



UNIVERSITÉ ÉVRY
PARIS-SACLAY



Université d'Évry Paris-Saclay

Mémoire de Master MIAGE

L'IoT et les deux-roues

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

1 Remerciements	3
2 Fiche de bilan et de synthèse	4
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
3 Introduction	8
3.1 Contexte et enjeux	8
3.2 Définitions et concepts clés	9
4 État de l'art	12
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	15
4.1.3 Aide à la conduite et systèmes ADAS	15
4.1.4 Analyse des données et prise de décision	16
4.2 Les défis spécifiques liés à la sécurité des motos	18
4.2.1 Particularités des motos sur la route	18
4.2.2 Les technologies IoT actuelles pour les motos	20
4.2.3 L'exploitation des données pour les motos	25
4.2.4 Freins des technologies IoT actuelles pour les motos	26
4.3 Conclusion	29
5 Mémoire	30
5.1 Pratique de la route - Analyse comparative des besoins de sécurité entre voitures et motos	30
5.1.1 Étude des virages	30
5.1.2 Enquête auprès de motards - Recueil de ressenti	35
5.1.3 Défi passion	37
5.2 Étude critique des technologies IoT existantes (voitures vs motos)	38
5.2.1 Exemples d'IoT adaptés et développés pour la moto	38
5.2.2 Les radars	39
5.2.3 GPS	40
5.2.4 Contraintes techniques et comparaison voitures vs motos dans l'adoption des technologies IoT	41
5.2.5 Pistes pour intégrer l'IoT dans les deux-roues	41
5.3 Proposition d'adaptation technologique	42
5.3.1 Programme d'alerte de virages	43
5.3.2 Étude de cas	50
5.3.3 Design technologique	56
5.4 Étude de faisabilité et limites	58

5.4.1	Objectif de l'étude	58
5.4.2	Faisabilité technique	58
5.4.3	Confidentialité et Données	60
5.4.4	Limites et contraintes	62
5.5	Apport personnel et positionnement	64
6	Conclusion	66
6.1	Conclusion mémoire	66
6.2	Conclusion année d'alternance	66
	Références	69
	Annexes	70
	A Article 1	71
	B Article 2	72

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 ARIQUI**, 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 de 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 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 Axial, 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.

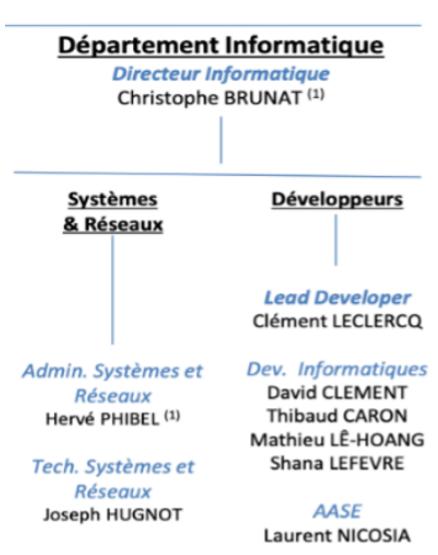


FIGURE 1 – Organigramme de l'entreprise.

Nous développons en Java à l'aide du Framework JSF (Java Server Faces) et des composants PrimeFaces. 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.

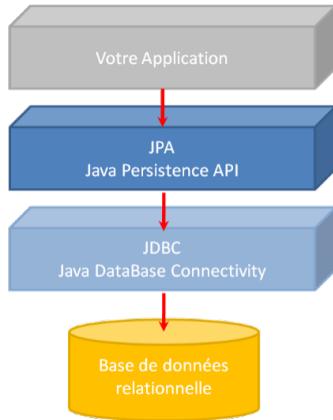


FIGURE 2 – Schéma d'intégration de JPA.

2.1.2 Le maître d'apprentissage

Notre équipe est composée de cinq développeurs, encadrés par un « lead developer », Monsieur Clément LECLERCQ (voir schéma précédent), qui assure le rôle de superviseur. Il prend les décisions stratégiques, coordonne les projets, organise et anime des réunions afin de représenter l'équipe des développeurs. Il est également mon maître d'apprentissage et participe activement au développement sur les différents projets. Notre mission commune est d'assurer le développement et la maintenance de l'ensemble de nos outils informatisés de recueil de données, en mobilisant différents langages et technologies adaptés. En plus de ses tâches techniques, Monsieur Clément LECLERCQ gère la planification des projets, veille au respect des délais, et apporte un soutien à son équipe pour résoudre les problèmes rencontrés afin de garantir la bonne livraison des travaux.

2.1.3 Résumé des travaux proposés par l'entreprise

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

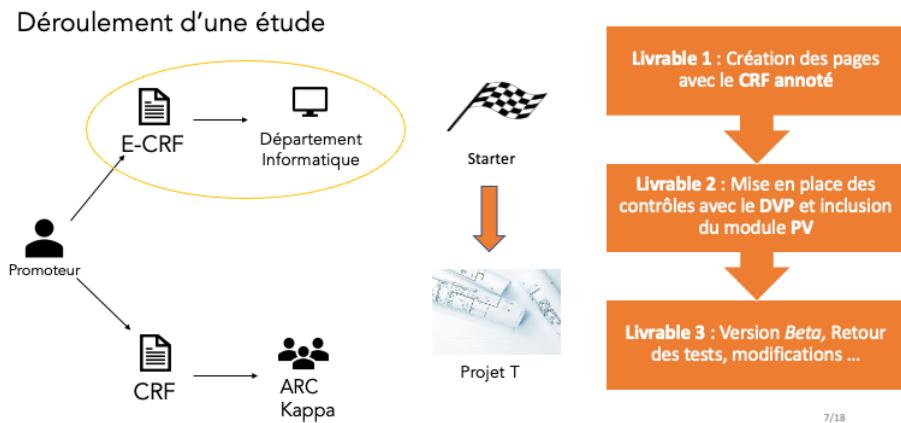


FIGURE 3 – Schéma chronologie d'un projet.

Mon activité principale est de développer et d'entretenir des applications e-CRF¹. 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

1. Electronic Case Report Forms : Formulaire en ligne permettant de recueillir des données.

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

Kappa Santé conçoit et développe des outils informatisés destinés à la réalisation d'études. Mon rôle consiste à créer les solutions permettant de collecter les données des patients. J'interviens presqu'au début du processus. Une fois les données recueillies et nettoyées, elles sont transmises aux équipes de data management pour être préparées, puis aux statisticiens afin d'être analysées, étudiées. Les études sont élaborées par les chefs de projet en collaboration avec les data managers. Tout au long de l'année, j'ai poursuivi mon apprentissage en développement en appliquant les Bonnes Pratiques propres à Kappa Santé. Pour mener à bien nos projets, nous travaillons main dans la main avec un chef de projet et un data manager, ce qui permet d'assurer une coordination efficace entre les différentes étapes. Cette année, j'ai également apporté mon soutien à mes collègues en développant diverses fonctionnalités sur leurs projets, renforçant ainsi la qualité et l'efficacité des outils que nous mettons en place.

- 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 implémentée² 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.
- 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 Queries : Il s'agit d'une fonctionnalité spécifique à Kappa Santé qui consiste en une série de contrôles automatisés déclenchés par l'action d'un bouton accessible au Data Manager. Ces contrôles permettent, par exemple, de vérifier si une date saisie est antérieure à une autre. Grâce à ce système, le Data Manager peut être immédiatement informé d'une incohérence, décider de la signaler ou, le cas échéant, valider malgré tout la donnée.
- 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 présenter ce projet à des promoteurs pour répondre aux appels d'offres.

2. Une interface implémentée désigne, en programmation orientée objet, le contrat qu'une classe s'engage à respecter lorsqu'elle « implémente » cette interface.

- Implémentation de la Pharmacovigilance : C'est l'ensemble des activités visant à détecter, évaluer, comprendre et prévenir les effets indésirables ou tout autre problème lié à l'utilisation des médicaments. Chez Kappa Santé, nous les récoltons dans un tableau avec la possibilité de faire évoluer la ligne. Un export PDF est possible.

Mes missions sont également : Création de fiches de procédures, la participations aux réunions. Aujourd’hui, j’ai mes propres études en tant que développeuse principale. Tout commence par la création de l’étude avec la mise en place de tout ce dont nous avons besoin pour son bon déroulement (base de données, préparation des fichiers…). Au cours du développement de l’étude, on retrouvera les fonctionnalités vues 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 l'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.

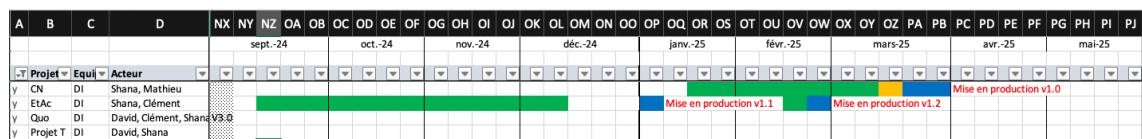


FIGURE 4 – Planning des projets sur lesquels j'ai pu travailler.

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.

Les études rassemblent environ 5 000 utilisateurs. Pendant les phases moins chargées de mes projets, j'épaule mes collègues sur leurs missions, 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. Forte de cette expérience, je me prépare désormais à explorer de nouvelles perspectives professionnelles.

3 Introduction

3.1 Contexte et enjeux

L'IoT³ a révolutionné de nombreux aspects de notre société : la santé, l'agriculture, 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 lidars⁴, les systèmes d'aide à la conduite (ADAS⁵) 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[31] fournit des informations et des statistiques sur les accidents de la route. Les données définitives datent du 31 mai 2024.

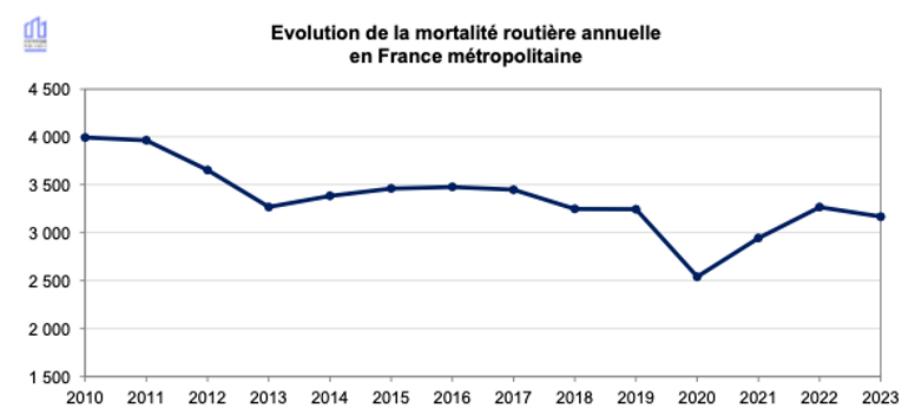


FIGURE 5 – ONISR données relatives aux accidents corporels enregistrés par les forces de l'ordre en France métropolitaine.

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.

3. Internet des objets.

4. Light Detection And Ranging : C'est un système de mesure qui utilise un faisceau laser pour calculer avec précision la distance d'un objet.

5. Advanced Driver Assistance System : Désigne l'ensemble des technologies embarquées dans un véhicule destinées à améliorer la sécurité, le confort et l'efficacité de conduite.

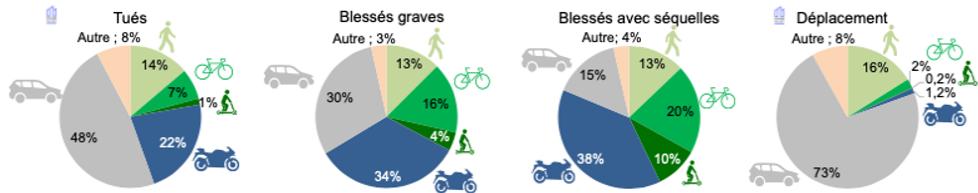


FIGURE 6 – ONISR Données relatives aux accidents corporels enregistrés par les forces de l'ordre, en France métropolitaine.

