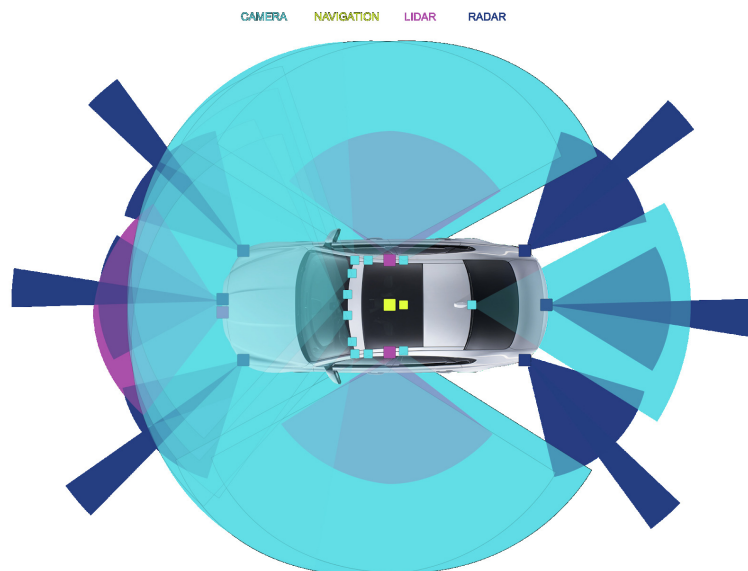


Véhicule autonome : Les systèmes de perception embarqués



Étudiants :
FONTAINE Aurélia
GROSS Alexia
LECLERC Julien
UMAPATHIPILLAI Thileepan
WANG Hua jin
YAN Tonglin

Enseignant-responsable du projet :
BENSRHAIR Abdelaziz

Date de remise du rapport : 17/06/2019

Référence du projet : STPI/P6/2018 – 2019

Intitulé du projet : Véhicule autonome : Les systèmes de perception embarqués

Type de projet : Bibliographie et Veille technologique

Objectifs du projet :

- S’informer sur les voitures autonomes
- Comprendre le fonctionnement des différents systèmes de perception
- Se forger un avis sur l’utilisation des véhicules autonomes

Table des matières

1	Historique	5
1.1	Révolution du transport	5
1.2	D'un engin mécanique à un engin informatisé	5
2	Intégration des systèmes de perception	8
3	Les systèmes de perception	9
3.1	Le lidar	9
3.1.1	Histoire	9
3.1.2	Définition	9
3.1.3	Fonctionnement	9
3.1.4	Composition du Lidar	10
3.1.5	Traitement du signal	10
3.1.6	A quoi correspondent les données d'intensité lidar ?	12
3.1.7	Faibles du Lidar	12
3.1.8	Le Lidar toujours d'actualité?	12
3.2	Les radars et les capteurs ultrasons	13
3.2.1	Définition	13
3.2.2	Fonctionnement	13
3.2.3	Utilisations et limites	14
3.3	La caméra	15
3.3.1	Définition	15
3.3.2	Système de caméra frontale	15
3.3.3	Caméra de vision arrière	16
4	Limite	18
	Bibliographie	20

Remerciements

Nous remercions Mr. Abdelaziz BENSRAHAI pour nous avoir encadrés et suivis tout au long de notre projet. Nous remercions également Autonomous Labb pour nous avoir permis de monter à bord d'une de leurs voitures autonomes, la participation de l'un des membres à l'une de leurs expériences a également permis à l'ensemble du groupe de mieux comprendre le fonctionnement des véhicules autonomes.

Organisation du travail

Notre projet a débuté le lundi 4 février 2019 et nous avons commencé par désigner Julien LECLERC comme chef de projet. Il s'est donc occupé de la communication avec le professeur Mr. Abdelaziz BENSRAHAI, avec l'Autonomous Lab et dans le groupe-même.

En ce qui concerne la récolte d'information, nous avons commencé par répartir les recherches sur les différents systèmes de perception en trois parties, chacune affectée à un binôme. Aurélia FONTAINE et Alexia GROSS se sont occupées du Lidar, Julien LECLERC et Thileepan UMAPATHIPILLAI des capteurs ultrasons et enfin, Huaijin WANG et Tonglin YAN des caméras.

Une fois ce travail effectué, le premier binôme s'est chargé de l'intégration des systèmes de perception dans la voiture autonomes, le deuxième binôme de l'historique de la voiture autonome et le troisième des limites et des enjeux de celle-ci. Les dernières séances furent consacrées à la re-lecture du rapport, l'élaboration du poster et la préparation à la soutenance orale.

Chapitre 1

Historique

1.1 Révolution du transport

Les premières voitures sont apparues dans la deuxième moitié du XIX^e siècle lors de la seconde révolution industrielle, fondée sur l'utilisation de l'électricité et du pétrole. L'Europe fut le centre des découvertes, particulièrement en France et en Allemagne. L'élément déclencheur de cette nouvelle révolution est la découverte du moteur à explosion par Alphonse Beau de Rochas. Le marché de la voiture connaît une croissance exponentielle depuis le début du XIX^e siècle. En effet, le nombre de voitures en circulation pouvait être dénombré à 250 000 en 1907, contre 50 millions avant la Seconde Guerre Mondiale. Sa production sera d'autant plus accélérée par la mise en place de l'assemblage à la chaîne instauré par le fordisme, la période des Trentes Glorieuses va également permettre à l'automobile de connaître une forte croissance.

1.2 D'un engin mécanique à un engin informatisé

Le premier véhicule sans conducteur fut développé en 1977 au Japon dans le laboratoire de Tsukuba, ce premier véhicule se déplaçait à la vitesse de 30 km/h et suivait un marquage afin de ne pas sortir du circuit. Du fait qu'il ne pouvait rouler sans ce marquage on ne peut pas réussir à classer ce premier véhicule selon les différents niveaux présentés ci-après. Aujourd'hui, les entreprises se lancent dans la course à la meilleure voiture autonome. Comme le montre le graphique ci-dessous, les entreprises américaines sont les plus avancées dans ce domaine.

