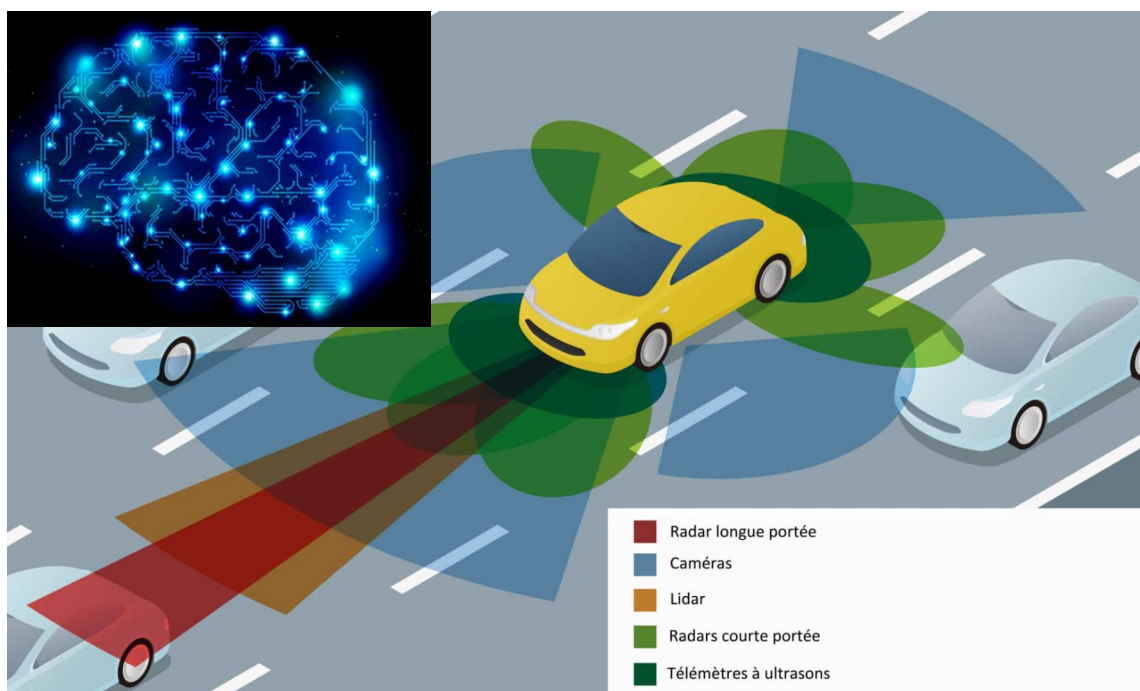


## Capteurs pour la mobilité intelligente



**Etudiants :**

**Lisa LEVASSEUR**

**Axel MARTIN**

**Malek DZIRI**

**Léo DE CASTRO ANTUNES**

**Woody VILAYVONG**

**Baptiste HERSENT**

---

**Enseignant-responsable du projet :**

**Abdelaziz BENSRAIR**

*Cette page est laissée intentionnellement vierge.*

---

Date de remise du rapport : *17/06/2023*

Référence du projet : *STPI/P6/2023 – 01*

Intitulé du projet : *Capteurs pour la mobilité intelligente*

Type de projet : *Bibliographique*

Objectifs du projet :

Le projet vise à développer des capteurs innovants pour améliorer la sécurité, la navigation et l'efficacité des véhicules autonomes. Les objectifs sont nombreux et incluent la conception de capteurs plus précis et fiables pour détecter les obstacles, les piétons, les véhicules et les conditions de conduite. Mais cela nécessite aussi le développement d'algorithmes de traitement des données pour analyser les informations collectées par les capteurs et prendre des décisions en temps réel. En somme, le projet "Capteurs pour la mobilité intelligente" a pour but de faciliter la vie des utilisateurs de véhicules autonomes en développant des technologies de capteurs avancées.

Mots-clefs du projet : *Capteurs – Véhicule autonome – Mobilité – Machine learning*

## TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Travail réalisé et résultats.....	7
3.1. Une modélisation de l'environnement grâce à la complémentarité des capteurs.....	7
3.1.1. Introduction.....	7
3.1.2. Lidars.....	7
3.1.3. Caméras mono-vision.....	9
3.1.4. Caméras stéréo-vision.....	10
3.1.5. Comment fonctionne une caméra ?.....	10
3.1.6. Applications des caméras mono-vision et stéréo-vision.....	11
3.1.7. Avantages et limites des caméras mono-vision, stéréo-vision.....	11
3.2. Un autre enjeu important, la localisation avec précision.....	12
3.2.1. Comment fonctionne un GPS RTK ?.....	12
3.2.2. Applications des GPS RTK.....	13
3.2.3. Limites des GPS RTK.....	15
3.2.4. Conclusion.....	16
3.3. Pourquoi la fusion de capteurs multiples est-elle nécessaire ?.....	16
3.3.1. Les raisons principales de la fusion.....	17
3.4. Les techniques d'apprentissage profond, dit end-to-end.....	18
4. Conclusions et perspectives.....	19
Apport personnel.....	20
5. Bibliographie.....	21
6. ANNEXES.....	22
RAPPORT D'ÉTONNEMENT.....	22

## Index des figures

Figure 1: Capteur LiDAR.....	8
Figure2 : Fonctionnement d'un LiDAR.....	8
Figure 3: Détection des objets d'une caméra mono-vision.....	9
Figure 4: Analyse d'image par stéréo-vision.....	10
Figure 5: Fonctionnement du GPS RTK.....	13
Figure 6: Base fixe d'un GPS RTK.....	14
Figure 7: Fusion des capteurs.....	16

## NOTATIONS, ACRONYMES

GPS RTK : Global Positioning System Real Time Kinematic

IA : Intelligence Artificielle

LIDAR : Light Detection and Ranging

TOF : Time-Of-Flight

## 1. INTRODUCTION

Au cours de son évolution, en vue de sa soif de découverte, l'Homme a développé des moyens de transport de plus en plus efficaces pour effectuer des déplacements invoquant des grandes distances.