Concernant les 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 et 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. Voici quelques exemples :

- **Les capteurs et caméras** : détectent les obstacles, surveillent l'environnement et assistent à la conduite (ex. : radars, lidars, caméras 360°). Selon dDruid[13] 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 en 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. C'est une technologie qui lie la sécurité et le confort.
- **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)⁶ qui permettent aux véhicules et aux infrastructures routières comme les feux de signalisation, les panneaux d'échanger des informations en temps réel.

6. Infrastructure Technology Services.

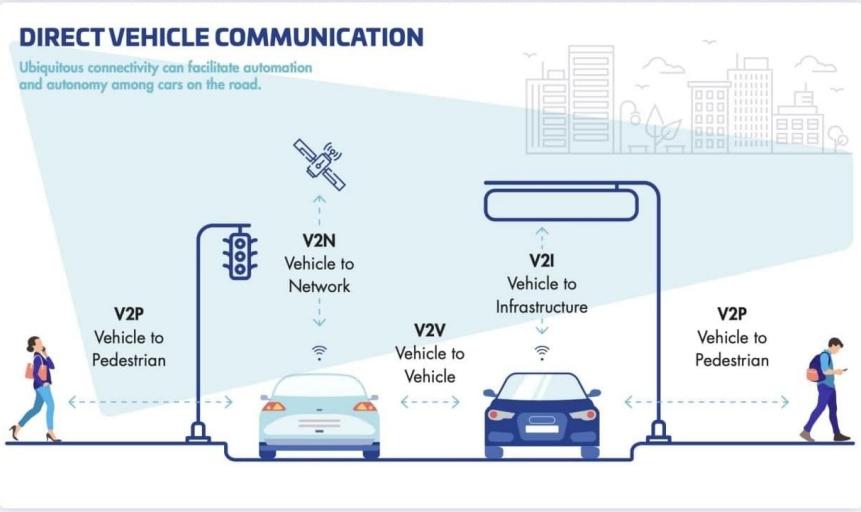


FIGURE 8 – La communication V2X

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[25].

4 État de l'art

4.1 Les technologies IoT dans les voitures

[Commentaire: introduction] Selon l'entreprise Objenious [19], 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 TCAC⁷ de 23,8 % sur cette période [35].

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'info-divertissement 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 [20]. Les premiers calculateurs électriques embarqués⁸ ont été introduits à la fin des années 1970, principalement pour la gestion du moteur. Leur présence s'est progressivement renforcée, et l'utilisation généralisée de capteurs et de calculateurs s'est imposée dans les années 1990 et 2000 avec l'apparition de systèmes comme l'ABS⁹, l'ESP¹⁰ ou encore l'injection électronique¹¹. Aujourd'hui, les véhicules modernes intègrent plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de capteurs et de calculateurs, qui assurent le fonctionnement et la sécurité de l'ensemble du véhicule.

Les différentes données émises par un véhicule peuvent être **techniques** (par exemple : état de charge de la batterie, autonomie restante ...), **usage** (par exemple : type de trajet, style de conduite...) et **personnelles** (par exemple : titulaire de la carte grise, agenda du conducteur,...). Un véhicule

7. Taux de Croissance Annuel Composé : C'est un indicateur qui permet de mesurer la croissance moyenne d'un marché, d'un chiffre d'affaires ou d'un investissement sur plusieurs années, en tenant compte de l'effet cumulatif d'une année sur l'autre.

8. ECU : Petits ordinateurs présents dans les véhicules. Ils collectent les informations transmises par différents capteurs et envoient ensuite des ordres aux actionneurs comme l'injection de carburant, ABS ...

9. Antiblockiersystem : Évite le blocage des roues.

10. Electronic Stability Program : C'est un système d'aide à la conduite qui agit automatiquement lors d'une perte d'adhérence, un virage mal négocié ... sur le freinage de chaque roue et parfois sur le moteur pour aider le conducteur à garder le contrôle du véhicule.

11. L'injection électronique : Règle automatiquement la quantité de carburant envoyée dans le moteur selon différents paramètres comme la vitesse, la température, la pression ou la position de l'accélérateur. Grâce aux capteurs et à un calculateur (ECU), elle permet d'optimiser la combustion.

autonome échange des données avec son environnement, et ces données suivent un cycle de vie comportant plusieurs étapes :

TABLE 1 – Comparaison simplifiée entre le RGPD (UE) et le PIPL (Chine)

Critère	RGPD (UE)	PIPL (Chine)
Entrée en vigueur	25 mai 2018	1er novembre 2021
Champ d'application	Données personnelles des résidents de l'UE, où que soit l'entreprise.	Données personnelles des résidents chinois, y compris par des entreprises étrangères.
Consentement	Doit être clair et explicite.	Doit être volontaire et informé, explicite pour données sensibles.
Droits des individus	Accès, rectification, effacement, opposition, portabilité.	Accès, copie, correction, suppression, explication du traitement.
Données sensibles	Conditions strictes (santé, biométriques, opinions...).	Consentement explicite et mesures renforcées (santé, localisation, finances...).
Transferts internationaux	Vers pays « adéquats » ou avec clauses contractuelles.	Évaluation de sécurité et parfois autorisation de l'autorité chinoise.
Sanctions	Jusqu'à 20 M€ ou 4% du chiffre d'affaires.	Jusqu'à 50 M CNY (~7 M€) ou 5% du chiffre d'affaires.

En résumé, bien que le RGPD et le PIPL partagent un objectif commun de protection des données personnelles, leurs approches diffèrent sur plusieurs points, notamment dans la portée territoriale, le rôle des autorités de contrôle et le niveau de centralisation des obligations. Le RGPD se concentre sur la transparence et le consentement explicite, tandis que le PIPL intègre des exigences plus strictes en matière de transfert transfrontalier et un contrôle accru de l'État.

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[21].

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 et leur impact environnemental varie. Voici les 3 modes de fonctionnement des STI¹² :

- **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.

12. Système de Transport Intelligent

- **Communication infrastructure au véhicule (I2V)** : 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	Bandes 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 9 – 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. Sa consommation en énergie est faible.
- 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. Cependant, il est plus coûteux en énergie que le ITS-G5.

Technologie	Avantages	Inconvénients	Consommation
Réseaux cellulaires (2G, 3G, 4G, 5G)	Large couverture géographique ; accès aux serveurs distants ; 5G : faible latence et hauts débits	Dépend de l’opérateur ; pas de communication directe véhicule-véhicule	Élevée (surtout 4G/5G), optimisée avec la 5G
ITS-G5 (Wi-Fi, 5,9 GHz)	Communication directe locale (V2V, V2I, V2P) ; très faible latence ; pas besoin d’opérateur	Portée limitée (300 m) ; saturation possible en milieu urbain ; pas de connexion native au cloud	Faible (similaire au Wi-Fi)
C-V2X (Cellular V2X)	Combine communication locale et cellulaire ; haute fiabilité et évolutif ; adapté aux véhicules autonomes	Déploiement complexe ; coût plus élevé (infrastructures + équipements)	Moyenne à élevée (double interface radio), mais optimisée en 5G

TABLE 2 – Comparaison des technologies V2X.

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[34].

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 à interpréter les données fournies par les capteurs pour prendre des décisions en temps réel. La décision repose sur des algorithmes avancés d'IA¹³ 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 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) 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."

13. Intelligence Artificielle

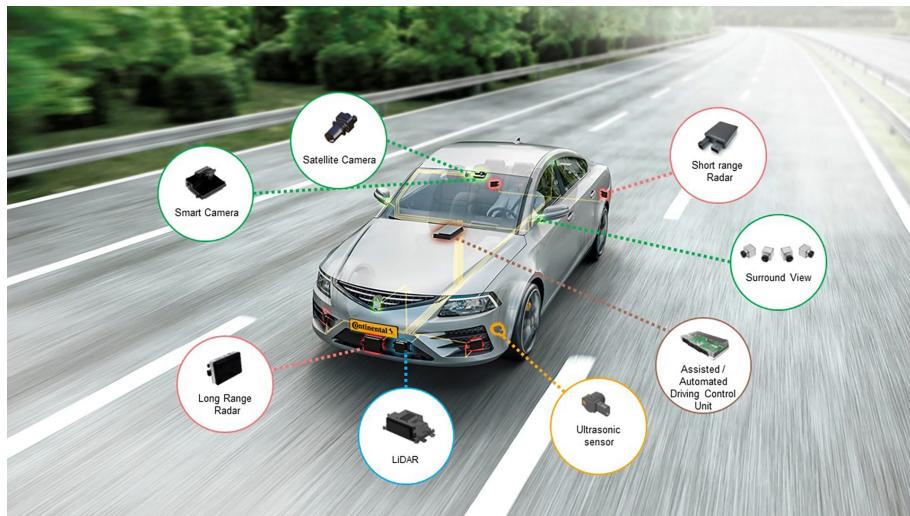


FIGURE 10 – Voiture embarquant des systèmes ADAS[18]

4.1.4 Analyse des données et prise de décision

L'entreprise Valeo a conçu un radar Lidar « Scala ». D'après LeParisien [29], l'entreprise, en 2020 produit 200 000 exemplaires par an. Grâce à cette technologie, la voiture peut circuler sans l'intervention d'un conducteur.

[Commentaire: yann lecun] Les recherches sur l'utilisation et l'interprétation des données recueillies par les capteurs sont au coeur des sujets depuis quelques années. Yann LeCun, précurseur du deep learning¹⁴ 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.

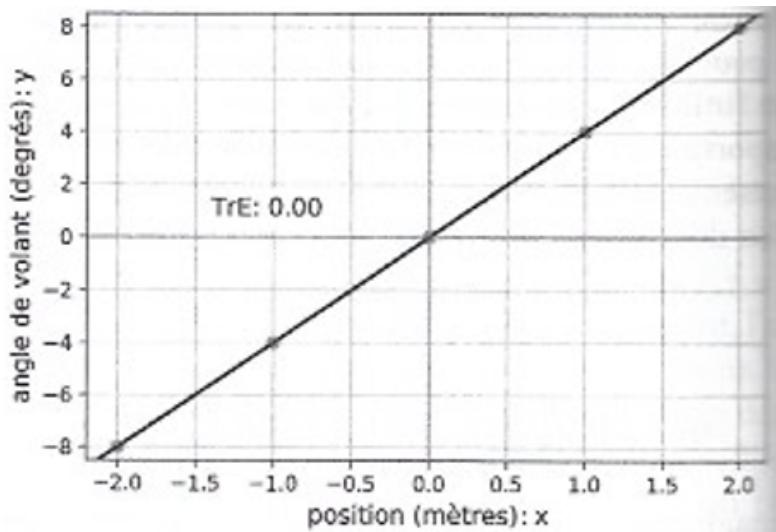


FIGURE 11 – Graphe page 88 du livre "Quand la machine apprend".