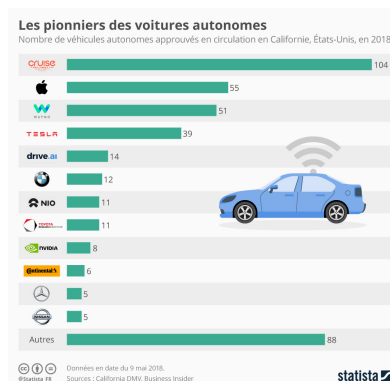


FIGURE 1.1 –

La voiture est aujourd'hui un élément indispensable à la vie de nombreuses personnes, en effet celle-ci apparaît comme être le moyen de transport le plus simple afin de se déplacer rapidement lorsque l'on vit à l'extérieur des grandes métropoles. Cependant le facteur humain peut rendre la conduite dangereuse causant de nombreux décès sur les routes, c'est pourquoi depuis maintenant une vingtaine d'année les recherches liées aux voitures autonomes n'ont cessé de prendre de l'ampleur. Que ce soit en Europe avec les constructeurs Renault ou Mercedes, ou encore aux Etats-Unis avec l'entreprise Tesla, la voiture de demain sera, pour ces entreprises, sans chauffeur.

L'automatisation des voitures peut être visualisée selon plusieurs niveaux liés à la capacité du véhicule à réagir sans que le conducteur n'ait à réaliser d'actions. Ces niveaux sont classés selon leur degré d'autonomie :

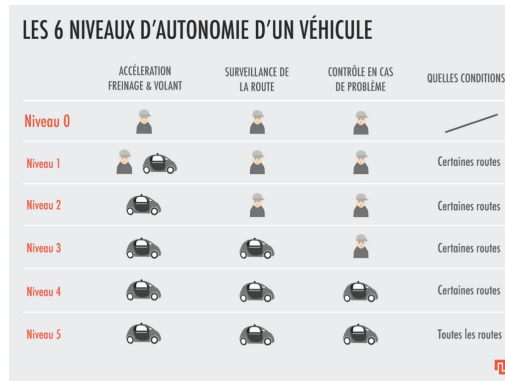


FIGURE 1.2 –

La majorité des véhicules présents sur nos routes ont un niveau d'automatisation de degré 1, c'est-à-dire que le conducteur est uniquement assisté à la conduite avec par exemple le régulateur de vitesse ou encore l'assistance au freinage.

Le nombre de voitures autonomes sur les routes connaît un fort développement au début du XXI^e siècle. Les entreprises investissent de plus en plus dans les brevets concernant ce progrès technologique comme en témoigne le graphique suivant. Les entreprises ont compris les enjeux liés au développement des ces véhicules et des retombées économiques envisageables si elles pouvaient prendre de l'avance sur leurs concurrentes. Elles développent donc des laboratoires qui se consacrent seulement à l'étude de la voiture autonome.

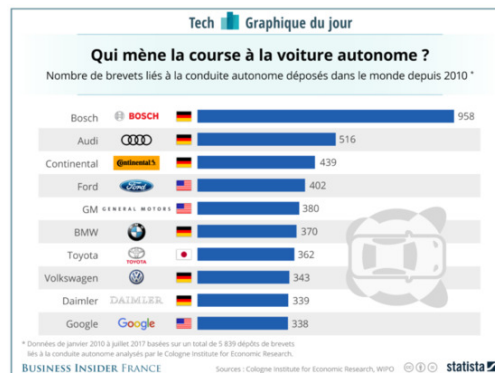


FIGURE 1.3 –

L'usage de ces voitures sans conducteur est plus ou moins difficiles suivant les pays. En effet, si par exemple, sur les routes États-Uniennes des camions sans conducteurs circulent déjà, en France la législation ne permet en aucun cas de faire circuler des véhicules sans conducteur hors cadre expérimental. Les constructeurs vont également devoir faire face au scepticisme des consommateurs au sujet des voitures autonomes. En effet comme beaucoup de choses nouvelles cette avancée fait peur. De plus, même si la législation le permettait, la plupart des consommateurs ne sont pas prêt à accueillir cette technologie. En effet, comme en témoigne le graphique suivant, la plus grande crainte des consommateurs est qu'ils ne se sentiraient pas en sécurité dans ce type de technologie.

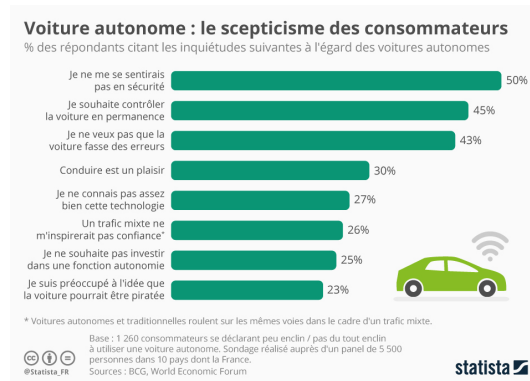


FIGURE 1.4 –

Chapitre 2

Intégration des systèmes de perception

Les véhicules autonomes reposent sur la combinaison de plusieurs capteurs dans le but de fournir le maximum d'informations pour garantir la sécurité et le bon fonctionnement. Les capteurs possèdent des rôles bien différents qui, une fois mis en relation, permettent de retranscrire une information fiable.

Les lidars recueillent des données sur la distance. Ainsi ils peuvent repérer des objets environnants jusqu'à 150m par le biais de lasers qui scannent à 360°. Cela permet de détecter les objets et de les catégoriser : voitures, feux de signalisation, usagers piétons, arbres etc.

Les caméras surveillent l'état de la personne qui conduit mais également détectent les obstacles proches de la voiture et confirment les informations reçues par les autres capteurs.

Les capteurs ultrasons ont pour rôle de détecter les obstacles proches. Ils sont utiles pour garder une certaine distance avec l'objet ou l'obstacle présent devant la voiture, derrière la voiture ou sur les côtés. Ce principe existe depuis longtemps avec les radars de recul.

Les radars, quant à eux, détectent des obstacles plus loin que ceux détectés avec les capteurs à ultrasons. Ils utilisent les ondes électromagnétiques pour évaluer les distances entre l'obstacle et le véhicule.