Afin de faciliter notre mode de vie, nous cherchons à automatiser nos tâches quotidiennes. Nous avons, pour cela, développé des technologies de plus en plus avancées et sophistiquées comme par exemple des capteurs. Ceux-ci permettent aux machines sur lesquelles ils sont équipés de comprendre et d'appréhender le monde qui les entoure. En joignant le secteur du numérique et celui du transport, cette mobilité a évolué afin de devenir «mobilité intelligente» ou «Smart mobility».

Elle permet aux utilisateurs de choisir leur mode de transport et de s'adapter aux changements imprévus en temps réel. Cette mobilité intelligente se veut plus efficace mais surtout plus respectueuse de l'environnement. Dans ce projet, nous allons présenter et analyser un exemple d'utilisation de capteurs au service de la mobilité intelligente : la voiture autonome.

Ce projet traitera des questions suivantes : “Quels sont les usages des capteurs pour la mobilité intelligente ? “ et «Comment la fusion des capteurs permet à la voiture de prendre des décisions et pourquoi l'usage d'intelligence artificielle est nécessaire pour automatiser la voiture ?».

## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Dès le début du projet, nous avons mis en place une organisation rigoureuse pour garantir un bon déroulement du travail.

Nous avons établi une planification détaillée avec plusieurs échéances en fonction des dates de rendu imposées. Cela a été fait de manière réaliste pour chaque phase du projet, la réalisation d'un plan, la recherche d'informations, la réalisation d'un diaporama, la préparation de la soutenance et enfin la conception de l'affiche et la rédaction du rapport.

De plus, une répartition des tâches a été effectuée en fonction des compétences, de l'expérience et des préférences de chaque membre de l'équipe. Nous avons nommé un chef de projet pour superviser l'ensemble du projet et veiller à son avancement. Pour faciliter la réalisation des tâches, nous avons divisé notre groupe de 6 membres en 3 équipes, chacune étant responsable d'une sous-tâche clairement définie.

Enfin la communication a été un élément clé pour assurer une coordination et une collaboration efficace entre les différentes équipes. Nous avons organisé des points sur l'avancement de chacun à chaque début de séance, créé un groupe de discussion et un drive partagé pour des raisons pratiques. Nous avons également échangé avec notre professeur encadrant tout au long du projet et organisé plusieurs entraînements pour notre soutenance afin d'assurer sa qualité et son efficacité.

Grâce à cette organisation, nous avons pu gérer efficacement le projet, avec une répartition des tâches clairement définie et une collaboration étroite entre les différentes équipes.

### **3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS**

#### **3.1. Une modélisation de l'environnement grâce à la complémentarité des capteurs**

##### **3.1.1. Introduction**

Pour les voitures autonomes ou pour tout autres types de mobilités intelligentes, il est important de bien analyser et de percevoir l'environnement, pour pouvoir se déplacer en toute sécurité. Il est donc nécessaire de collecter une grande quantité d'informations afin d'obtenir une fiabilité plus grande.

##### **Deux grands types de capteurs**

Un capteur transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable comme une tension électrique, la position d'une aiguille ou bien encore un niveau de liquide. Il existe deux grands types de capteurs, les capteurs actifs et les capteurs passifs.

Les capteurs actifs sont émetteurs et récepteurs d'un signal. En effet, un capteur actif va tout d'abord envoyer un signal, une longueur d'onde lumineuse ou des électrons qui seront réfléchis par l'environnement puis sera ensuite récupéré par le récepteur permettant ainsi d'analyser l'environnement en interagissant avec lui.

Les capteurs passifs sont quant à eux seulement récepteurs. Un capteur passif va récupérer des données en captant de la lumière, de la chaleur, des vibrations ou encore d'autres énergies présentes dans l'environnement.

##### **3.1.2. Lidars**

##### **Définition d'un capteur LIDAR**

Le LiDAR, qui réfère à l'expression Light Detection and Ranging est une technologie de détection basée sur la lumière, le LiDAR envoie des impulsions de signaux lasers rapides qui rebondissent sur les obstacles, notamment les autres véhicules, les cyclistes, les piétons ou une boîte aux lettres au bout d'une allée. Un instrument basé sur le LiDAR mesure le temps que met une impulsion à rebondir, de sorte que la distance entre le véhicule et l'obstacle peut être calculée avec précision. Le LiDAR mécanique entraîne directement un faisceau laser en utilisant des pièces mécaniques.

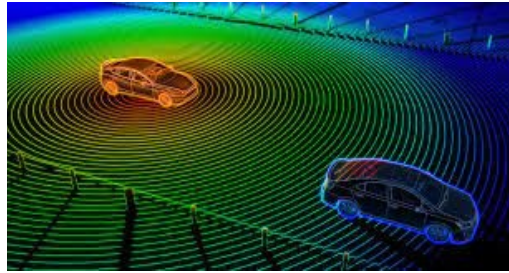


Figure 1: Capteur LiDAR

<https://denso-x.com/stories/how-lidar-technology-is-shaping-our-lives/>

### Comment fonctionne un capteur LiDAR ?

Le LiDAR est un capteur laser qui mesure le « temps de vol » (« Time-Of-Flight », « TOF »). Ce principe repose sur la mesure du temps qu'il faut pour que des impulsions laser émises par le capteur soient réfléchies par les objets environnants et reviennent au capteur.