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 :

14. L'apprentissage automatique.

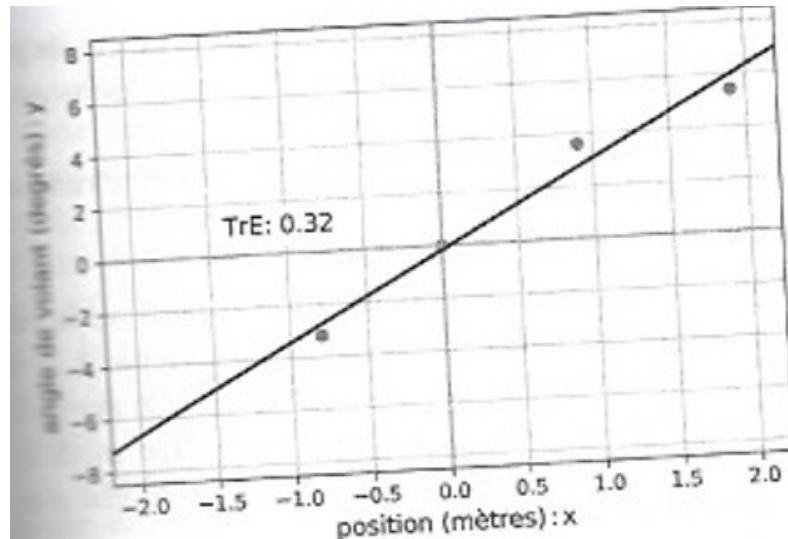


FIGURE 12 – Graphe page 88 du livre "Quand la machine apprend".

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.

[Commentaire: Conclusion Technologie voitures IOT] 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.

[Commentaire: conférence] 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 inertielles (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 observateurs¹⁵ 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.

15. Observateur : Un outil mathématique ou algorithmique qui permet d'estimer des grandeurs internes d'un système (états) à partir de mesures disponibles et d'un modèle du système.

4.2 Les défis spécifiques liés à la sécurité des motos

4.2.1 Particularités des motos sur la route

[Commentaire: Moins de visibilité et plus de vulnérabilité en cas d'accident. Dynamique de conduite différente des voitures (accélération rapide, inclinaison dans les virages).] 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 accroît le risque de collision, les motos pouvant surprendre les autres usagers de la route. De plus, la configuration du véhicule 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 M. ARIQUI, vice-président de l'innovation et des relations internationales, nous avons abordé la manière dont le regard influence la maîtrise des 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 solliciter¹⁶ la moto influencent la trajectoire. La sécurité routière[32] 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 13 – Trajectoire de sécurité

Ci-dessous, l'importance de l'utilisation des trajectoires de sécurité. Cela permet d'anticiper

16. Solliciter la moto désigne le fait de mettre à contribution, de forcer ou de demander un effort particulier à la machine, par exemple, changer l'inclinaison de la moto de droite à gauche.

les événements qui arrivent en face de nous. Attention, c'est un exemple et bien d'autres facteurs rentrent en jeu en terme de sécurité (graviers, cyclistes, camions, bus, tracteur...).



FIGURE 14 – 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 plaçant externe, cela permet d'agrandir le champ de vision et de pouvoir voir le véhicule qui arrive en face. En se plaçant 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 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 15 – Illustration de la trajectoire de sécurité en montagne

La conduite de nuit constitue un facteur déterminant dans l'analyse des trajectoires. En effet, la réduction de la luminosité naturelle limite fortement les capacités d'anticipation du pilote. Les obstacles, les irrégularités de la chaussée ou encore l'amorce d'un virage sont perçus plus tardivement, ce qui réduit le temps de réaction disponible. La visibilité est restreinte au champ d'éclairage du véhicule, souvent limité, ce qui oblige le motard à adapter sa vitesse et sa position pour conserver une marge de sécurité. Ainsi, la nuit impose au motard une adaptation constante de son pilotage, où la prudence et l'anticipation deviennent des éléments clés pour compenser l'absence de repères

visuels précis.

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 et applications [30] émergent sur le marché de la moto, contribuant à la création d’un écosystème favorable. Celui-ci permet aux propriétaires de deux-roues de s’équiper à moindre coût, notamment grâce à des formules par abonnement. Une des applications que nous pouvons exploiter sur le marché est Géoride. 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.

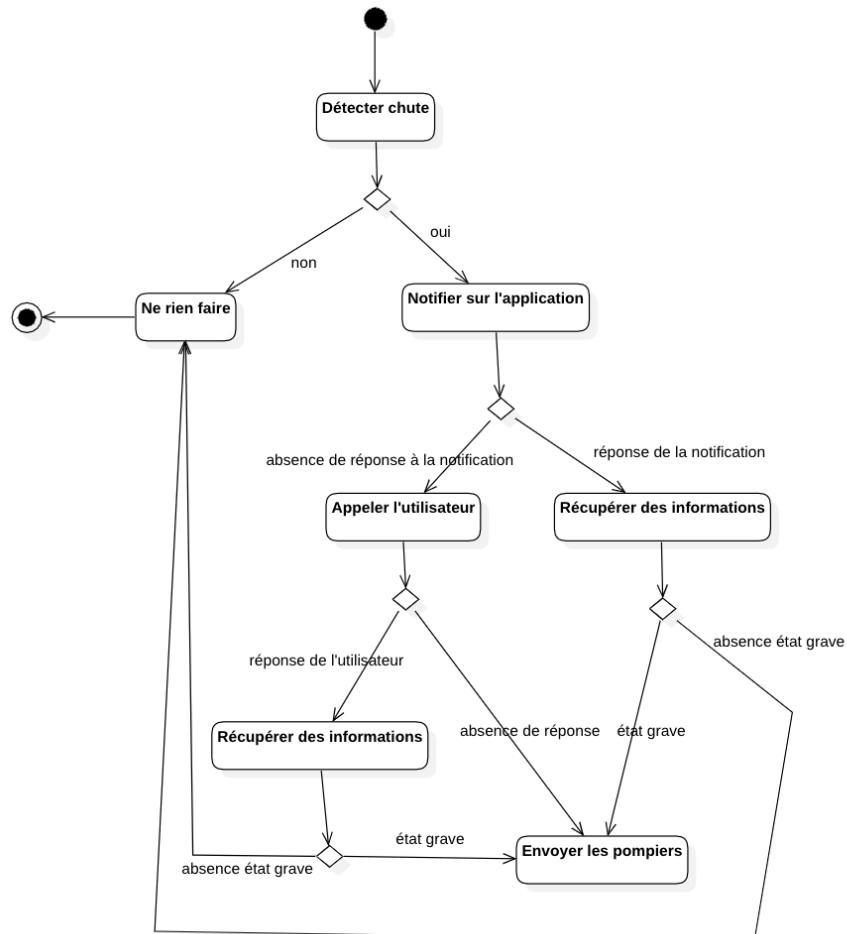


FIGURE 16 – Diagramme d'action du boîtier Géoride concernant la sécurité du motard

Ci-dessous, un témoignage d'un utilisateur de l'application Géoride à la suite d'un accident à moto. Ce dernier souligne l'importance et le rôle capital 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.

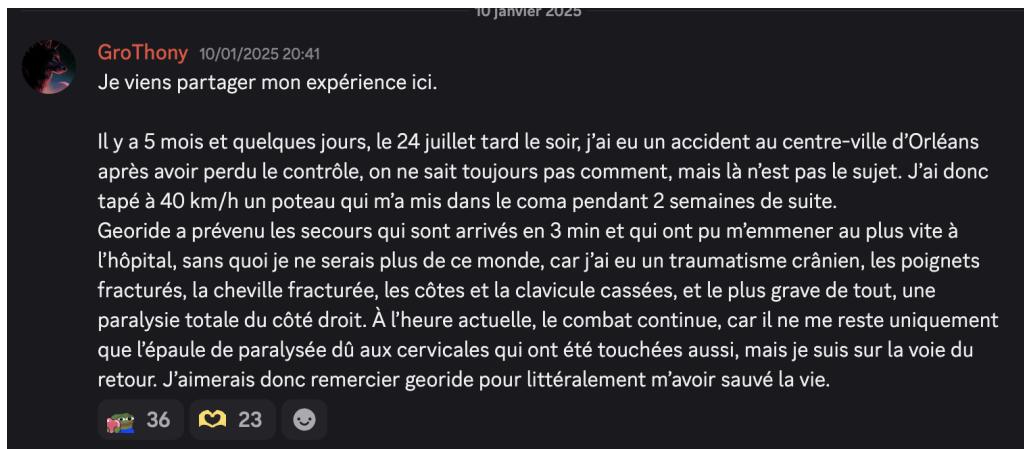


FIGURE 17 – Témoignage d'un utilisateur de Géoride sur le Discord de l'application réservé pour la communauté

Les dommages corporels sont très violents, même à faible vitesse. La rapidité est un facteur clé dans la survie d'un usager. L'application mobile fournit également des statistiques détaillées sur les performances du véhicule et des alertes en cas de vol ou de panne. Géoride 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.

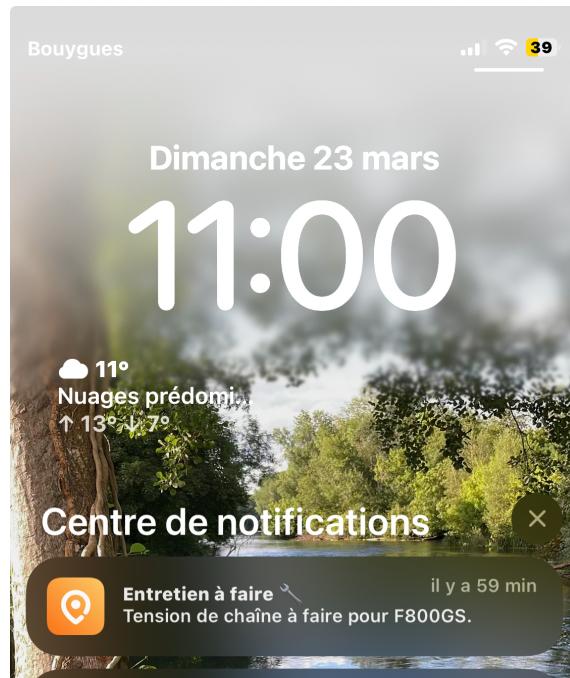


FIGURE 18 – Exemple de notification de l'application Géoride

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.

[Commentaire: Sena, cardo] Des dispositifs de communication sans fil sont également disponibles pour les motards. Des marques comme Sena et Cardo[11] 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 prédefini.

[Commentaire: application] 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 [24]. 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.

[Commentaire: transition] Ces applications mobiles représentent une première étape vers une conduite plus sûre et connectée. Toutefois, des solutions plus avancées comme la communication V2X offrent des perspectives encore plus complètes pour renforcer la sécurité des motards.

[Commentaire: V2X moto] Le concept est exactement le même que pour les voitures : Il s'agit de permettre aux motos de communiquer avec leur environnement via des technologies sans fil (ITS-G5, C-V2X). On parle alors de :

- M2V (Motorcycle-to-Vehicle) : C'est la communication moto entre d'autres véhicules comme la voiture, le camion, le bus, etc,
- M2I (Motorcycle-to-Infrastructure) : C'est la communication moto avec les feux de circulation, les panneaux, les radars de vitesse, etc,
- M2P (Motorcycle-to-Pedestrian) : C'est la communication moto avec les piétons pour avertir ou être averti des piétons proches.

La communication V2X pour motos existe déjà sous forme de projets pilotes et de standards en cours de normalisation (CMC¹⁷, 5GAA¹⁸). Elle fonctionne comme pour les voitures mais adaptée aux contraintes spécifiques des deux-roues : taille, consommation, sécurité. Elle est vue comme un élément clé de l'ARAS¹⁹ de demain.

17. Connected Motorcycle Consortium : C'est une organisation internationale créée par plusieurs constructeurs (BMW, Honda, Yamaha, KTM, etc.) et équipementiers. Son objectif est de développer et harmoniser les technologies de communication connectée (V2X) adaptées aux motos

18. 5G Automotive Association : C'est une organisation mondiale réunissant constructeurs automobiles, opérateurs télécoms et fournisseurs de technologies. Elle travaille sur l'intégration des réseaux cellulaires 4G/5G dans la mobilité connectée, en particulier pour les systèmes C-V2X et la conduite automatisée.

19. Advanced Rider Assistance System : Désigne l'ensemble des dispositifs électroniques et logiciels conçus pour améliorer la sécurité et le confort des conducteurs de deux-roues motorisés.