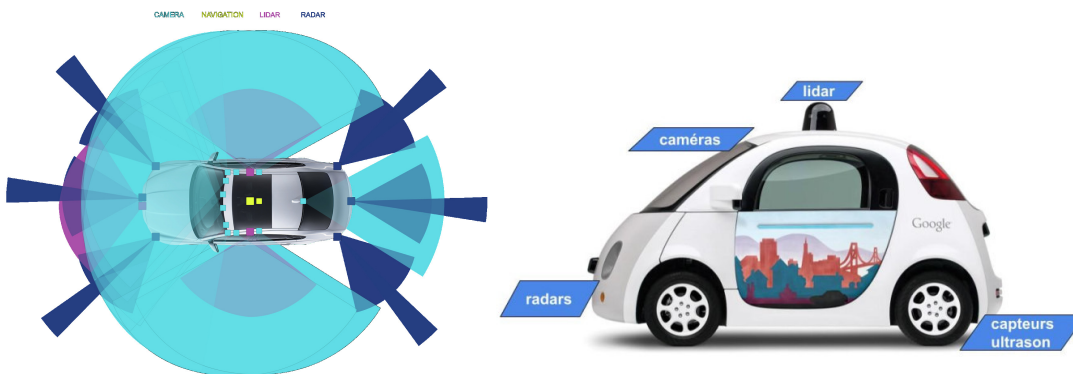


FIGURE 2.1 –

Chapitre 3

Les systèmes de perception

3.1 Le lidar

3.1.1 Histoire

L'invention des Lidars, aussi appelés télédétection par laser, remonte au début des années 1960. Les premiers lasers, nommés lasers à rubis, inventés par Théodore Maiman, sont exploités pour la télémétrie fine à grande distance. Dans les années 1962, les lidars ont permis de mesurer précisément la distance Terre-Lune. Ce projet fut nommé "Luna See". Le journal américain, New York Times, publia le 10 mai un article concernant cette découverte : "La nuit dernière, pour la première fois, un homme a illuminé un autre astre céleste [...]. Le rayon fut produit par des ingénieurs du 'Massachusetts Institute of Technology', utilisant un appareil connu sous le nom de 'laser'. Il produit un rayon étroit et d'une grande intensité. La réflexion du rayon est ensuite détectée par des moyens électroniques. Les chercheurs pensent que de tels appareils vont jouer un rôle majeur dans le domaine des communications entre les véhicules aérospatiaux. De plus, selon eux, le principe du laser devrait devenir un moyen efficace pour transmettre de l'énergie sur de longues distances."

L'utilité et la précision des systèmes lidar deviennent connues du grand public en 1971 lors de la mission Apollo 1517, qui cartographie la Lune à l'aide d'un altimètre laser.

Concernant l'étymologie du lidar, il s'agissait au début de l'assemblage du mot « light » et « radar ». Désormais, sa dénomination fait référence à l'acronyme de « Light Detection And Ranging » ou « Laser Imaging Detection And Ranging », à l'instar de radar (Radio Detection And Ranging) ou sonar (Sound Navigation & Ranging).

3.1.2 Définition

Un LiDAR se définit comme suit : "outil qui émet des lasers (faisceaux de lumière très concentrés) dans différentes directions autour de lui pour mesurer des distances par télémétrie" Selon le Larousse, il s'agit d'une : "Mesure de distance obtenue par des procédés acoustiques, optiques ou radioélectriques."

À partir de la vitesse de l'onde lumineuse et de son temps de retour ainsi que de l'orientation et de la position du lidar, l'appareil calcule la distance et la position des objets et des obstacles qui l'entourent. Plus précisément, il positionne chaque point rencontré par l'onde dans un espace en 3 dimensions. Sa capacité à envoyer de nombreux faisceaux optiques dans un temps très court permet de créer un nuage de points dense qui modélise la réalité.

3.1.3 Fonctionnement

Parmi les systèmes de perception, le radar et le lidar possèdent un mode de fonctionnement similaire. Tous deux émettent une onde électromagnétique cohérente et polarisée. Leur différence provient du domaine spectral des ondes électromagnétiques émises. En effet, le lidar utilise un panel de domaine allant de l'infrarouge à l'ultraviolet en passant par le visible tandis que le radar, lui, se concentre sur le domaine des micro-ondes. Concernant le spectre électromagnétique, le lidar utilise les longueurs d'onde allant de 10 nm à 0,1 mm et le radar celles de 1 mm à 1 m. Une seconde différence notable concerne le fait que l'onde située dans le domaine visible est plus directive et peut interagir avec des objets de taille microscopique.

Le lidar se définit par un capteur optique qui transmet des faisceaux laser vers une cible tout en parcourant des itinéraires d'étude spécifiques. Son fonctionnement peut être divisé en plusieurs phases.

La première phase concerne l'émission du rayon laser. Les impulsions émises se reflètent sur les objets situés à la surface du sol mais également au-dessus puis sont renvoyées vers la source émettrice.

La réflexion de l'onde constitue, quand à elle, la deuxième phase. L'impulsion laser réfléchie est renvoyée sur le capteur. Ainsi, nous comprenons aisément que la forme des objets va induire plusieurs retours d'onde. Les impulsions laser émises, après réflexion, vont être fractionnées en autant de retours qu'il existe de surfaces réfléchissantes. Néanmoins, la première impulsion laser renvoyée constitue le retour le plus important.

Le traitement de l'onde constitue la dernière étape. L'onde est détectée et analysée par les récepteurs situés dans le Lidar. Ces récepteurs enregistrent précisément le temps qui s'écoule entre l'impulsion de l'onde et son retour. Cette mesure est ensuite mise en relation avec les données fournies par des indicateurs de position tels que le GPS et l'INS, puis traitée.

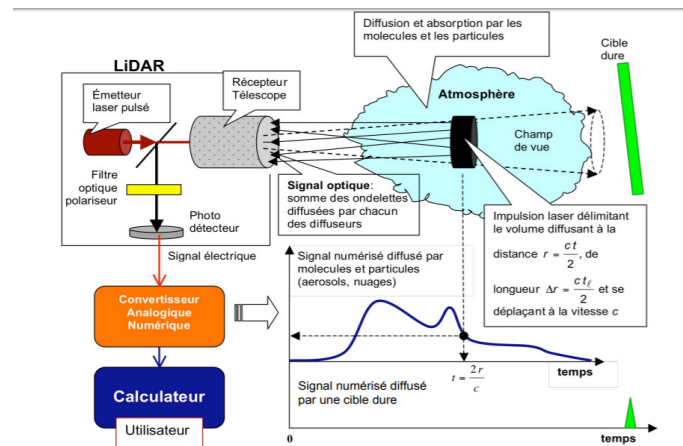


FIGURE 3.1 – Schéma résumant le fonctionnement d'un lidar

3.1.4 Composition du Lidar

Un lidar est composé de deux grandes parties.