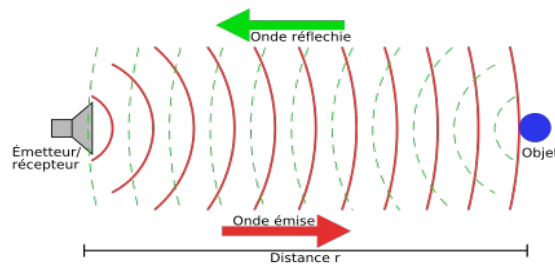


Figure2 : Fonctionnement d'un LiDAR

[wikipedia.org/wiki/Lidar](https://wikipedia.org/wiki/Lidar)

En effet, le LiDAR émet des centaines de milliers d'impulsions laser infra-rouge par seconde sur une surface cible puis mesure le temps que met la lumière à revenir vers lui. À partir de la mesure du temps de parcours du laser, il est capable de calculer la distance avec les objets environnants en faisant simplement le calcul :

**eq 1.**  $\text{distance} = (\text{vitesse de la lumière} * \text{temps écoulé}) / 2$

En faisant varier la position angulaire de l'envoi de l'impulsion laser, le LiDAR est capable d'évaluer une zone de nuage de points en 2D. Et en combinant plusieurs plans numérisés de l'environnement environnant, il est possible de créer une carte 3D.

Ensuite, la dernière étape consiste à traiter les données par des algorithmes qui permettent d'éliminer les erreurs et les interférences afin d'améliorer les mesures de précision.



## Applications des LiDAR

Les principales applications du LiDAR sont la cartographie, la surveillance de l'environnement, la surveillance des infrastructures, la détection d'intrusion et la navigation de véhicule autonome grâce à la cartographie de l'environnement.

## Avantages et limites des capteurs LiDAR

Les capteurs LiDAR ont de nombreux avantages qui en font un outil précieux pour de nombreuses applications. Tout d'abord, ils peuvent fournir des mesures précises de distance, de vitesse et d'orientation en temps réel, ce qui permet une navigation précise et fiable. Les capteurs LiDAR peuvent également être utilisés pour détecter des objets dans des conditions de faible éclairage, ce qui les rend particulièrement utiles pour la navigation nocturne. Enfin, les capteurs LiDAR peuvent fournir des données en 3D, permettant une représentation précise et détaillée de l'environnement.

Le principal inconvénient des capteurs LiDAR est leur coût élevé, qui les rend moins accessibles que les autres capteurs tels que les caméras. De plus, les LiDAR peuvent être sensibles aux conditions météorologiques telles que la pluie, la neige ou le brouillard, ce qui peut réduire leur précision et leur portée. Ils peuvent également être affectés par des objets réfléchissants tels que des miroirs ou des vitres, qui peuvent causer des réflexions indésirables. Enfin, la taille et le poids des LiDAR peuvent limiter leur utilisation dans des applications où l'espace et le poids sont des facteurs critiques, comme dans les drones ou les robots mobiles.

### 3.1.3. Caméras mono-vision

Une caméra mono-vision fonctionne en capturant une seule image à la fois, comme le ferait un œil humain. Elle utilise une seule caméra pour capturer cette image et pour analyser l'environnement. Le fonctionnement repose sur le principe de détecter des régions d'intérêt sur une image en se concentrant principalement sur la détection des contours des éléments observés. En analysant successivement des images deux à deux, il est également possible de déterminer le mouvement d'un objet, d'obtenir une information sur la vitesse à partir des contours des objets détectés.

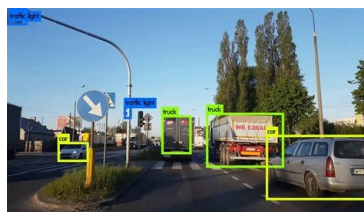
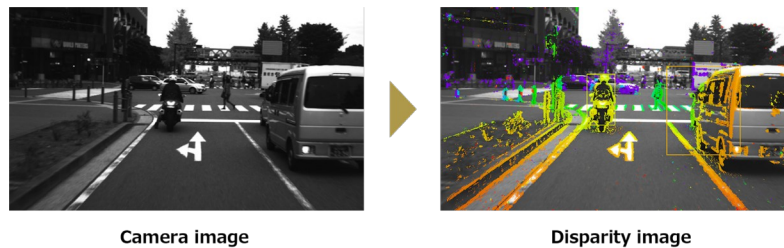


Figure 3: Détection des objets d'une caméra mono-vision

[http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Object\\_detection.jpeg](http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Object_detection.jpeg)

### 3.1.4. Caméras stéréo-vision

La stéréo-vision est une technique utilisant deux ou trois caméras généralement positionnées à une certaine distance l'une de l'autre. Les deux caméras captent simultanément deux images différentes de l'environnement, créant ainsi une vision stéréoscopique en trois dimensions. Ces deux images sont ensuite analysées par un ordinateur pour détecter et déterminer la profondeur, la distance et la position des objets et obstacles dans l'environnement.



*Figure 4: Analyse d'image par stéréo-vision*

<https://www.fsi-embedded.jp/en/product/fsi/stereo-vision/feature/>

La caméra stéréo-vision permet de récupérer un grand nombre d'informations, ce qui permet d'être plus précis sur la perception de la distance avec les objets se trouvant aux alentours de la voiture que la caméra mono-vision. Mais ce grand nombre d'informations complexifie également le traitement des images pour l'analyse. L'analyse des images provenant des caméras stéréo-vision sont donc plus lentes que les analyses des caméras mono-vision.

Ainsi la caméra stéréo-vision propose les mêmes informations que la mono-vision mais en étant plus précise notamment sur la profondeur des objets détectés. Cependant, à l'heure actuelle la caméra mono-vision est largement plus adoptée par les véhicules autonomes que la caméra stéréo-vision pour sa facilité d'installation et d'utilisation.

### 3.1.5. Comment fonctionne une caméra ?

Une caméra mono-vision fonctionne en capturant une seule image à la fois, comme le ferait un œil humain. Elle utilise une seule caméra pour capturer cette image et pour analyser l'environnement. Le fonctionnement repose sur le principe de détecter des régions d'intérêt sur une image en se concentrant principalement sur la détection des contours des éléments observés. Elle permet également de déterminer le mouvement d'un objet à partir de l'image des contours d'un objet, d'une information sur la vitesse et sur le temps.