[Commentaire: bmw] Pour des motos plus modernes, par exemple, BMW propose des motos connectées[7]. 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 aussi 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.

[Commentaire: ADAS MOTO] Concernant les systèmes ADAS des motos[16], il y a des systèmes de freinage ABS, 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 [16]. D'après une étude britannique, la technologie ADAS permet de réduire de 20 à 30%[22] 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 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"[9]. Le système ARAS utilise des radars avant et arrière qui communiquent en permanence avec l'Unité de contrôle du moteur (ECU) et divers capteurs.

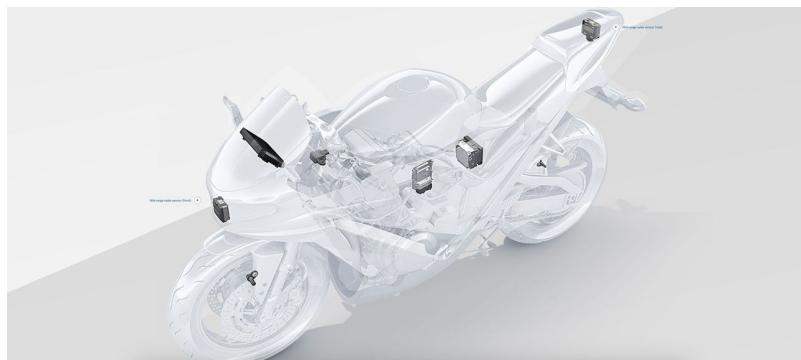


FIGURE 19 – Moto avec la technologie ARAS.

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.
- Ajuster 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.

- Régulateur de vitesse adaptatif + Stop and Go : Maintien automatique de la distance de sécurité.
- Emergency Brake Assist : Illustré par la Figure 20 est un freinage d'urgence en cas de risque de collision.

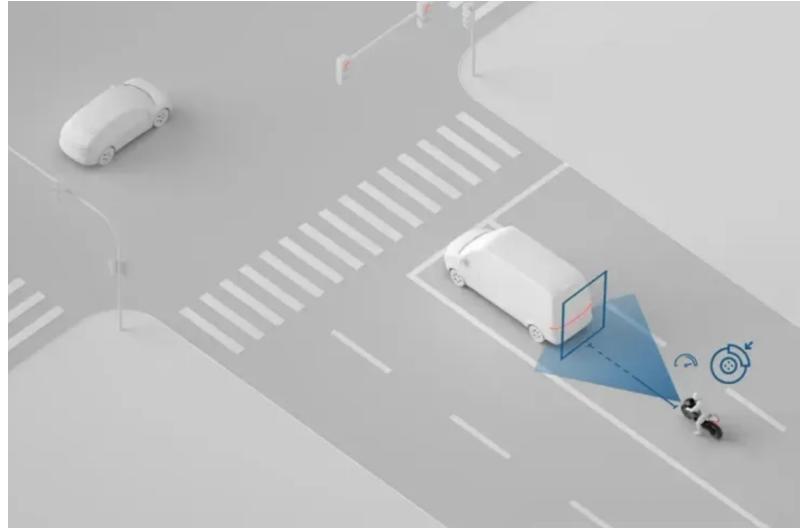


FIGURE 20 – Moto avec la technologie ARAS pour un freinage d'urgence.

- Rear Collision Warning : Illustré par la Figure 21, il détecte si un véhicule s'approche trop près par l'arrière et active les feux de détresse en cas de risque de collision.

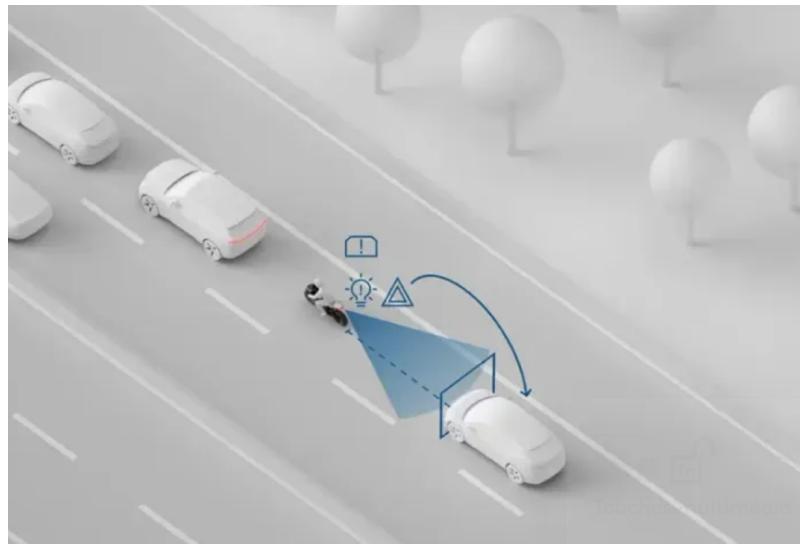


FIGURE 21 – Moto avec la technologie ARAS pour alerter en cas de collision arrière.

"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 [27] 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 22 – Moto R1300 GS autonome de BMW (2019)

[Commentaire: Conclusion] 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 [8], 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. Au sein de Kappa Santé, où j'effectue mon alternance, la sécurité et la confidentialité des données personnelles sont considérées comme essentielles. 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 Freins des technologies IoT actuelles pour les motos

[Commentaire: Problèmes de détection par les capteurs des voitures autonomes. Communication insuffisante entre motos et véhicules connectés. Difficultés d'adaptation des infrastructures intelligentes aux besoins des motards.]

[Commentaire: Problème de détection] Le progrès côté deux-roues est très intéressant et évolue de façon significative. La Verge TS Ultra est une moto électrique [23] 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 à la 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 à un moteur de plus de 204 chevaux, permettant une accélération de 0 à 100 km/h en 2,5 secondes. 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 [36], initialement imaginée dans la série animée "Tokyo Override". 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.

[Commentaire: moto électrique] Avec Mr ARIQUI, vice-président de l'innovation et des relations internationales, nous avons également abordé le sujet des motos électriques. Prenons l'exemple des voitures électriques. D'après le site Ilek [14], le moteur électrique "Celui-ci est capable de fournir un couple instantané²⁰ pour des accélérations fluides et dynamiques". Les voitures électriques ont les mêmes comportements que les motos électriques. Elles sont puissantes, réagissent instantanément. Leur couple²¹ est élevé. À la suite d'un échange avec Monsieur ARIQUI, il ressort que les motos électriques présentent un comportement radicalement différent de celui des motos thermiques. En effet, la puissance est délivrée de manière instantanée, sans aucun temps de latence entre l'action sur l'accélérateur et la réaction de la moto. Ce mode de fonctionnement requiert une phase d'adaptation de la part du motard, tant en termes de maîtrise que d'anticipation des réactions de la machine. Cela demande une adaptation du motard. Une étude présentée lors de la 3ème réunion [10] à Nantes a démontré que, selon les usagers, les performances des motos électriques équivalentes à 125 cc seraient comparables à celles de modèles thermiques de 600 cc. La question soulevée est la suivante : "Faudrait-il un permis spécifique pour les motos électriques ?". Il a été souligné que de nombreux motards privilégient le mode « économie ». Contrairement à ce que son nom laisse penser, ce choix n'est pas uniquement motivé par la volonté de réduire la consommation d'énergie. En réalité, ce mode est souvent utilisé pour abaisser la puissance délivrée et limiter le couple disponible, ce qui rend la moto plus souple, plus "facile à contrôler" et moins

20. Un couple instantané c'est la mesure du couple à un moment donné qui peut varier en fonction du régime moteur, de la position du piston ou de la charge appliquée.

21. 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.

dangereuse. 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[10] sur le retour sensoriel de la vitesse des motards de moto électrique. Cette expérience a été réalisée sur un simulateur. 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 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.

[Commentaire: transition] Les motos électriques intègrent de plus en plus de technologies connectées mais leur adoption peut être freinée par la mentalité de certains motards, encore attachés à une approche plus traditionnelle de la conduite.

[Commentaire: la mentalité] D'après une étude réalisée par « The American Automobile Association (AAA) »[15] 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 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.

[Commentaire: les accidents] 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 (Annexe ??) 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. **[Commentaire: limite juridiques]** En cas d'accident, les lois concernant l'intégration d'aide à la conduite est complexe. Nous pouvons nous demander si les règles seront les mêmes que celles soumises aux voitures. Un décret de 2021 précise que si le conducteur respecte les conditions d'utilisation, il peut être dégagé de responsabilité pénale. Le constructeur devient alors pénalement responsable. Toutefois, le conducteur doit rester prêt à reprendre le contrôle lorsqu'il lui est demandé. Selon Maître Sharon Bensemhoun-Gonzalez sur son site[6], les véhicules autonomes, aujourd'hui utilisés à divers niveaux d'autonomie (jusqu'au niveau 3 selon la norme SAE), soulèvent d'importantes questions en cas d'accident, notamment concernant l'attribution de la responsabilité entre conducteur, constructeur, ou fournisseur de logiciel. Le cadre

juridique français reste flou en 2025, malgré les réflexions en cours au niveau européen. Chaque accident nécessite une analyse au cas par cas, souvent complexe pour les victimes. L'indemnisation reste un droit fondamental, notamment via la loi Badinter (1985), et ne peut être remise en question par l'innovation technique.

Maître Gonzalez distingue plusieurs situations possibles :

- Erreur logicielle (par exemple Un freinage inapproprié par le système autonome)
- Défaillance d'un capteur (mauvaise perception de l'environnement)
- Inaction du conducteur obligé de reprendre la main

Les responsables peuvent être :

- Conducteur : responsabilité civile via l'assurance, même si son intervention n'était pas nécessaire en continu.
- Constructeur ou fournisseur : en cas de défaut technique ou vice, une responsabilité contractuelle ou liée à la responsabilité du produit peut être recherchée.
- Responsabilité pénale : possible en cas de négligence, désactivation de dispositifs de sécurité ou défaut d'entretien volontaire.

Enfin, la victime peut porter plainte ou bien établir un procès-verbal, réaliser des expertises (médicales, matérielle), demander une indemnisation et ou engager une action envers le constructeur. L'utilisation de boîtes noires sont utiles pour l'attribution des faits après accident. L'article[17] du 1er août 2025, un jury en Floride a condamné Tesla à 243 M\$ dans un dossier d'accident mortel lié à « Autopilot ». Ce n'est pas du droit UE, mais c'est souvent cité en Europe car il illustre la façon dont des preuves logicielles et de conception sont discutées.

Même si l'évolution et le progrès de cette technologie impressionnent et présentent de bons résultats, la technologie montre de nombreuses limites et n'est pas totalement au point.

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 être 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.

[Commentaire: Transition vers l'analyse appliquée] À l'issue de cet état de l'art, le mémoire s'oriente vers une analyse appliquée. Il s'agit d'examiner les besoins spécifiques des motards, de confronter les apports théoriques aux retours du terrain, puis d'évaluer les solutions existantes afin d'identifier des pistes d'adaptation et d'innovation.

5 Mémoire

[Commentaire: Idées en cours ainsi que re formulation] De nombreux systèmes IoT déjà présents sur les voitures trouvent également leur place sur les motos, tels que l'alerte d'angle mort, l'ABS, l'anti-patinage ou encore le contrôle de traction. Toutefois, malgré ces points communs, des différences significatives subsistent entre ces deux types de véhicules, notamment dans leur comportement et leurs contraintes spécifiques. Dans cette partie, je vais concentrer mon analyse sur l'évaluation de la route et sur les moyens d'optimiser la prise de trajectoire.

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.]**

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: TRAJECTOIRES SECURITÉidée : 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.