La première concerne l'émetteur laser qui émet une onde lumineuse. La deuxième est le récepteur qui est lui-même divisé en deux. D'abord le collecteur de lumière et ensuite le photodétecteur. Ce dernier transforme la lumière en signal électrique. Enfin, toujours dans le récepteur, on trouve une chaîne électronique de traitement du signal qui permet d'extraire l'information recherchée.

Pour faire fonctionner correctement un lidar, celui-ci a besoin de plusieurs fonctionnalités.

Une d'elles est un véhicule de collecte. Dans notre cas, on va s'intéresser principalement à la voiture mais le lidar peut aussi être utilisé sur un avion, un hélicoptère ou encore un trépied. On allie généralement le lidar à un système de positionnement par satellite (GPS, Global Positioning System) ainsi qu'à un système de navigation par inertie (INS, Inertial Navigation System) qui mesure le roulis, le tangage et la direction du système lidar.

3.1.5 Traitement du signal

Dans cette partie, nous nous intéressons au traitement du signal.

Une fois le rayon laser émis, une partie de l'intensité diffusée est renvoyée vers le lidar, et plus exactement vers le capteur composant le lidar. Ce capteur est doté d'un système de détection optoélectronique qui va permettre de transformer l'onde reçue en un signal électrique.

Il existe deux types de détection utilisée par le lidar : la détection directe et la détection cohérente (aussi appelée hétérodyne).

Intéressons-nous, dans un premier temps, au traitement de l'information reposant sur la détection dite directe.

Afin de traiter correctement les informations reçues par le lidar, celui-ci doit procéder à un filtrage des informations. En effet, en plus des ondes envoyées par le lidar-même, celui-ci capte aussi la lumière de l'environnement qui constitue un fort parasite.

Le filtrage se fait simultanément sur deux points :

- "Spatialement, en limitant le champ de vision de l'optique de réception étroitement autour du faisceau laser, à l'aide d'un diaphragme de champ si nécessaire,

— Spectralement, à l'aide d'un filtre ne laissant passer qu'une gamme étroite autour de la longueur d'onde du laser ou d'un interféromètre."

La détection dite "hétérodyne" constitue également un autre mode de traitement, identique à celui du radar.

Cette méthode de détection fut développée, dans un premier temps, pour le domaine des ondes radio et des micro-ondes.

Un signal de faible amplitude (provenant de l'atmosphère) est associé à une onde issue d'un oscillateur local. Le résultat de la superposition de ces deux ondes est ensuite envoyé sur le détecteur.

La fréquence résultant du produit des deux ondes est la somme ou la différence entre les fréquences du signal d'origine et de l'oscillateur local.

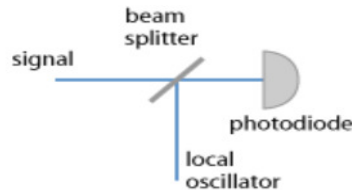


FIGURE 3.2 – Onde et signal reçus par le détecteur dans le cadre de la détection hétérodyne

Tout comme la détection directe, l'onde reçue va ensuite être transformée en signal électrique à la sortie du détecteur.

Le produit des deux ondes est obtenu en mélangeant le signal reçu de l'atmosphère et celui de l'oscillateur local en ayant détecté les ondes superposées linéairement avec un photodétecteur, généralement appelé photodiode.

Par exemple, nous pouvons utiliser un combinateur ou diviseur de faisceaux (comme l'illustre la figure 1) pour aligner les deux rayons d'une telle manière qu'il y ait une correspondance de mode.

Cela signifie que non seulement leurs profils d'intensité se chevauchent mais aussi que leurs longueurs d'onde possèdent la même courbure (allure) sur le détecteur, ainsi les conditions d'interférences sont uniformes sur toute la surface du détecteur. Cette observation n'est toutefois possible seulement dans le cas où les deux rayons sont spatialement cohérent.

Le courant photoélectrique produit est proportionnel à l'intensité optique totale reçue.

Si la puissance et la fréquence du signal et de l'oscillateur local sont constants, le courant photoélectrique possède deux composantes différentes de fréquence :

- la partie constante est proportionnelle à la somme de la puissance du signal et de l'oscillateur local.
- la partie oscillante avec la différence de fréquence possède une amplitude proportionnelle au produit des amplitudes des champs électriques (non des puissances optiques) du signal et de l'oscillateur local.

Avec un puissant oscillateur local, le signal hétérodyne résultant d'un faible signal d'entrée peut être d'autant plus puissant qu'avec la détection directe. Dans cette mesure, la détection dite hétérodyne fournit un gain de signal, même si il n'y a pas d'amplification optique impliquée.

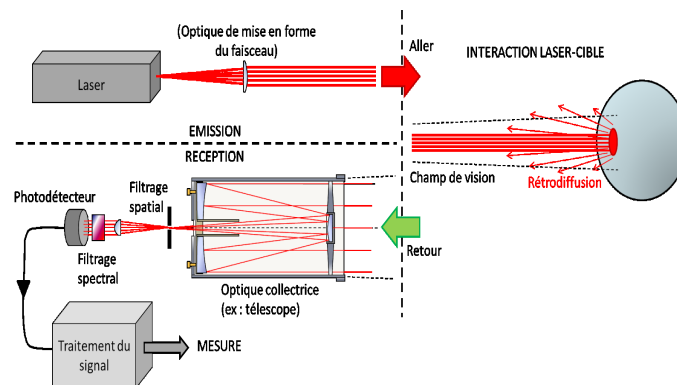


FIGURE 3.3 – Laser à détection directe

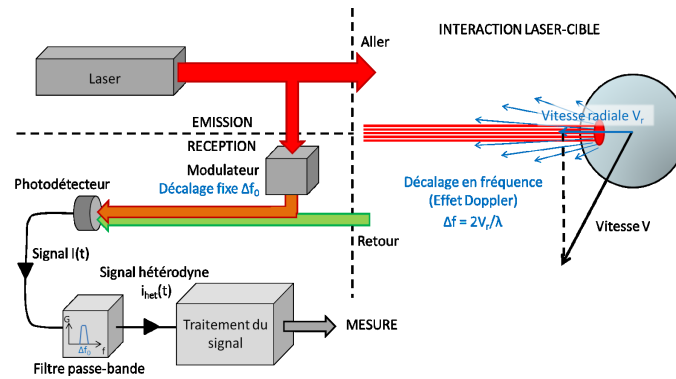


FIGURE 3.4 – Laser à détection cohérente

3.1.6 A quoi correspondent les données d'intensité lidar ?

L'intensité est une mesure, collectée pour chaque point, de la force de retour de l'impulsion laser ayant généré le point. Elle repose, en partie, sur la réflectivité de l'objet touché par l'impulsion laser.