En revanche, la stéréo-vision fonctionne avec deux caméras qui sont positionnées à une certaine distance l'une de l'autre. Les deux caméras captent simultanément deux images différentes de l'environnement, créant ainsi une vision stéréoscopique en trois dimensions. Ces deux images sont ensuite analysées par un ordinateur pour déterminer la profondeur, la distance et la position des objets et obstacles dans l'environnement.

En conclusion, la mono-vision a pour principe de tirer un maximum d'informations sur la succession de deux images, alors que la stéréo-vision repose plus sur la superposition de deux images prises simultanément.

### **3.1.6. Applications des caméras mono-vision et stéréo-vision**

Les caméras mono-vision ont de nombreux domaines d'application, tels que la surveillance vidéo, la sécurité routière, la vidéosurveillance, la photographie, des applications médicales et dans le domaine de la conduite autonome permettant de détecter des obstacles, les panneaux de signalisation et les marquages au sol.

Les caméras stéréo-vision ont elles aussi un grand nombre de domaines d'application, tels que la robotique, la réalité virtuelle et augmentée, l'imagerie médicale, la surveillance et la sécurité et dans la conduite autonome offrant des images 3D ce qui permet une détection et localisation précises d'objets.

### **3.1.7. Avantages et limites des caméras mono-vision, stéréo-vision**

Les caméras ont pour avantages d'être petites et permettent de s'intégrer facilement dans un véhicule, d'être une technologie dite passive, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas d'impact sur l'environnement puisqu'elles n'utilisent pas de rayonnement, elles se basent uniquement sur le contenu des images. Les caméras ont aussi pour avantage d'avoir de très bonne résolution sur les images, ce qui permet d'avoir une grande précision dans des bonnes conditions météorologiques et d'être peu chères.

Les avantages des caméras mono-vision par rapport aux caméras stéréo-vision sont la simplicité d'utilisation, car elles ne nécessitent pas de traitement d'image stéréoscopique complexe pour extraire des informations, de plus les détections de mouvement de la part des caméras mono-vision sont plus souvent efficaces, car elles peuvent utiliser des techniques de suivi d'objet.

Cependant, les caméras stéréo-vision ont également des avantages comparés aux caméras mono-vision. Ces principaux avantages sont la perception de profondeur, la détection précise des obstacles, une meilleure résistance aux conditions météorologiques dus à l'utilisation de deux caméras.

Bien que les caméras stéréo-vision soit utile pour les véhicules autonomes, elles présentent des inconvénients, les capteurs doivent être opérationnels dans toutes les conditions météorologiques, les images reconstituées doivent être traitées rapidement par l'ordinateur de bord, les erreurs de localisation tridimensionnelle peuvent transmettre de fausses informations, il est difficile de bien calibrer les caméras car plusieurs paramètres sont à prendre en compte (les paramètres intrinsèques des deux caméras, la position ainsi que l'orientation relative des deux caméras).

Les caméras mono-vision ont elles aussi leurs désavantages, les capteurs peuvent être affectées par les conditions météorologiques et l'éclairage, la précision des caméras mono-vision est limité par le fait qu'elles ne peuvent fournir qu'une seule image en 2D. Ainsi les caméras mono-vision n'ont pas d'information sur des profondeurs précises et de plus, la détection d'obstacle est difficile pour certains obstacles transparents ou de même couleur que l'arrière plan.

## **3.2. Un autre enjeu important, la localisation avec précision**

### **3.2.1. Comment fonctionne un GPS RTK ?**

Un système de localisation plus classique permet une précision d'environ 5 à 10 mètres, ce qui est assez précis pour aider une personne à trouver son chemin à l'aide d'un smartphone par exemple, mais qui ne l'est pas assez pour pouvoir être utilisé dans la mobilité intelligente.

En effet, un véhicule intelligent se doit d'une grande précision puisque sa position sera utilisée par les algorithmes pour prendre différentes décisions pouvant mettre en danger des personnes.

Si en revanche, on place deux récepteurs différents proches l'un de l'autre, la position de ces deux récepteurs va être calculée avec une précision très similaire.

C'est sur ce phénomène que s'appuie le fonctionnement d'un GPS RTK. Un GPS RTK utilise deux récepteurs GPS, l'un à la station de base et l'autre sur le récepteur mobile.

La station de base est fixe et sa position est connue avec précision, tandis que le récepteur mobile se déplace. Les deux récepteurs mesurent les signaux GPS en même temps et comparent les données pour calculer la position du récepteur mobile avec une précision grandement améliorée en temps réel.

La technique de « double différence » est utilisée, elle permet de mesurer avec précision les erreurs du GPS en comparant les mesures de distance entre les satellites et les deux récepteurs GPS. Ces erreurs sont ensuite corrigées pour obtenir une position précise du récepteur mobile.

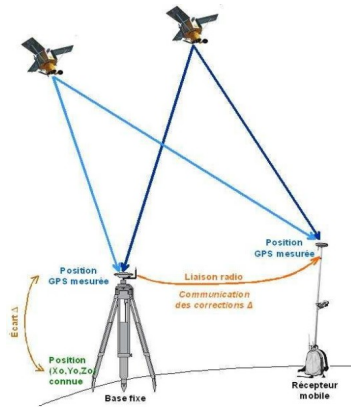


Figure 5: Fonctionnement du GPS RTK

[https://www.researchgate.net/figure/Principe-du-GPS-Differentiel-DGPS-en-mode-RTK\\_fig11\\_264198662](https://www.researchgate.net/figure/Principe-du-GPS-Differentiel-DGPS-en-mode-RTK_fig11_264198662)

### 3.2.2. Applications des GPS RTK

Les GPS RTK sont utilisés dans de nombreux domaines, tels que la cartographie, la topographie, la géodésie, la construction et l'arpentage. Ils sont particulièrement utiles lorsqu'une très grande précision est nécessaire, comme la construction de ponts et de tunnels et l'arpentage de sites industriels.