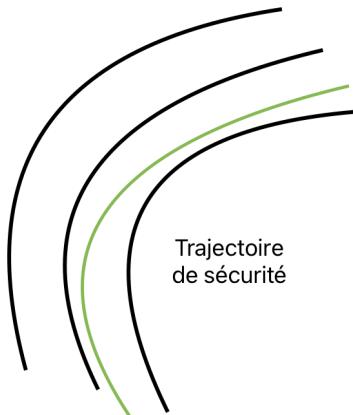


FIGURE 23 – Trajectoire de sécurité utilisée sans obstacle

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.

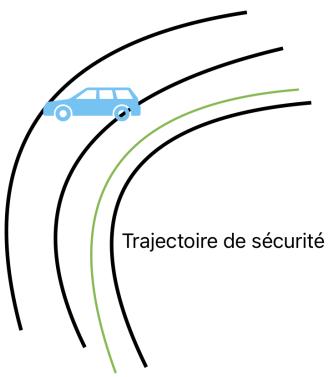


FIGURE 24 – Trajectoire de sécurité utilisée avec un autre usager

Instinctivement, le motard va se rapprocher de l'intérieur 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 facteurs compromettent instantanément l'adhérence des pneumatiques, ce qui peut entraîner une perte de contrôle et, potentiellement, une chute.

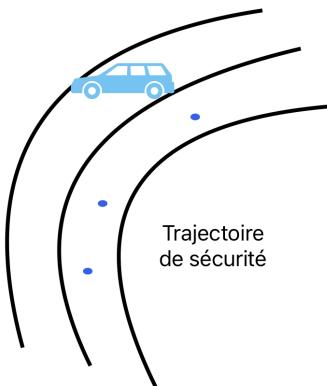


FIGURE 25 – Autre configuration de la route avec plusieurs autres dangers

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

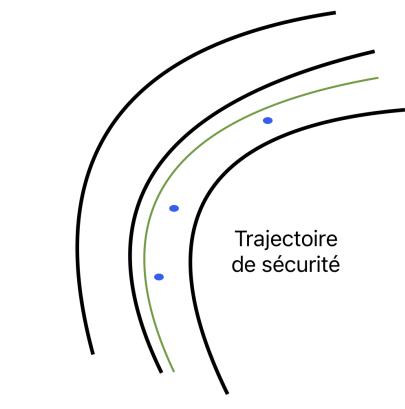
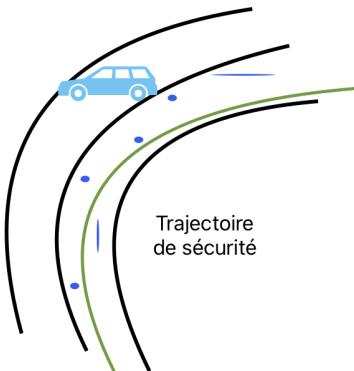
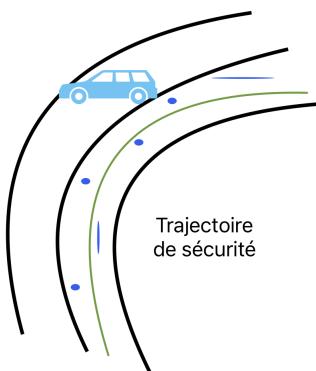


FIGURE 26 – Trajectoire de sécurité utilisée avec des dangers sur la route

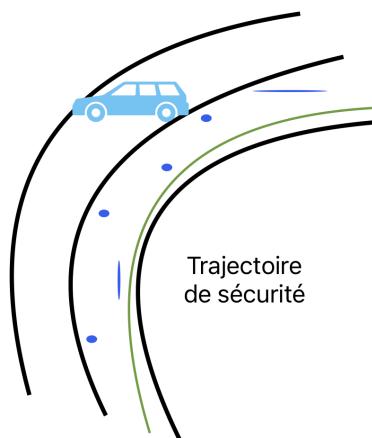
Cette trajectoire améliore l'adhérence des pneus, mais elle présente un risque important en cas de danger venant en sens inverse. Si un véhicule surgit en face, le motard dispose de très peu de temps pour réagir ou se décaler, ce qui peut entraîner un accident. Il est donc essentiel d'adapter sa trajectoire 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 27 – Autres exemples de trajectoires de sécurité

Analysons et commentons ces trajectoires :

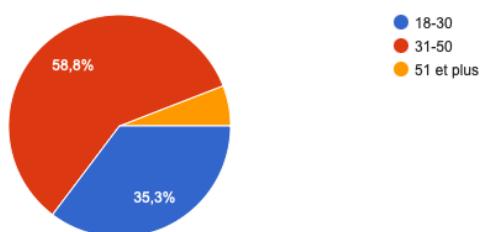
- Trajectoire 1 : C'est la plus sécurisante. Elle permet de s'éloigner efficacement du véhicule venant en sens inverse. Toutefois, si la vitesse est trop élevée, il sera difficile de revenir à l'intérieur du virage, comme le montre la trajectoire en vert.
- Trajectoire 2 : Elle est plus risquée, car 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 aucune n'est parfaite. 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

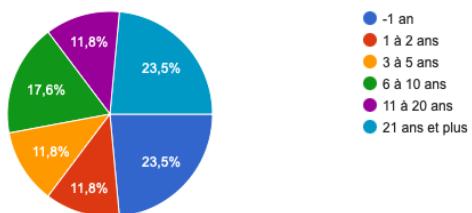
est exigeante et complexe et combien de facteurs doivent être pris en compte pour envisager une assistance efficace.

5.1.2 Enquête auprès de motards - Recueil de ressentis

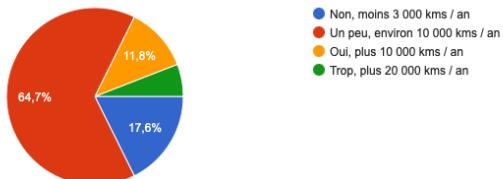
Afin de mieux répondre la problématique, j'ai réalisé une enquête auprès de plusieurs groupes de motards sur les réseaux sociaux, dans le but de recueillir leur ressentis. Comprendre le point de vue des principaux concernés est en effet primordial pour une analyse pertinente. Cela m'a permis de mieux comprendre leurs besoins, leurs attendus afin d'avoir un œil beaucoup plus objectif de ce que moi je peux vivre, ressentir.. L'échantillon retenu comprend une vingtaine de participants, avec une répartition de 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 28 – Profils des participants

Pour conclure, l'enquête a permis de recueillir les témoignages de motards aux profils variés. Une majorité d'entre eux parcourt moins de 3 000 km par an, ce qui représente un faible kilométrage

et donc une expérience relativement limitée sur la route. Par ailleurs, la plupart des répondants possèdent des deux-roues de type roadster, principalement dans des cylindrées comprises entre 400 cc et 600 cc. On retrouve des Honda, Kawasaki, Aprilia, KTM et Yamaha. Ce sont des motos qui sont inférieures à 10 000 euros, neuves chez le concessionnaire. Au cours de mes derniers voyages dans les Alpes (Suisse, Italie et France), et en Autriche, j'ai observé une forte présence de motos BMW GS²². J'estime que ces modèles représentaient entre 50% et 70% des deux-roues rencontrés sur les routes de montagne. Ce sont des motos robustes et confortables pour les voyages pouvant embarquer beaucoup de technologies.

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 percuter 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 étaient 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, gravillons...). 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.

Les réseaux sociaux témoignent régulièrement d'accidents impliquant des motards, rappelant à quel point ils restent des usagers particulièrement exposés. Par exemple, un article (Voir Article ??) récent publié par Ouest-France rapporte qu'une jeune femme de 26 ans a perdu tragiquement la vie lors d'une leçon de moto-école dans l'Ain. L'accident s'est produit le samedi 2 août 2025 près de Châtillon-la-Palud. Alors qu'elle circulait sur une portion de route comportant plusieurs virages, elle a perdu le contrôle de son véhicule et percuté violemment une glissière de sécurité. La jeune femme n'a pas survécu à ses blessures. Aucun autre véhicule ne serait impliqué. Ce tragique événement rappelle une fois de plus l'importance d'améliorer constamment la sécurité des motards et l'importance de savoir bien aborder un virage.

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

22. 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.

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. 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.

L'intégration de l'IoT dans le domaine motocycliste constitue un défi complexe, nécessitant la prise en compte de multiples facteurs tels que l'environnement, les habitudes de conduite et les attentes des usagers. Les solutions mises en œuvre doivent non seulement s'adapter aux situations variées, mais aussi respecter l'essence même de la pratique : le plaisir et la passion du pilotage.

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 ?

]

5.2.1 Exemples d'IoT adaptés et développés 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, HUD²³ et parfois même des alertes de proximité de véhicules. Certaines marques permettent la communication entre motards via Bluetooth ou 4G,
- Systèmes d'aide à la navigation : Solutions telles que Calimoto, TomTom Ride... offrent une navigation simplifiée, pensée pour les deux-roues, avec une interface minimalistre et résistante aux intempéries.

La technologie peut jouer un rôle essentiel pour la prise de virage la nuit. Les phares adaptatifs représentent déjà une première solution pour pallier ce problème. Les phares adaptatifs ajustent automatiquement l'angle et l'intensité du faisceau lumineux en fonction de la vitesse, de l'inclinaison ou de la trajectoire améliorant ainsi la visibilité dans les virages. Des systèmes IoT embarqués pourraient aller plus loin en intégrant des capteurs de luminosité, des caméras thermiques ou infrarouges, permettant de détecter les piétons, animaux ou obstacles au-delà du champ des phares classiques. De tels dispositifs offrirait au motard une meilleure capacité d'anticipation, réduisant ainsi les risques liés à la conduite nocturne.

Ces exemples illustrent que l'écosystème IoT appliqué à la moto progresse mais demeure nettement moins mature et avancé que celui dédié à l'automobile. Il serait donc pertinent de mesurer concrètement l'impact de ces technologies sur la sécurité, en s'appuyant sur des données chiffrées. Par exemple, quantifier la baisse du nombre de blessures graves grâce à l'utilisation d'airbags intelligents permettrait de dépasser le simple discours technologique pour appuyer les bénéfices réels. La question de l'accessibilité reste également centrale. Le coût élevé de certains équipements comme un casque connecté pouvant varier entre 500 et 1500 euros peut représenter un frein pour de nombreux motards. De plus, la complexité liée à l'installation, à la configuration ou à la mise à jour de ces dispositifs peut décourager leur adoption à grande échelle.

23. affichage tête haute

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.

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[12], 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 3 – 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 ³	2 000 – 4 500 euros
Moto légère	125 cm ³	3 500 – 5 000 euros
Moto moyenne cylindrée	300–650 cm ³	6 000 – 9 000 euros
Moto grosse cylindrée	700–1 000+ cm ³	10 000 – 18 000 euros
Moto sportive haut de gamme	1 000+ cm ³	18 000 – 30 000 euros
Moto électrique	équiv. 50–125 cm ³	4 000 – 12 000 euros
Prix moyen toutes catégories		7 000 – 9 000 euros

TABLE 4 – Prix moyen estimé des deux-roues neufs en 2025 (France/Europe) par The Market Reports.

Pour conclure, le coût de la technologie LIDAR appliquée aux deux-roues représente une part très importante du prix total d'une moto neuve. Selon les estimations, son intégration varie entre 12% et 84% du prix moyen d'un deux-roues (7 000 à 9 000 €). Cela signifie que, pour certains modèles, le prix du capteur peut représenter presque autant que la moto elle-même. Ce surcoût constitue donc un frein majeur à la généralisation de la technologie, surtout dans un marché où le critère prix reste déterminant pour de nombreux usagers.