La réflectivité est relative à la longueur d'onde utilisée, qui se situe généralement dans l'infrarouge proche. La force des retours varie selon la composition de l'objet de surface qui reflète le retour.

L'intensité est utilisée en tant qu'aide dans la détection et l'extraction d'entités, dans la classification des points lidar et comme substitut d'imagerie aérienne lorsqu'il n'en existe aucune. L'intensité est relative et non quantifiable. Par conséquent, vous ne pouvez pas vous attendre à la même valeur provenant du même objet, d'un trajet à l'autre.

Si vos données lidar comprennent des valeurs d'intensité, vous pouvez générer des images ressemblant à des photos aériennes monochromes à partir de ces dernières. ArcGIS fournit la capacité de créer de l'imagerie d'intensité à partir des données lidar.

3.1.7 Failles du Lidar

Le Lidar, comme tout système lié à l'informatique, possède des failles. Ces dernières sont renforcées par la nouveauté de ce système.

Ainsi, l'institut supérieur coréen des sciences et technologies a mis en évidence deux failles dans le Lidar des voitures autonomes.

La première concerne l'aveuglement du LiDAR. Ils ont réalisé une attaque par saturation. Cette technique consiste à illuminer un lidar par un faisceau aussi puissant que le sien. Le lidar ne perçoit donc plus certains objets environnants. Autrement dit, ces objets disparaissent en quelque sorte de la vue du Lidar, qui se retrouve aveuglé.

La deuxième faille fut mise en évidence grâce à un processus nommé Spoofing. Ce dernier consiste à simuler la présence d'un objet. Pour déterminer si un objet est à proximité, le Lidar ne capture pas une image entière de l'objet, il identifie plutôt un nuage de points. L'attaque consiste donc à simuler un faux nuage de points, à partir de la lumière, ce qui revient à simuler la présence d'un faux objet.

3.1.8 Le Lidar toujours d'actualité ?

Les nouvelles technologies évoluent de manière fulgurante. Avec du recul, nous pouvons désormais être amenés à nous demander si le Lidar ne serait pas désuet.

Un exemple intéressant concerne le constructeur Tesla.

En effet, pour son système Autopilot, le constructeur mise plutôt sur l'ensemble composé par une batterie de caméras analysant les éléments à 360 degrés grâce à une intelligence artificielle et des réseaux neuronaux, et par un radar qui permet de voir au-delà des obstacles immédiatement visibles, permettant d'anticiper un ralentissement ou un accident avant même de le "voir", ainsi que par des capteurs ultrasoniques pour la détection de proximité.

Tesla va donc plus loin et évoque donc, indirectement, l'inutilité d'utiliser des lidars.

3.2 Les radars et les capteurs ultrasons

3.2.1 Définition

La Tesla S, fabriquée par l'entreprise d'Elon Musk, possède 21 capteurs lui permettant de visualiser son environnement. Parmi ces capteurs 12 sont des capteurs ultrasons et un est un radar, c'est pourquoi il nous a semblé judicieux d'étudier ces capteurs, omniprésents sur les voitures autonomes de demain. Les capteurs ultrasons permettent de détecter la présence d'obstacles très proches. De plus, par rapport à une caméra ou un lidar, le radar permet de déterminer assez précisément la distance (ou encore dans certains cas la vitesse dudit obstacle). Il est composé de deux majeures parties : un émetteur qui émet les ondes et un récepteur qui reçoit les ondes réfléchies. Ils sont utilisés dans beaucoup de systèmes tels que les radars automatiques, les détecteurs de présence mais aussi très récemment dans les voitures autonomes. La principale différence entre le capteur ultrason et le radar est le type d'onde émise, en effet le premier envoie des ondes sonores tandis que le second émet des ondes électromagnétiques.

3.2.2 Fonctionnement

Le principe de fonctionnement des sonars à ultrasons est très simple mais très efficace, en effet un émetteur va émettre une onde sonore à très haute fréquence, c'est-à-dire supérieur à 20 kHz (En comparaison le domaine d'audibilité de l'oreille humaine se situe entre 40 Hz et 20 kHz).

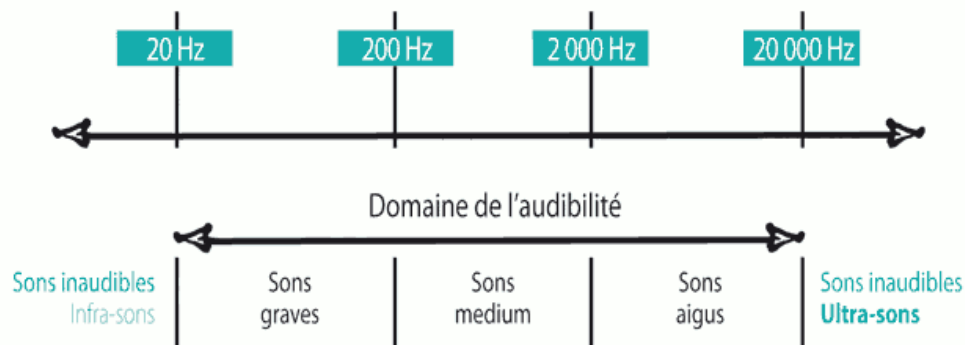


FIGURE 3.5 –

L'onde sonore émise va alors se propager dans l'air. Lorsqu'elle rencontrera un obstacle (une autre voiture, un poteau ou encore un trottoir) celui-ci va la réfléchir et elle va alors parcourir le même chemin mais dans le sens inverse. Elle sera alors captée par un récepteur et l'on pourra calculer la distance séparant notre voiture de l'obstacle. En effet la vitesse de l'onde émise étant connue ainsi que le temps de parcours il est alors facile de mesurer l'éloignement entre le capteur et l'obstacle.