#### Les voitures autonomes

Parmi ces domaines, on retrouve bien évidemment des applications pour les voitures autonomes.

En premier lieu, la navigation, les GPS RTK fournissent une localisation précise en temps réel, ce qui permet aux voitures intelligentes de naviguer intelligemment, en améliorant la sécurité routière et en assurant que les véhicules suivent les bonnes voies, évitent les obstacles.

Puis pour le guidage avancé, les GPS permettent aux voitures de recevoir des instructions de guidage. Cela peut être sur les voies à prendre, les sorties d'autoroute, les itinéraires alternatifs en cas de congestion et les conditions de circulation en temps réel.

Ensuite, pour le positionnement précis, les voitures peuvent connaître leur position précise sur la route. Cela est essentiel pour de nombreuses fonctionnalités avancées, telles que le stationnement automatisé, la gestion de flotte, la localisation précise des passagers et la planification des itinéraires. La gestion de flotte permet de suivre avec précision les véhicules d'une flotte et d'optimiser leur utilisation. C'est-à-dire d'avoir une planification efficace des itinéraires, une réduction des temps d'attente et une amélioration de l'efficacité globale de la flotte.

Les GPS sont également particulièrement utiles dans les systèmes d'aide à la conduite (ADAS). Ils peuvent être utilisés en fusionnant plusieurs capteurs, tels que des caméras et des lidars, pour améliorer ces systèmes. Cela permet de détecter avec précision la position des autres véhicules, des piétons et des obstacles sur la route, ce qui est essentiel pour des fonctionnalités telles que le freinage d'urgence automatique ou encore l'assistance au maintien de voie.

Enfin, la dernière utilisation des GPS RTK réside dans la localisation personnalisée. Ils servent à fournir des services aux conducteurs, tels que la recherche de points d'intérêt, la navigation basée sur des préférences personnelles (restaurants préférés, stations-services, magasins) et des alertes contextuelles (promotion spéciale dans un magasin à proximité, informations sur les attractions touristiques).

### Les véhicules agricoles

Néanmoins, une application est particulièrement intéressante dans l'agriculture moderne, en particulier dans les véhicules agricoles. Les systèmes RTK offrent des avantages significatifs en termes de précision, d'efficacité et de rentabilité lorsqu'il s'agit de mener des activités agricoles telles que l'ensemencement, la pulvérisation, la récolte et la cartographie des terres.



Figure 6: Base fixe d'un GPS RTK  
<https://www.fwi.co.uk/machinery/a-guide-to-guidance-part-3-rtk>

Dans les véhicules agricoles, le GPS est utilisé pour guider les machines sur le terrain. Il permet de tracer des trajectoires parallèles et régulières, assurant une distribution uniforme des semences, des engrais et des produits chimiques. Cela garantit une croissance homogène des cultures, réduit les pertes et maximise les rendements. De plus, il peut être utilisé pour créer des cartes détaillées des terres, en identifiant les variations de rendement, les zones à problèmes et les opportunités d'amélioration.

Outre la précision, il offre dans un même temps des fonctionnalités avancées comme la modulation de fréquence en temps réel. Cela signifie que les applications d'agriculture de précision peuvent ajuster automatiquement les taux d'application en fonction des conditions spécifiques de chaque partie du champ. Par exemple, si une zone nécessite plus d'engrais ou d'eau, le système peut le détecter et adapter les réglages en conséquence, permettant une utilisation plus efficace des ressources et une réduction des impacts environnementaux.

Les véhicules agricoles équipés peuvent également bénéficier de la connectivité sans fil et des capacités de communication, permettant une coordination et une synchronisation efficaces avec d'autres machines et systèmes. Cela facilite la gestion des opérations agricoles, en améliorant la logistique et en optimisant la productivité.

En résumé, les systèmes GPS RTK dans les véhicules agricoles révolutionnent l'agriculture moderne en offrant une précision de positionnement, une navigation précise et une gestion optimisée des opérations. Ces technologies permettent aux agriculteurs d'améliorer la productivité, d'optimiser l'utilisation des intrants agricoles et de réduire les coûts, tout en minimisant les impacts environnementaux. Avec l'évolution continue de la technologie, l'avenir de l'agriculture de précision s'annonce prometteur, offrant des solutions innovantes pour nourrir une population mondiale.

### **3.2.3. Limites des GPS RTK**

Cependant, malgré leurs avantages, ces systèmes ont également certaines limites à prendre en compte. Tout d'abord, l'un des plus gros problèmes est leur coût élevé, il faut compter entre 15 000 et 20 000 euros pour un tel système, ce qui représente un investissement financier significatif. En plus du coût initial d'achat des récepteurs RTK et des antennes, il peut y avoir des frais récurrents liés aux services de correction différentielle ou à des abonnements nécessaires pour maintenir la précision des données. De plus, il faut également faire attention à la fiabilité de la couverture, c'est-à-dire que la précision du GPS dépend de la disponibilité d'un signal satellite suffisamment fort et de la disponibilité de stations de base ou de référence appropriées pour fournir des corrections différentielles en temps réel. Dans certaines zones éloignées, montagneuses ou densément construites, il peut être difficile de garantir une couverture adéquate, ce qui entraîne une perte de précision. Les conditions météorologiques telles que les fortes pluies, les tempêtes ou les épais nuages peuvent aussi affecter la qualité du signal. Dans ces situations, la précision peut être altérée, ce qui peut limiter son utilisation dans des conditions météorologiques défavorables.

Les signaux GPS RTK sont également vulnérables aux interférences électromagnétiques provenant de sources telles que les brouilleurs, les équipements électriques ou les signaux radio. Ces interférences peuvent perturber la réception du signal et entraîner une dégradation de la précision ou une perte totale du signal.

Enfin, ces systèmes ont besoin régulièrement d'entretien pour garantir leur bon fonctionnement. Les récepteurs et les antennes doivent être vérifiés et calibrés périodiquement pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement et fournissent des données précises.