5.2.3 GPS

Aujourd'hui, les systèmes GPS intégrés aux voitures ont atteint un haut niveau de maturité. Ils offrent une expérience fluide, fiable et parfaitement adaptée aux besoins de la conduite automobile. Les GPS modernes embarquent des composants hautement performants : un récepteur GNSS²⁴, des antennes optimisées, ainsi que des processeurs et chipsets de navigation capables d'interpréter rapidement les données satellites et d'exécuter des algorithmes de positionnement précis. L'ensemble est complété par des haut-parleurs intégrés, permettant de recevoir des instructions vocales sans quitter la route des yeux. La situation est bien différente pour les motos. Ici, aucun habitacle ne protège contre la pluie, la poussière, les vibrations ou les chocs. Un GPS moto doit donc être conçu pour résister à ces contraintes. Cela implique l'utilisation d'un boîtier étanche et renforcé, conforme aux normes IP67/IP68²⁵, ainsi qu'un système de fixation robuste pour supporter les conditions de roulage. Les vibrations du moteur et de la route peuvent en effet détériorer des composants qui, dans un environnement automobile stable, ne subiraient aucun dommage.

24. Global Navigation Satellite System : capte les signaux émis par les satellites GPS, Galileo, GLONASS ou BeiDou pour calculer la position.

25. Les indices IP67 et IP68, définis par la norme IEC 60529, indiquent le niveau de protection d'un appareil contre la pénétration de poussière et d'eau.

5.2.4 Contraintes techniques et comparaison voitures vs motos dans l'adoption des technologies IoT

L'intégration de solutions IoT diffère fortement entre voitures et motos, en raison de contraintes physiques, énergétiques et environnementales propres à chaque type de véhicule. Le tableau 5 présente une vue d'ensemble, suivie d'une analyse détaillée des points clés pour les deux-roues.

TABLE 5 – Comparaison des conditions d'intégration des technologies IoT entre voitures et motos.

Critère	Voiture	Moto
Espace disponible	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
Alimentation électrique	Batterie de forte capacité alimentant de multiples systèmes	Batterie réduite, imposant des dispositifs sobres en énergie
Protection matérielle	Composants protégés par un habitacle fermé	Composants exposés aux intempéries, à la poussière, aux vibrations et aux variations thermiques
Sécurité passive	Ceintures, airbags frontaux et latéraux, zones de déformation	Gilet airbag externe, casque et protections mécaniques personnelles
Ergonomie d'affichage	Écrans tactiles, HUD, commandes vocales	Affichage minimaliste via smartphone, casque connecté ou retour haptique/sonore
Maturité des technologies IoT	Avancée (ADAS, V2X, LIDAR, conduite autonome partielle)	Émergente (casques connectés, gilets intelligents, radars adaptatifs)

Pour les motos, la compacité des composants est un enjeu majeur : chaque capteur, antenne ou processeur doit être discret pour préserver l'esthétique et la maniabilité. La faible capacité électrique impose l'utilisation de modules économies en énergie. Les équipements doivent également résister à un environnement exigeant : exposition directe à la pluie, aux rayons UV, à la poussière et aux projections, avec un indice de protection d'au moins IP67 pour garantir la fiabilité. Les vibrations et chocs, dus au moteur et à l'état de la route, nécessitent des fixations robustes et des matériaux résistants à l'usure. L'ergonomie est aussi déterminante : l'affichage des données, qu'il soit intégré au tableau de bord ou au casque, doit rester lisible et non distrayant. Ces contraintes cumulées expliquent que, malgré un fort potentiel en matière de sécurité et de confort, certaines innovations IoT restent encore peu démocratisées sur deux-roues.

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 à la sécurité des deux-roues et parfois élaborées par des motards eux-mêmes. Je pense à Géoride par exemple, qui est une application complète et qui répond parfaitement aux besoins pour des prix compétitifs.

Un enjeu particulièrement intéressant réside dans l'interopérabilité entre les différents systèmes IoT. Par exemple, des dispositifs comme Géoride qui propose un système de détection de chute pourraient être connectés à d'autres équipements comme un intercom Cardo, ou encore directement à la moto si elle dispose d'un système intégré similaire. Une telle synchronisation permettrait d'éviter la redondance comme le déclenchement de plusieurs appels d'urgence pour un même incident.

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.

]

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

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[26] 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 (gravillons, feuilles, trous et autres). À l'heure d'aujourd'hui, cette solution reste extrêmement complexe. La solution que je propose ici permettrait de fonctionner dans la plupart des cas.



FIGURE 29 – 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 26, 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 :

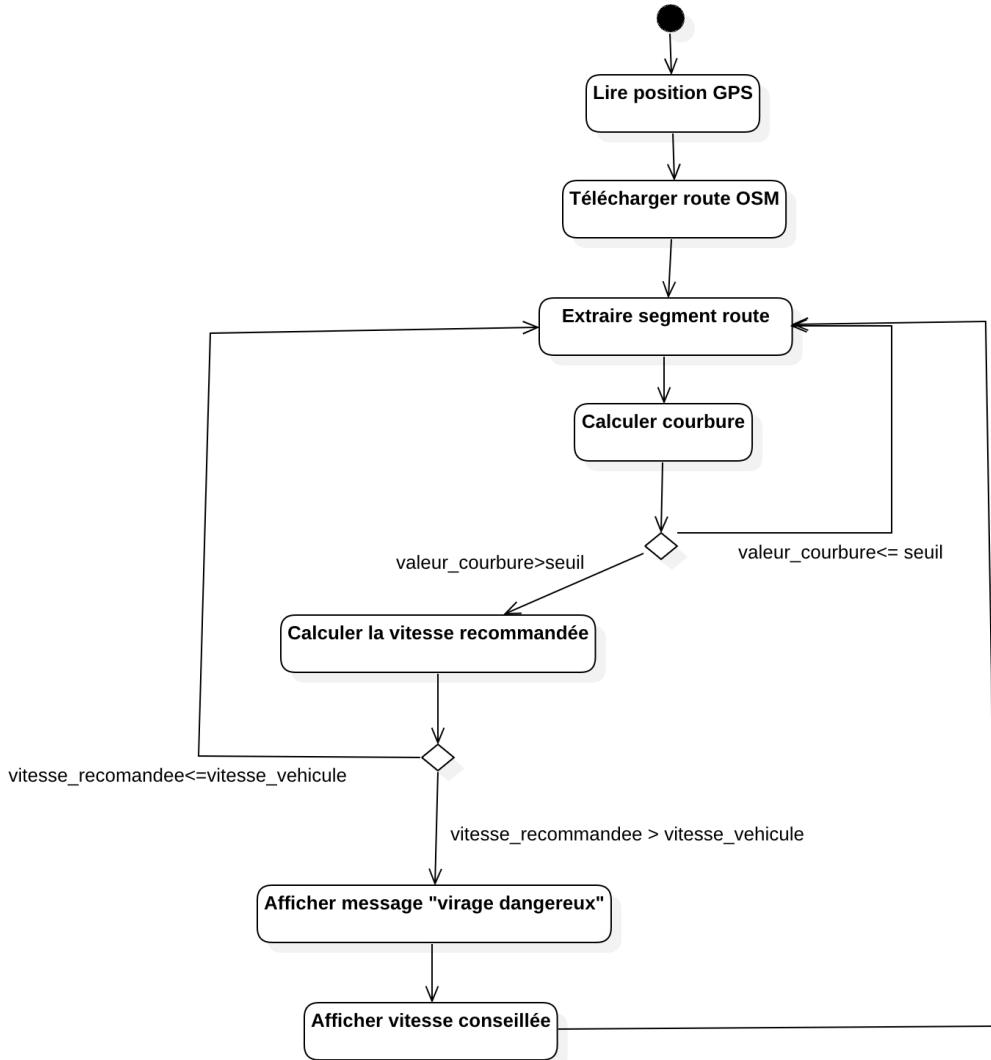


FIGURE 30 – Diagramme d'action du Système de prévention de virages dangereux

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

- `osmnx`[28] : 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 noeuds (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 carrefour, 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 trajectoire est de pouvoir anticiper le virage et par conséquent, adapter la vitesse pour optimiser l'adhérence et de définir 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 6 – 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° à 40° dans le virage ce qui augmente énormément le risque de chute, surtout s'il y a du gravier, pluie, vent latéral... L'estimation “courbure $> 0.1 = \text{danger } > 60 \text{ km/h}”$ 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 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 31, 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

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 (dans ce programme) 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

Pour déterminer sur quel tronçon de route se situe le véhicule, plusieurs étapes sont nécessaires. Tout d'abord, la position GPS actuelle (latitude, longitude) est convertie en un objet géométrique de type Point, dans le format attendu par la bibliothèque shapely (longitude, latitude). Ce point matérialise la localisation du véhicule dans l'espace. Ensuite, les segments de route issus d'OpenStreetMap (contenus dans la variable edges) sont parcourus. Chaque segment est représenté sous forme de LineString et l'on calcule sa distance par rapport au point du véhicule. Ces valeurs sont enregistrées dans une nouvelle colonne appelée distance. Enfin, on identifie le tronçon le plus proche à l'instant T. Pour cela, on recherche simplement la distance minimale dans le tableau, puis on extrait le segment correspondant. Celui-ci représente la portion de route la plus proche de la position actuelle du véhicule.

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 :

$$\text{courbure_virage} = \kappa = \frac{1}{R}$$

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.

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

a + b = distance réelle parcourue en suivant la route

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

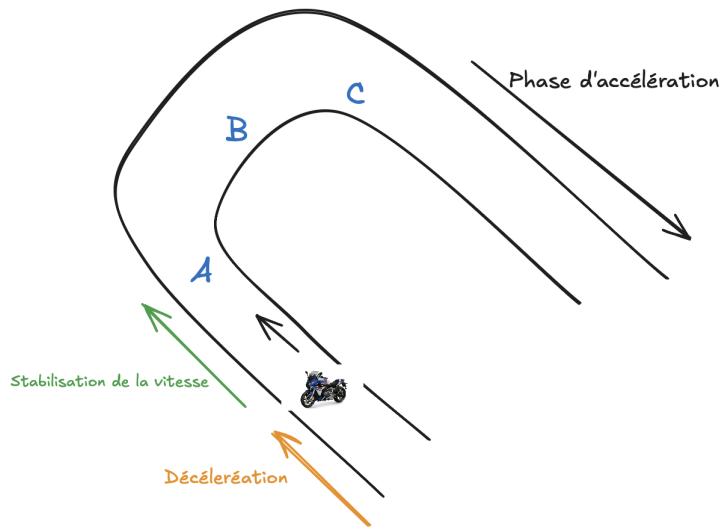


FIGURE 31 – Schéma présentant une moto avant un virage

La vitesse recommandée se calcule grâce à la courbure. Pour calculer la vitesse recommandée, conseillée, deux solutions s'offrent 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 gyroscopique²⁶. 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 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.

²⁶. 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 calcul_courbure(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 = calcul_courbure(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.

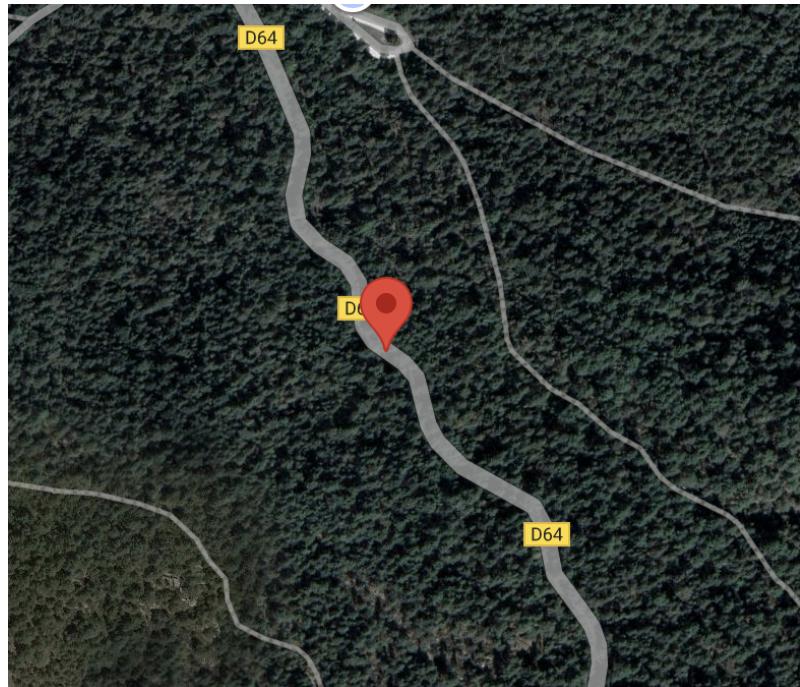


FIGURE 32 – Point GPS des 17 virages.