La portée d'un tel capteur est cependant assez faible (de l'ordre de quelques mètres), c'est pourquoi il est principalement utilisé pour aider le conducteur lors de manoeuvres. Tandis que le radar dont nous décrivons les spécificités ci-dessous atteint une portée de plusieurs centaines de mètres.

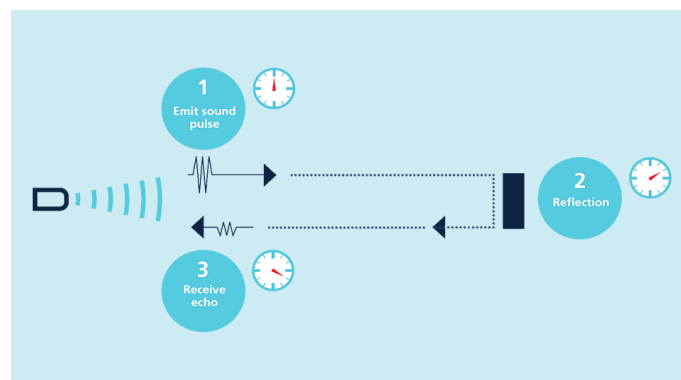


FIGURE 3.6 –

Le radar peut lui aussi avoir pour objectif de déterminer la distance des objets entourant la voiture mais il a d'autres fonctionnalités comme déterminer des vitesses de manière précise ou encore l'angle des obstacles. Il utilise des ondes radios (9 kHz et 300 GHz) et le principe de l'effet Doppler afin de réaliser ses mesures. L'effet Doppler se base sur la mesure du décalage fréquentiel entre l'onde émise et son homologue réceptionnée après avoir été réfléchié par un objet quelconque.

Le radar se distingue du Lidar grâce à un domaine d'action plus large, en effet celui-ci utilise le principe optique de la réflexion afin de pouvoir visualiser des objets se trouvant derrière des obstacles. Cela lui permet de rester fiable même lorsque les conditions météorologiques se dégradent, par exemple lors de grêle, de neige ou de brouillard.

Un autre avantage de cette technologie est qu'elle est plus légère sur le plan informatique qu'une caméra et utilise beaucoup moins de données qu'un Lidar. En effet, les deux autres capteurs filment l'environnement qui les entoure alors que le radar obtient uniquement des données plus abstraites. Le traitement des données est donc plus facile permettant d'avoir un temps de réaction plus faible comparé aux autres capteurs. L'image ci-dessous permet de comprendre que la précision des radars est plus faible que celle du Lidar mais l'image obtenue est moins coûteuse en énergie de traitement.

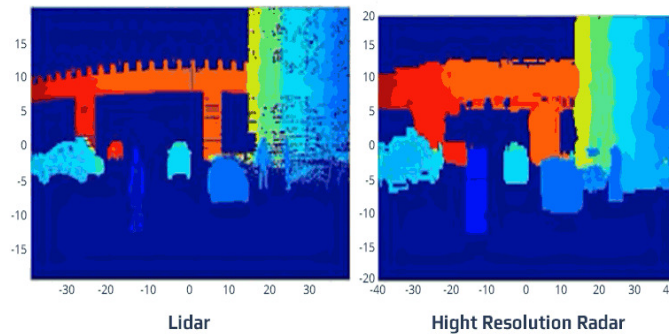


FIGURE 3.7 –

3.2.3 Utilisations et limites

Les capteurs ultrasons possèdent plusieurs inconvénients. Premièrement, leur portée est très faible, il faut donc que l'obstacle soit très proche de la voiture pour qu'il soit efficace. Cet inconvénient est pourtant un avantage vis-à-vis du radar, en effet ce dernier possède une précision moindre par rapport aux capteurs utilisant les ondes sonores. Il est donc plus efficace de les utiliser lors de manoeuvres.

La réflexion possible des ondes radios est un net avantage pour la Radar, en effet cela permet au véhicule de détecter des obstacles avec lesquels il n'a pas de ligne de vue. C'est-à-dire que le véhicule peut anticiper la présence d'un obstacle avant même que l'homme présent au volant ne puisse voir cet objet.

Sensor	Radar	LIDAR	Vision
Range	✓✓	✓	✓✓
Range resolution	✓	✓✓	0
Angular resolution	0	✓✓	✓
Works in bad weather	✓✓	0	x
Works in dark	✓✓	✓✓	x x
Works in bright	✓✓	✓	✓
Color/contrast	x x	x x	✓✓
Radial velocity	✓✓	0	x

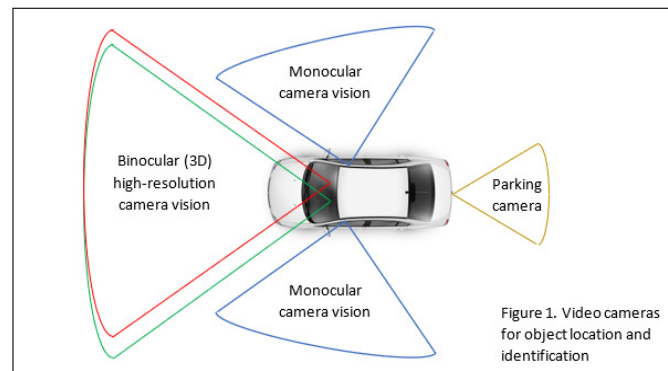
FIGURE 3.8 –

3.3 La caméra

3.3.1 Définition

Comme énoncé auparavant la Tesla S est équipée de 21 capteurs dont 8 caméras. La caméra apparaît alors comme un élément central dans le fonctionnement des voitures autonomes. De plus une caméra offre des performances bien supérieures à nos yeux naturels :

- Contrairement aux yeux, la caméra permet d'observer le champ de vision dans sa globalité de manière précise.
- Deux caméras fournissent une vision 3D stéréoscopique qui permet de pouvoir apprécier les distances et les profondeurs.
- Ce système est dit " passif ", donc pas de problèmes de coexistence avec les transmissions des autres véhicules
- Avec le temps ses performances ne sont pas altérées contrairement aux yeux.



La Figure ci-dessus illustre le champ de vision qu'offrent les différentes caméras.