En conclusion, bien que les systèmes GPS RTK offrent une précision de positionnement remarquable, ils présentent certaines limites. Les utilisateurs potentiels doivent évaluer attentivement ces limitations et considérer les besoins spécifiques avant de décider d'investir.

### 3.2.4. Conclusion

Le GPS RTK est un système de positionnement très précis qui a révolutionné de nombreux domaines y compris celui automobile. En fournissant une localisation précise en temps réel, les GPS contribuent à rendre les voitures intelligentes plus sûres, plus efficaces et plus autonomes. Malgré leurs limites, ils sont à la pointe de la technologie et sont de plus en plus utilisés en raison de leur précision, de leur fiabilité et de leur rapidité. Au fur et à mesure que la technologie progresse, ils deviennent plus accessibles et ouvrent de nouvelles possibilités de mesure de précision. Enfin, nous pouvons dire qu'ils jouent un rôle essentiel dans le développement des technologies de conduite et de mobilité intelligentes.

### 3.3. Pourquoi la fusion de capteurs multiples est-elle nécessaire ?

Tout ingénieur sait qu'il est important d'avoir le bon outil pour accomplir un travail donné. Sans cela, un travail peut devenir très frustrant si ce n'est impossible. Pour les véhicules autonomes, le « bon outil » semble être un amalgame de plusieurs outils différents. Chaque expérience en voiture connaît des conditions de conduite différentes, qui sont analysées au mieux à l'aide de différents capteurs. Le meilleur exemple est celui des caméras arrières qui seront obligatoires pour les voitures neuves aux États-Unis à partir de 2018. Dans le passé, ces caméras étaient simplement utilisées pour montrer aux conducteurs ce qui se trouvait derrière le véhicule. Cependant, les concepteurs combinent désormais des capteurs à ultrasons avec des caméras arrière pour permettre le stationnement automatique. Les capteurs à ultrasons sont efficaces pour estimer les distances alors que les caméras peuvent mieux voir les obstacles. Ensemble, ils permettent facilement à une voiture de se garer.

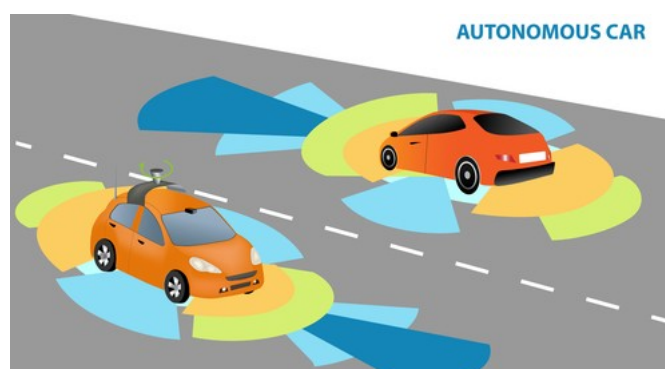


Figure 7: Fusion des capteurs

<https://resources.altium.com/fr/p/unmanned-autonomous-vehicles-multiple-sensor-fusion-pros-cons>



### 3.3.1. Les raisons principales de la fusion

La fusion de capteurs multiples dans une voiture autonome est essentielle pour plusieurs raisons importantes. Voici quelques-unes des principales raisons :

- **Redondance et fiabilité** : L'utilisation de plusieurs capteurs différents, tels que des caméras, des lidars, des radars et des capteurs ultrasoniques, permet d'obtenir une redondance dans la perception de l'environnement. En fusionnant les données provenant de ces capteurs, on peut obtenir une estimation plus robuste et précise de l'état de l'environnement, réduisant ainsi les risques d'erreurs dues à des défaillances ou des limitations d'un seul capteur.
- **Perception multi-modale** : Chaque capteur a ses propres forces et faiblesses en termes de perception de l'environnement. Par exemple, les caméras sont excellentes pour la reconnaissance des objets et la détection des signaux routiers, tandis que les lidars sont plus précis pour la cartographie 3D et la distance des objets. En fusionnant les données de différents capteurs, on peut combiner leurs avantages et obtenir une perception multi-modale plus complète de l'environnement.
- **Adaptation à des conditions variables** : Les conditions de conduite peuvent varier considérablement, que ce soit en termes de luminosité, de météo, de trafic, etc. En utilisant plusieurs capteurs, la voiture autonome peut s'adapter à ces conditions variables. Par exemple, lorsque la visibilité est réduite en raison de la pluie ou du brouillard, les caméras peuvent être moins efficaces, mais les lidars et les radars peuvent continuer à fournir des informations précieuses.
- **Détection des angles morts** : Chaque capteur a ses propres limites en termes de champ de vision. En utilisant des capteurs multiples, il est possible de réduire les angles morts et d'améliorer la détection des objets, ce qui est crucial pour assurer la sécurité lors des changements de voie ou des manœuvres de stationnement.
- **Prise de décision plus fiable** : La fusion des données provenant de capteurs multiples permet d'obtenir une représentation plus complète et précise de l'environnement. Cela aide le système de conduite autonome à prendre des décisions plus fiables et plus éclairées, en tenant compte de plusieurs sources d'informations.

Un des algorithmes les plus populaires utilisés pour la fusion des données est le filtre de Kalman. Le filtre Kalman utilise un modèle mathématique et une mesure de prédiction pour ajuster la pondération des mesures de chaque capteur.

Pour résumer, les voitures ont besoin d'une grande variété de capteurs afin de bien comprendre leur environnement. L'ultrason est efficace pour estimer la distance entre la voiture et des objets, mais seulement à faible distance (entre 5 et 10 m environ). Les caméras peuvent détecter des objets à longue

portée indépendamment de la météo, mais leur résolution est faible. Les LIDAR ont une haute résolution, mais ils deviennent inutilisables quand il pleut ou neige abondamment. Chaque capteur a ses forces et ses faiblesses, mais lorsqu'il est combiné avec d'autres capteurs, vous obtenez un système globalement plus fiable. Bien que cette solution semble attrayante, celle-ci présente également de nombreux défis.