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

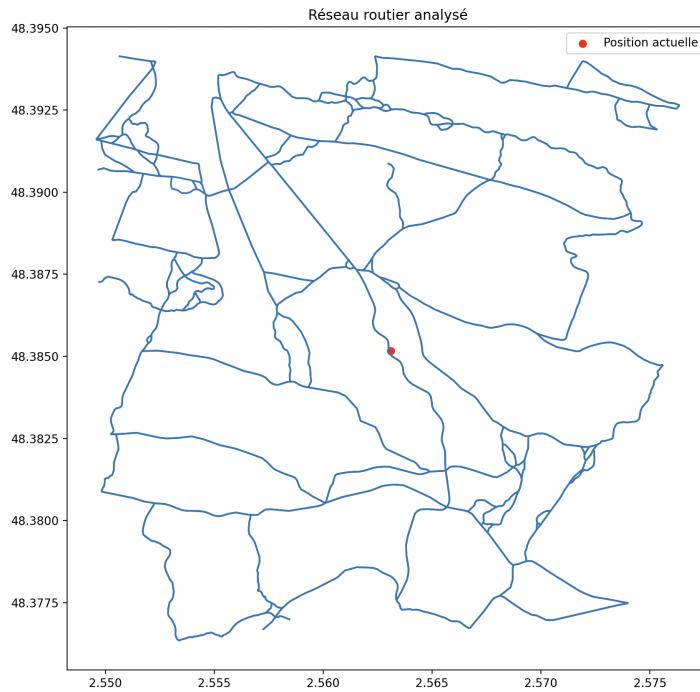


FIGURE 33 – Réseau routier interprété par le programme pour la position 48.385171, 2.563108.

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

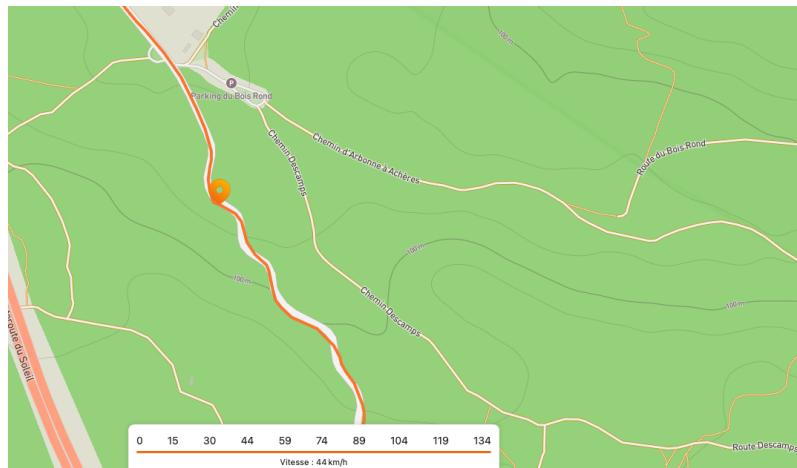


FIGURE 34 – Carte du traceur Géoride arrivant sur la position 48.385171, 2.563108.

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 35 – 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 36 – 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 37 – 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 38 – 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 39 – 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 l'aborder. 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.

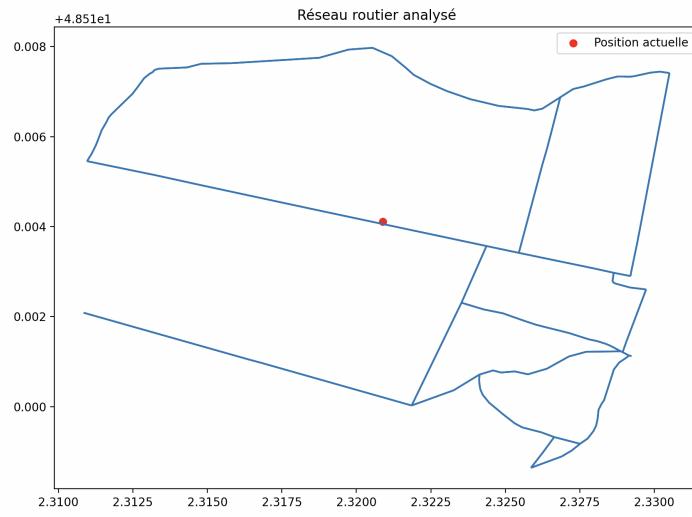


FIGURE 40 – Réseau routier interprété par le programme aux points GPS 48.514114, 2.320894.



FIGURE 41 – 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 : (48.5144999, 2.3177499)
- 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 42 – 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 43 – 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. 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, par exemple un virage serré, une limitation de vitesse conseillée, une alerte "danger". L'objectif est de minimiser le temps d'attention visuelle requis, et ainsi éviter que le motard détourne les yeux de la route. 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.
- Alerte 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 motard.

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. 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 44 – 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 intéressant 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. De plus, comme évoqué précédemment, cette assistance n'agit pas directement sur le contrôle du véhicule. D'un point de vue légal, cela rend l'analyse des responsabilités plus simple et limite les zones d'ombre en cas d'incident.

5.4.2 Faisabilité technique

Le programme que je propose utilise des données routières open source via OpenStreetMap (OSM). Ces données sont accessibles et gratuites. Cependant, on peut mettre en évidence 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).

[Commentaire: Faisabilité d'implémentation sur un véhicule réel] 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 RTK²⁷ 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 serait nécessaire. Concernant le matériel embarqué, nous pouvons utiliser un microcontrôleur²⁸. La consommation de ces appareils ne doivent pas être trop importante car cela reste un "petit véhicule" avec une petite batterie. Cela pourrait impliquer des pannes comme un alternateur ou une bobine²⁹ HS. Les limites actuellement restent les prix. En effet, ajouter des fonctionnalités de sécurité ayant des prix trop important baissent l'attractivité des motos.

27. Real-Time Kinematic : Améliore la précision du GPS en temps réel. Utilisé en topographie, drones, agriculture...

28. (Par exemple : Raspberry Pi, Arduino, ESP32) : Capable d'exécuter les traitements de calcul ou de les transmettre à une plateforme distante.

29. Bobine d'allumage : Agit comme un transformateur entre la batterie et les bougies, et sans elle, le moteur ne peut pas démarrer.

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.

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 7 – 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 freinages. 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 de prédition d'abord de virages dangereux. La marge d'erreur n'est pas permise dans le domaine de la sécurité d'un usager.

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 8 – 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.

[Commentaire: Prototype et simulation] Le prototype logiciel développé offre plusieurs fonctionnalités clés :

- La position actuelle du véhicule,
- Le chargement dynamique d'un réseau routier à partir d'un point GPS,
- L'identification du segment de route le plus proche avec une visualisation de l'environnement routier,
- Le calcul de la courbure de ce segment,
- La recommandation d'une vitesse adaptée à cette courbure,

Ce prototype constitue une première base fonctionnelle, ouvrant la voie à de futures expérimentations sur le terrain.

Les évolutions qui peuvent être 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,
- La réalisation de simulations ou d'expérimentations plus poussées sur circuit fermé

5.4.3 Confidentialité et Données

[Commentaire: Cadre juridique international autour du GPS] 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'accessibilité 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 RF³⁰, 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.

[Commentaire: Conformité avec le Code de la route français] 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[33] 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, ...) 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 d'attention ou une mauvaise visibilité peut avoir des conséquences graves.

[Commentaire: Protection des données personnelles (RGPD)] 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.

^{30.} Radio Fréquence : Ce sont des dispositifs qui émettent et reçoivent des ondes radio pour communiquer entre 3 kHz et 300 GHz.

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 discréetion, 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 : Voici des exemples de données pertinentes :

- Latitude et longitude,
- Vitesse instantanée,
- Horodatage précis,
- 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.

[Commentaire: Contraintes techniques liées à la performance et à la sécurité] 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).

Voici des propositions de composants que nous pourrions utiliser :

- u-blox NEO-M8N : excellent rapport qualité/prix, 40 €

- u-blox ZED-F9P : haute précision RTK³¹, mais cher (200 – 250 €)
- SparkFun GPS + IMU : combine ZED-F9P + BNO080 (IMU) : 450 €

5.4.4 Limites et contraintes

[Commentaire: programme] Lorsqu'il s'agit d'évaluer la dangerosité d'un virage, la courbure n'est qu'un élément parmi d'autres. L'état de la chaussée, les conditions météo, la visibilité, la signalisation, la présence d'un passager craintif ou non, ou encore la présence d'obstacles peuvent tous influencer, parfois fortement, le niveau de risque réel ou perçu. Même un virage apparemment simple peut devenir délicat si ces facteurs sont défavorables. Le système que j'ai conçu s'appuie sur un algorithme volontairement simplifié, il ne prend pas en compte ces variables. Cette approche a l'avantage d'être robuste, rapide et stable dans des contextes variés, mais elle présente aussi ses limites : un manque de précision peut apparaître lorsque les conditions réelles diffèrent des hypothèses de calcul. La fiabilité dépend en grande partie de deux paramètres extérieurs : la fréquence de mise à jour de la cartographie et la précision du positionnement GPS. Une carte obsolète ou un signal perturbé peut altérer la qualité des recommandations. En situation réelle, le comportement du conducteur reste un facteur clé. Certains motards pourraient ignorer l'alerte, par choix, par inattention ou simplement par manque de confiance. À l'inverse, un excès de confiance dans le système peut mener à une dépendance excessive, ce qui réduit la vigilance et les capacités d'analyse face à l'imprévu. Enfin, un dysfonctionnement ou un retard dans les calculs pourrait fournir une information inadaptée au contexte, ce qui représente un risque, surtout si l'utilisateur se repose entièrement sur l'assistance pour prendre ses décisions.

[Commentaire: iot et réprise yann lecun] Bien que des avancées significatives aient été réalisées depuis plusieurs années grâce aux travaux pionniers de Yann LeCun, figure majeure du deep learning, l'adaptation de ces technologies au domaine de la moto demeure un défi particulièrement complexe. En effet, automatiser la prise de décision en temps réel, déterminer si une trajectoire est sécurisante ou non implique une précision extrême et une capacité d'analyse rapide dans un environnement hautement variable. Prévoir une trajectoire « sécurisante » ne se limite pas à calculer un simple tracé : cela nécessite de prendre en compte une multitude de paramètres. Aujourd'hui, de nombreux chercheurs soulignent que la complexité et la variabilité de ces conditions rendent cette anticipation quasiment impossible avec les technologies actuelles. Le moindre retard dans le traitement ou la moindre approximation dans la modélisation pourrait entraîner une recommandation inadaptée, voire dangereuse.