Le fait que les caméras ne couvrent pas 360° autour de la voiture ne permet pas d'obtenir les niveaux 4 et 5 d'auto-conduite. Il serait possible d'augmenter le nombre de caméras pour se rapprocher d'une couverture totale, cependant le volume de traitement numérique ne serait pas envisageable.

Un problème lié à l'utilisation des caméras est la météo, en effet en cas de neige ou de pluie celle-ci perd en fiabilité et ne peut plus détecter certaines sorties de voie.

3.3.2 Système de caméra frontale

Nous allons aborder maintenant un type de caméra particulier : les caméras frontales.

Ces dernières sont souvent utilisées pour des moyennes et longues distances, entre 90 et 250 mètres. Elles détectent automatiquement les objets, les classent et déterminent leur distance en utilisant des algorithmes. Par exemple, elles sont capables de détecter des cyclistes, motos, tout comme les lignes et les panneaux de signalisation.

Les caméras de moyenne portée s'occupent d'avertir le conducteur des carrefours, piétons, des feux de signalisations. Tandis que les caméras de longue portée sont utilisées pour identifier les panneaux de signalisation, contrôler la distance du véhicule et indiquer les chemins.

Concernant l'analyse des données fournies par la caméra, il n'est pas nécessaire de prendre en compte les couleurs des images, seules les données brutes directement obtenues par le capteur d'image seront utilisées.

Souvent, le système utilise un filtre de couleur ayant pour but de rendre l'image plus nette (ce dernier possède une intensité lumineuse plus élevée).

Ces deux types de caméra, bien que semblables, possèdent une différence majeure : l'ouverture angulaire de l'objectif.

Intéressons nous aux caractéristiques de la caméra frontale.

Cette dernière est divisée en une caméra monoculaire, une caméra binoculaire et une caméra trinoculaire en fonction du nombre de lentilles.

La caméra monoculaire a l'avantage d'être stable. Toutefois, les distances avec les objets ne sont pas totalement détectées (faible précision).

La caméra binoculaire est capable de détecter la distance avec un objet.

La caméra trinoculaire utilise une combinaison de différentes distances de visibilité et des angles de champs de plusieurs caméras pour fournir davantage d'informations nécessaires à la conduite autonome. Néanmoins, plus il y a de données, plus le fusionnement du signal devient difficile.

Ainsi, la difficulté réside dans la précision et la stabilité de la détection de la cible, quelque soit la caméra utilisée.

La caméra possède ainsi comme fonction fondamentale la détection de la ligne de voie et la détection de véhicules. La première permet au véhicule de rester dans sa ligne tandis que la seconde permet au véhicule de freiner lorsqu'il se rapproche d'une autre voiture.

Dans la perception de l'environnement sans conducteur, le travail effectué par la caméra comprend :

- la détection de ligne de voie ;
- la détection des obstacles, ce qui revient à identifier et classer les obstacles ;
- l'identification des panneaux de signalisation, tels que l'identification des feux de circulation et des cartes de limitation de vitesse.

La détection de la ligne de voie est divisée en trois étapes :

La première étape consiste à prétraiter l'image obtenue, après avoir obtenu l'image d'origine, et à la transformer en une image de niveaux de gris, puis l'améliorer ;

La deuxième étape concerne l'extraction des caractéristiques. L'image est d'abord binarisée (la valeur de gris du pixel de l'image est définie sur 0 ou 255, c'est-à-dire que toute l'image est rendue en noir et blanc), puis on effectue l'extraction de bord.

La troisième étape est l'ajustement en ligne droite. La difficulté de la détection des lignes de voie réside dans le fait qu'il est difficile pour la caméra d'identifier et d'extraire certaines lignes recouvertes par la boue ou dans des environnements sombres, de pluie ou de neige.

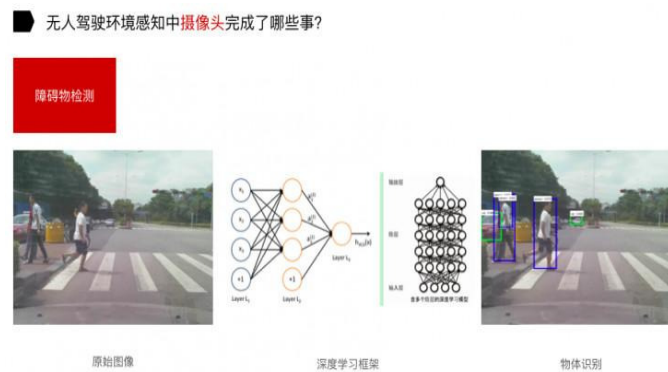


FIGURE 3.9 –

La photo ci-dessus est une expérience qui montre le traitement de l'image : après l'acquisition de l'image originale, l'objet a été identifié par un cadre d'apprentissage en profondeur.



FIGURE 3.10 – La figure ci-dessus illustre le processus d'identification des panneaux de signalisation.

3.3.3 Caméra de vision arrière

La figure ci-dessus est le processus d'identification des panneaux de signalisation

Les images vidéos fournissent de nombreuses informations qui seront utilisées par le conducteur et le véhicule autonome.

Nous distinguons deux types de caméras : les caméras 2D et 3D (ces dernières étant déjà installées sur les voitures haut de gamme).

Pour obtenir un affichage 3D, il est nécessaire d'avoir 4 à 6 caméras pour combiner les signaux d'entrées. De plus, une attention particulière doit être portée au processus de "couture d'image" pour éviter la perte d'informations.

Que ce soit les caméras 2D ou 3D, toutes deux ont besoin d'un capteur pourvu d'une plage dynamique élevée ce qui implique au moins 130 dB.

Cette plage dynamique correspond au "rapport relatif entre les parties les plus claires et les plus sombres de l'image de sortie d'un lecteur de disque dur multimédia".

La qualité de cette plage permet le fait que, même si le soleil brille directement sur l'objectif, le capteur sera capable d'obtenir des informations.

Le meilleur capteur d'image sur le marché possède aujourd'hui une plage dynamique de 145 dB.

Une autre caractéristique essentielle à la qualité de l'image est l'intensité lumineuse.

À l'heure actuelle, le meilleur rapport entre l'image et le bruit du capteur (rapport du signal de bruit émis par le signal de sortie) sur le marché peut atteindre 1 à 1 mlx (milli lux), et le nombre de trames d'affichage par seconde atteint 30 trames.