### 3.4. Les techniques d'apprentissage profond, dit end-to-end

Après avoir étudié la fusion des capteurs, nous allons aborder le thème des intelligences artificielles qui, en récupérant les données acquises par ces capteurs, permettent à la voiture de prendre des décisions et de la rendre autonome.

Nous allons commencer par introduire la notion de machine learning. Le machine learning est une branche de l'intelligence artificielle qui permet aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés. C'est une méthode de traitement des données qui permet à une machine d'analyser des données, d'identifier des modèles appelés «patterns» et de faire des prédictions en se basant sur des statistiques.

Il existe plusieurs types de techniques de machine learning, notamment l'apprentissage non supervisé, l'apprentissage supervisé et l'apprentissage par renforcement. Chacune des techniques précédemment citées a ses propres avantages et inconvénients et leur utilisation dépend du type de problèmes à résoudre. Le machine learning permet de traiter toutes les données collectées par les différents capteurs en temps réel. Elle est entraînée à détecter toutes sortes d'objets sur la route comme les piétons, les voitures, les panneaux de signalisation et à comprendre leur mouvement et position pour adapter la conduite de la voiture. Pour cela, l'IA comprend plusieurs techniques :

- L'apprentissage automatique : il est utilisé pour entraîner les algorithmes à reconnaître les objets sur la route
- La vision par ordinateur : elle est utilisée pour aider la voiture autonome à interpréter les images et les vidéos prises par les caméras
- l'apprentissage supervisé : on donne à l'ordinateur énormément de données avec une description (par exemple plein de photos de pommes en lui disant que ce sont des pommes), le système apprend tout seul à relier les photos ici de pommes, au fait que ce soit des pommes. Dans le cas de la voiture autonome, cet apprentissage peut permettre à la voiture d'identifier les panneaux de signalisation voire même un corps humain. Problème : les bases de données doivent être énormes pour faire face à toutes les situations.
- L'apprentissage par renforcement : ce dernier fonctionne avec récompense. L'ordinateur commence par faire des choses au hasard, puis dès qu'il fait ce qu'on veut de lui, il est récompensé.

La méthode "end to end" en informatique est une approche de conception de systèmes qui permet d'assurer un traitement complet de bout en bout, sans intermédiaires. Cela signifie que toutes les étapes nécessaires pour réaliser une tâche sont prises en compte, sans qu'il y ait de traitement spécifique ajouté entre les différentes étapes par des technologies tiers.

On peut prendre l'exemple du domaine de la reconnaissance vocale. Une approche traditionnelle aurait plusieurs composants pour transformer un audio en texte, alors que la méthode end to end prendrait l'audio brut et sortirait directement le texte et tout cela sans modules intermédiaires tels qu'un analyseur de phénomènes etc.

Ainsi la méthode end-to-end ne mettant en œuvre qu'un seul système permet une conception et maintenance simplifiée des systèmes, tout en améliorant leur performance et leur efficacité.

#### **4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

L'objectif de notre projet P6 était de répondre à la question suivante : "Quels sont les usages des capteurs pour la mobilité intelligente ?". Pour cela, une étude de capteurs analysant l'environnement (lidars et caméras mono/stéréo-visions) a été effectuée. Une analyse de capteurs utiles pour la localisation nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement des GPS RTK. Le prix et la difficulté d'usage en cas d'intempéries rendent l'implémentation de ces capteurs dans une voiture autonome difficile. Pour autant, cela ne freine en rien l'avancée du développement de la voiture autonome car avec la fusion des capteurs, nous arrivons à relever ces défis en regroupant les données acquises par l'entièreté des capteurs disponibles sur la voiture. Ces données sont analysées par des intelligences artificielles entraînées à automatiser les mouvements et choix de la voiture. Mais, il faut quand même émettre certaines réserves quant à la démocratisation de ce mode de transport car il n'est pas sans risques d'accident lié à un problème informatique. Il est aussi important de noter que la fabrication de ces capteurs et l'utilisation de ces intelligences artificielles sont des vecteurs importants de la pollution mondiale. Il est alors légitime de se poser une question : Dans un monde où la préservation de l'environnement et de la planète est au cœur des préoccupations, devons-nous réellement, au nom du développement technologique et du capitalisme, développer ces technologies toujours plus en plus consommatrices de ressources ?

### **Apport personnel**

Ce projet nous a tout d'abord permis d'en apprendre davantage sur un domaine en plein développement actuellement mêlant à la fois l'automobile et l'informatique. Ce sujet nous touche particulièrement puisque nous utilisons quasiment tous la voiture régulièrement pour nous déplacer et les capteurs pourraient nous permettre de nous simplifier la vie au quotidien. De plus un projet sur les voitures autonomes avait été lancé il y a quelques années à l'INSA et nous avons un laboratoire de recherche, le «LITIS» qui mène des travaux sur les capteurs.

D'autre part, le fait de travailler en groupe nous a beaucoup enrichis humainement. En effet, nous n'avons pas tous des connaissances dans ce domaine et nous ne sommes pas tous intéressés par l'informatique, nous avons donc une grande diversité de profil d'étudiants au sein du groupe. Cela n'est pas un point négatif, bien au contraire, cela apporte plus de richesse au projet et à chacun de nous. De plus, ce projet aura été pour nous une bonne opportunité de travailler en équipe comme nous pourrions avoir à le faire plus tard en tant qu'ingénieur et de prendre conscience des contraintes que cela entraîne surtout au niveau de l'organisation nécessaire pour veiller au bon déroulement d'un projet.