[Commentaire: Conclusion] Le développement d'un système d'assistance à la conduite basé sur la courbure routière et la géolocalisation soulève à la fois des enjeux techniques, légaux et éthiques. Pour être viable, un tel dispositif doit impérativement respecter la réglementation en vigueur, protéger la vie privée des utilisateurs et offrir une robustesse suffisante pour fonctionner en conditions réelles. Le programme développé fonctionne correctement dans la majorité des situations. Toutefois, certaines limites persistent. Par exemple, la récupération des données relatives aux limitations de vitesse n'est pas toujours fiable. En conséquence, une valeur par défaut de 80 km/h est appliquée. Sur autoroute, où la limitation est de 130 km/h, la courbure calculée est généralement très faible, ce qui ne déclenche aucune recommandation particulière. Cependant, sur des voies

31. Real Time Kinematic : obtention d'une précision de l'ordre du centimètre.

rapides limitées à 110 km/h, une courbure suffisamment prononcée peut entraîner l'émission d'une alerte à 80 km/h. Ce choix résulte d'un compromis assumé, visant à privilégier la prudence et à garantir la sécurité du conducteur. Du point de vue des utilisateurs, certains motards expérimentés peuvent percevoir cette assistance comme trop « prévoyante ». En effet, plus un motard accumule d'expérience et diversifie ses trajets, plus il développe une capacité d'anticipation naturelle face aux dangers. Pour ces profils aguerris, l'alerte peut donc sembler déclenchée trop tôt. Pour répondre à cette critique, il serait pertinent d'intégrer une variable personnalisable permettant de définir différents niveaux d'alerte, ajustés selon l'expérience ou les préférences du motard. L'accélération pourrait également constituer un paramètre déclencheur : une variation brutale avant un virage pourrait par exemple générer une alerte anticipée, renforçant ainsi la prévention des risques. Enfin, il convient de souligner que le programme actuel (Figure 35) s'appuie uniquement sur les données disponibles à l'instant présent. Il ne prend pas encore en compte la trajectoire prévisionnelle ni la direction future du véhicule. L'intégration d'une dimension prédictive dans une version ultérieure permettrait d'améliorer considérablement la pertinence des recommandations et d'anticiper avec plus de précision les situations à risque.

5.5 Apport personnel et positionnement

[Commentaire: Une prise de conscience collective] 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.

[Commentaire: Une technologie encore en transition] De nombreux projets technologiques sont en cours. L'ABS est désormais obligatoire sur les motos de plus de 125 cm³ 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 donc non standardisés, coûteux en prix et en énergie et souvent en phase de test. La moto, par sa nature (équilibre, dynamisme, légèreté, 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. Je considère qu'un système capable de fournir des alertes constitue aujourd'hui une piste intéressante. Il s'agit d'un dispositif supplémentaire, qui peut renforcer la sécurité du motard sans jamais devenir indispensable. Autrement dit, si le système venait à ne pas fonctionner, le pilote resterait parfaitement en mesure de conduire sans en dépendre.

[Commentaire: Une évolution des mentalités] 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... De plus, des lois doivent être plus claires et mieux mises à disposition des concernés afin de ne pas être surpris.

[Commentaire: Une vision d'ensemble : combler le fossé] 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.

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 vient de marquer la fin de trois années particulièrement formatrices au sein de Kappa Santé. Durant cette période, j'ai acquis et consolidé de nombreuses compétences techniques liées au métier de développeur, telles que l'analyse, la programmation, la gestion rigoureuse des données sensibles, ainsi que l'intégration des bonnes pratiques dans mes méthodes 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] M. BENSEMHOUN-GONZALEZ, « Avocat accident Toulouse : Qui est responsable en cas d'accident impliquant une voiture autonome ? » Rapp. tech., mai 2025. adresse : <https://www.sharongonzalezavocat.fr/post/avocat-accident-toulouse-voiture-autonome-responsable>.
- [7] BMWMOTORRAD, « L'ASSISTANT DE PASSAGE DE RAPPORTS AUTOMATIQUE (ASA), » rapp. tech. adresse : <https://www.bmw-motorrad.fr/fr/engineering/automated-shift-assistant.html>.
- [8] BOSCH, « Advanced Rider Assistance Systems (ARAS), » rapp. tech. adresse : <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/advanced-rider-assistance-systems-2w/>.
- [9] « 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>.
- [10] A. BOUBEZOUL, *3ème réunion plénière du projet*, Nantes, 30 juin 2024.
- [11] CARDYO, « Packtalk Pro, » rapp. tech. adresse : <https://cardosystems.com/fr/products/packtalk-pro>.
- [12] P. CONSULTING, « Marché des systèmes de capteurs LIDAR, » rapp. tech. adresse : <https://pmarketresearch.com/it/lidar-sensor-systems-market>.
- [13] DDRUID, « Tout savoir sur les capteurs IoT, » rapp. tech., 2023. adresse : <https://ddruid.io/capteurs-iot/>.
- [14] 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..>
- [15] 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/>.
- [16] 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/>.

- [17] FRANCE 24, « Conduite autonome : Tesla condamné à payer 242 millions de dollars pour un accident mortel, » rapp. tech., août 2025. adresse : <https://www.france24.com/fr/%C3%A9co-tech/20250802-tesla-condamn%C3%A9-%C3%A0-payer-242-millions-de-dollars-pour-un-accident-mortel-li%C3%A9-%C3%A0-la-conduite-autonome>.
- [18] Y. FRISONI, « ADAS Sensors and Computing Hardware for 360° perception, » rapp. tech. adresse : <https://conti-engineering.com/areas-of-expertise/automotive/adas/>.
- [19] *La révolution de l'IoT dans l'industrie automobile*, jan. 2025. adresse : <https://objenious.com/blogpost/iot-dans-lindustrie-automobile/>.
- [20] « Le cheminement de la donnée, » rapp. tech. adresse : <https://www.innovauto.org/systemes-embarques/le-cheminement-de-la-donnee>.
- [21] N. LE GENNEC, « Machine Learning et Véhicule autonome : le défi d'une gouvernance des données personnelles automobiles, » thèse de doct., déc. 2023.
- [22] 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/>.
- [23] 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-gr%C3%A2ce-a-lia.html>.
- [24] LIBERTYRIDER, « Liberty Rider, » rapp. tech. adresse : <https://liberty-rider.com/fr>.
- [25] 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/>.
- [26] MCNEWS, « ALERTS TO HELP RIDERS CORNER PROPERLY, » rapp. tech., oct. 2021. adresse : <https://www.motorcyclenews.net/alerts-to-help-riders-corner-properly>.
- [27] B. MOTORRAD, « L'innovation de A à Z, » rapp. tech., 2024. adresse : <https://www.bmw-motorrad.fr/fr/engineering/innovation/innovation.html>.
- [28] « OSMnx 2.0.5, » rapp. tech. adresse : <https://osmnx.readthedocs.io/en/stable/>.
- [29] L. PARISIEN, *Le radar Lidar Scala de Valeo, l'œil des voitures autonomes*, Français, juill. 2019. adresse : <https://youtu.be/qfuVpTghT-w>.
- [30] 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/>.
- [31] L. sécurité ROUTIÈRE, « Accidentalité routière 2023 en France, » Français, rapp. tech., mai 2024.
- [32] 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>.
- [33] 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..>

- [34] I. SYSTEMM, « Qu'est-ce qu'un capteur connecté IoT ? » Rapp. tech., oct. 2022. adresse : <https://www.ip-systemes.com/quest-ce-quun-capteur-connect-iot.html>.
- [35] « 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>.
- [36] 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 Article 1

≡ MENU ouestfrance

Une jeune femme de 26 ans meurt tragiquement pendant une leçon de moto-école dans l'Ain

Une enquête a été ouverte dans l'Ain après un accident de la route mortel, survenu samedi 2 août. Une jeune femme qui suivait un cours de conduite à moto est morte après avoir raté un virage. Dans sa chute, elle a violemment percuté la glissière de sécurité.

Ouest-France avec
NewsGene

Publié le 06/08/2025 à 11h29

3 mois = 3€

LIRE PLUS TARD

PARTAGER

Newsletter Justice et Faits Divers

Chaque semaine, retrouvez les faits divers qui ont marqué l'Ouest

Votre e-mail

OK



Samedi 2 août 2025, une jeune femme s'est tuée dans un accident de moto-école dans l'Ain. Photo d'illustration. |

CRISTELS / PIXABAY

Dans l'[Ain](#), samedi 2 août 2025, une jeune femme de 26 ans est morte en pleine leçon de conduite. Elle était au guidon d'une moto quand l'accident s'est produit, à Châtillon-la-Palud, rapportent [Le Progrès](#) et [La Voix de l'Ain](#).

≡ MENU ouestfrance



Accompagnée par une voiture école, la victime participait à un cours, dans le but de passer plus tard son permis moto, quand elle a perdu le contrôle de son véhicule. Alors qu'elle était sur la route départementale D904, où plusieurs virages en pente se succèdent, elle a raté l'un d'eux.

Une enquête ouverte

Négociant mal le virage, elle a chuté et percuté la glissière de sécurité au bord de la route. Sous la violence du choc, la jeune femme a fait un arrêt cardiorespiratoire. Malgré l'intervention des pompiers, elle n'a pas survécu. Une enquête a été ouverte pour déterminer les circonstances de l'accident, dans lequel aucun autre véhicule n'est impliqué. Les gendarmes ont été chargés de mener ces investigations.

B Article 2

Un motocycliste de 28 ans tué par une Tesla en «conduite entièrement autonome»



PARTAGE



AGENCE QMI

Jeudi, 1 août 2024 04:16
MISE À JOUR Jeudi, 1 août 2024 04:16



Le mode de «conduite entièrement autonome» de Tesla aurait été mis en cause dans la mort d'un motocycliste de 28 ans en avril dernier, alors que le conducteur du véhicule ne regardait pas la route au moment de la collision, ont établi les autorités.

• À lire aussi: [Accidents mortels de voitures Tesla sur «Autopilot»: des ordinateurs piratés révèlent des données inquiétantes sur les caméras](#)

«La prochaine chose [que le conducteur de la Tesla] a sue, c'est qu'il y a eu un bruit et le véhicule a fait une embardée en accélérant avant d'entrer en collision avec la moto devant lui», aurait noté l'un des policiers sur la scène, selon un document de cause probable rapporté par *The Independent* mercredi.

Le conducteur de 56 ans aurait ainsi admis avoir eu les yeux rivés sur son cellulaire au moment où sa Tesla, pilotée en mode de «conduite entièrement autonome», aurait foncé tout droit sur la moto de Jeffrey Nissen, 28 ans, près de Seattle en avril dernier, selon le média britannique.

Le décès du motocycliste de Washington avait été constaté sur les lieux après que l'homme soit resté pris sous le véhicule.

Les autorités américaines auraient ainsi pu confirmer mardi que le véhicule conduisait bien tout seul au moment de l'incident après avoir téléchargé les données de la Tesla Model S 2022.

À l'heure actuelle, aucun système de conduite automatique de Tesla ne peut se conduire entièrement seul, et les conducteurs de ces automobiles doivent être prêts à prendre le contrôle à tout moment, selon ce qu'avait précédemment indiqué le fabricant automobile.

Le conducteur de 56 ans, dont l'identité n'a pas été précisée, avait initialement été arrêté pour enquête sur homicide au volant, mais il en reviendra au

procureur du comté de Snohomish de déterminer si des accusations seront portées dans cette affaire, aurait de son côté indiqué le capitaine Deion Glover à The Associated Press mardi.

La mort du motocycliste serait au moins la deuxième impliquant ce mode de «conduite entièrement autonome» de Tesla, selon l'Administration nationale de la sécurité routière des États-Unis qui aurait également listé 75 autres accidents de la route.

Il n'est cependant pas clair si le système était en faute lors du premier décès, a précisé *The Independent*.

Juste la semaine dernière, le PDG de Tesla, Elon Musk, aurait annoncé que ses systèmes de «conduite entièrement autonome» devraient pouvoir fonctionner sans surveillance humaine d'ici la fin de l'année, a rappelé le média britannique.