

Shana : Parce que des fois, le temps de freinage, il peut être vraiment long.

Hichem Arioui : Absolument. C'est super intéressant. Moi, je sais pas comment on peut revoir ça.

...

Hichem Arioui : Parfait, nickel. Ok. Très bien, merci beaucoup.

Shana : Merci à vous.

Hichem Arioui : c'est super intéressant donc c'est moi qui vais pas te lâcher.

...