Enfin, nous avons pu rencontrer des contraintes liées à la taille, à la mise en page et au contenu du rapport ainsi qu'à l'élaboration d'un poster et qu'à la durée de notre soutenance qui nous ont été imposés. Ces contraintes nous ont alors fait travailler notre esprit de synthèse, et notre adaptation à une situation donnée.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] lien internet : <https://www.sick.com/fr/fr/sick-sensor-blog/capteurs-lidar-definition-technologie-applications-et-solutions-sick/w/blog-capteurs-LiDAR/> (fonctionnement LiDAR, valide à la date du 05/06/2023)
- [2] lien internet : <https://afrikauto.com/les-capteurs-automobiles-tout-ce-qui-faut-savoir/> (valide à la date du 05/06/2023)
- [3] lien internet : <https://www.arrow.com/fr-fr/research-and-events/articles/sensor-technologies-in-the-modern-vehicle> (valide à la date du 05/06/2023)
- [4] Aurélie BEAUGEARD, Khaoula BENYAHYA, Martin BREUNEVAL, Guénoles FICHE, Chijia LIU, Elodie MEURIC, “Véhicules autonomes : perception par vision”, *projet P6*, 2017-2018.  
[https://moodle.insa-rouen.fr/pluginfile.php/86345/mod\\_folder/content/0/Rapport\\_P6\\_2018\\_02.pdf](https://moodle.insa-rouen.fr/pluginfile.php/86345/mod_folder/content/0/Rapport_P6_2018_02.pdf)
- [5] lien internet : <https://www.terre-net.fr/technologies-embarquees/article/97221/comment-ca-marche> (valide à la date du 04/06/2023)
- [6] lien internet : <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.normandie-univ.fr/science/article/pii/S0273117722004082> (valide à la date du 04/06/2023)
- [7] lien internet : [https://hybam.obs-mip.fr/wp-content/uploads/2018/08/2005\\_Bondoux\\_RTK.pdf](https://hybam.obs-mip.fr/wp-content/uploads/2018/08/2005_Bondoux_RTK.pdf) (valide à la date du 04/06/2023)
- [8] lien internet : <https://www-techniques-ingenieur-fr.ezproxy.normandie-univ.fr/base-documentaire/automatique-robotique-th16/applications-en-robotique-42623210/la-robotique-agricole-une-r-evolution-s7786/generalites-sur-la-robotique-agricole-s7786niv10001.html> (valide à la date du 04/06/2023)
- [9] lien internet : <https://reseau-orpheon.fr/les-domaines-application-orpheon/agriculture-de-precision/le-principe-de-la-correction-gps-rtk/> (valide à la date du 04/06/2023)
- [10] lien internet : <https://resources.altium.com/fr/p/unmanned-autonomous-vehicles-multiple-sensor-fusion-pros-cons> (valide à la date du 05/06/2023)
- [11] lien internet : <https://ai.stackexchange.com/questions/16575/what-does-end-to-end-training-mean> (valide à la date du 05/06/2023)

## 6. ANNEXES

### RAPPORT D'ÉTONNEMENT

Les capteurs pour la mobilité intelligente sont des dispositifs technologiques qui collectent des données sur les déplacements, l'environnement, les transports en commun, les piétons et les cyclistes. Bien que les aspects techniques soient importants, il ne faut pas s'y limiter.

#### Aspects juridiques et éthiques

Les capteurs soulèvent des questions juridiques, notamment en ce qui concerne la collecte et l'utilisation des données qui peuvent inclure des informations sensibles, telles que les trajets quotidiens des utilisateurs et leurs habitudes de vie. Il est donc important qu'ils soient conçus de manière à garantir la protection des données personnelles et à respecter la législation. De plus, ils peuvent soulever des questions de responsabilité en cas d'accident ou de dommage.

#### Aspects sociaux et économiques

En optimisant la circulation, ils peuvent améliorer l'accessibilité aux emplois, aux écoles et aux services, réduire le temps de trajet et améliorer notre qualité de vie. Néanmoins, les capteurs de circulation peuvent favoriser les voitures au détriment des piétons et des cyclistes, et les capteurs de stationnement peuvent encourager la motorisation individuelle plutôt que les transports en commun ou la mobilité douce. Il est donc crucial qu'ils soient conçus pour répondre aux besoins de tous les usagers de la route.

Mais n'oublions pas les aspects économiques, d'une part, ils peuvent contribuer à l'optimisation des infrastructures de transport, réduire les coûts de congestion et améliorer la performance des réseaux de transport en commun. Ils peuvent également réduire les coûts de carburant et d'entretien des véhicules. D'autre part, ils peuvent avoir un impact négatif, la numérisation et l'automatisation des transports peuvent conduire à la suppression d'emplois dans le secteur des transports et de la logistique.

#### Aspects environnementaux

Enfin, en optimisant la circulation, ils peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les capteurs de qualité de l'air peuvent contribuer à améliorer la santé publique en diminuant les émissions de polluants et de particules fines. Cependant, ils ne sont pas une solution miracle. L'augmentation de la mobilité, même durable, peut entraîner une consommation accrue d'énergie et de ressources. Néanmoins de nos jours une nouvelle forme d'IA semble apparaître, "l'IA verte" qui se dit plus écologique car nécessitant moins d'énergie pour fonctionner. Cela signifie qu'elles apprennent et mémorisent en local pour éviter de passer par de nouvelles requêtes internet. Si l'IA devient locale,

elle permettra de remonter l'intelligence au plus près des nœuds d'interrogation. De cette façon, elle pourra créer des poches d'intelligence proche de celle de l'humain et ne pas faire d'actions inutiles. Mais de cette manière, on peut également se poser la question de la "fraîcheur" de l'information.

### Conclusion

Les capteurs sont un outil important pour la gestion de la mobilité, mais leur utilisation soulève des questions juridiques, éthiques, sociales, économiques et environnementales. Il est donc essentiel qu'ils soient conçus de manière à garantir le respect de la vie privée et la promotion d'une mobilité durable et équitable. En intégrant ces aspects non techniques dans la conception et l'utilisation des capteurs, nous pouvons garantir une gestion efficace, qui contribue à améliorer la qualité de vie des citoyens et à protéger la planète.