Sur les véhicules autonomes, les systèmes de caméra de vision arrière et à 360 degrés utilisent une architecture centralisée. Ceci signifie qu'un module de contrôle traite uniformément les données brutes des 4 à 6 caméras.

Cependant, pour accéder à un tel niveau de qualité, nous déplorons une perte de temps considérable. De plus, les méthodes de compression de données nécessitent également beaucoup d'espace de stockage.

La figure au dessous montre l'évolution future d'un système de caméra embarqué, de l'analogique au numérique.

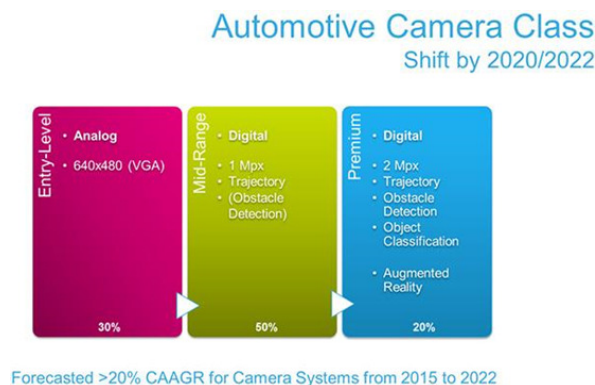


FIGURE 3.11 – La figure montre l'évolution future d'un système de caméra embarqué, de l'analogique au numérique.

Chapitre 4

Limite

Caméra :

Les caméras sont affectées par l'intensité de la lumière. En effet le fonctionnement des caméras est facilement affecté par la lumière externe, telles que les fortes pluies, les nuits sombres et les conditions de luminosité brillante, et il est impossible de déterminer avec précision les obstacles. Les images suivantes illustrent ces phénomènes.



FIGURE 4.1 – Situations affectant la perception des caméras

De plus, la vision de caméra peut être obstruée par des obstacles (par exemple : les véhicules, des panneaux indicateurs ou les arbres). Aussi, elle est incapable de prévoir le danger potentiel. Par exemple, dans la situation illustrée par l'image ci-dessous, un piéton est soudainement sorti de la région aveugle de la caméra et celle-ci n'a pas pu le prévoir.



FIGURE 4.2 –

RADAR :

L'un des avantages du système radar est son fonctionnement stable dans toutes les conditions météorologiques telles que le brouillard, la pluie, la neige et la poussière. Cependant, comparé au capteur lidar, sa précision angulaire est légèrement inférieure et le véhicule cible est perdu dans la courbe. Si plusieurs objets de la sonde sont proches les uns des autres, il peut être difficile de l'identifier. Par exemple, le radar peut traiter deux petites voitures à proximité comme une grosse voiture, envoyant un mauvais signal de proximité. Cependant, comparé au lidar, le radar peut déterminer précisément la vitesse de déplacement relative et la vitesse des objets en mouvement en utilisant l'effet Doppler.

LIDAR :

Tout d'abord, le lidar n'est pas un capteur fonctionnant dans toutes les situations, il est sensible aux conditions météorologiques, à l'environnement (réflexion spéculaire ou angle de faisceau de rayonnement limité) et à l'environnement extérieur. Deuxièmement, le radar laser actuel est coûteux en terme de coût de traitement des données obtenues. En outre, la distance de perception du radar laser est limitée. Le nuage des points va devenir très clair à environ 60m. La vitesse d'acquisition du Lidar est lente et la fréquence de rafraîchissement n'est pas suffisamment élevée par rapport à l'environnement du véhicule à grande vitesse. Ils ne permettent pas de distinguer les objets en temps réel (comme la reconnaissance de voiture ou vélo au loin). Enfin, les lidars ne peuvent pas percevoir les informations de couleur dans des tâches telles que la reconnaissance des panneaux de circulation.

Conclusion et rapport d'étonnement

La voiture autonome, véritable avancée technique et technologique, va être au centre des discussions et recherches dans les années futures. En effet, même si les progrès faits sont considérables, il reste toutefois des failles à rectifier. Comme nous avons pu le voir lors de notre étude sur les systèmes de perception, tous possèdent un rôle important mais pour les optimiser, il faut les combiner. Cette combinaison nécessite de nombreuses analyses pour trouver la meilleure solution. Nous pouvons évoquer le groupe Tesla qui a choisi de faire abstraction des lidars. Est-ce un choix judicieux ? Sont-ils réellement nécessaires ? Toutes ces questions restent à être approfondies. Toutefois, un fait est certain, un jour nous pourrons nous passer de conducteur !

Alexia : Les voitures autonomes sont au sujet au coeur de l'actualité. Il est fascinant de penser qu'un jour, nous serons à même de nous passer de conducteur. Il s'agit d'étapes vers l'intelligence artificielle. Le domaine de la perception m'a permis de mieux comprendre le fonctionnement de ces voitures et également, du mécanisme des systèmes en général. Nous avons pris le parti de nous répartir les tâches par systèmes de perception, ce qui nous a permis de mieux approfondir nos recherches. Une mise en commun ensuite, nous a appris à synthétiser et à expliquer correctement des termes parfois très technique.

Julien : Les quelques doutes que j'avais au sujet des véhicules autonomes furent balayés grâce à la compréhension du fonctionnement des différents systèmes de perceptions équipés sur les véhicules. La sécurité et le confort que j'ai ressenti dans les véhicules de l'Autonomous Lab me permettent de dire que l'on a jamais été aussi près de voir sur toutes les routes des voitures sans conducteur.

Aurélia : Les recherches avancées que ce projet nous a poussés à faire m'ont permis une meilleure compréhension de la voiture autonome et plus particulièrement des systèmes de perception. De plus, travailler en groupe nous a appris à transmettre nos nouvelles connaissances les uns aux autres de manière claire et compréhensible.

Thileepan : Ce projet m'a permis d'être mieux renseigné sur la voiture autonome. En effet, habitant près de Technopole, le passage des voitures d'Autonomous Lab m'intriguait énormément. De plus, malgré la crainte de certains, je suis plutôt fasciné par l'ampleur que prend, de nos jours, la recherche dans le domaine de l'intelligence artificielle. Je pense que ce progrès scientifique sera une aide considérable pour l'Homme. De plus, ce projet m'a permis de me rendre compte de ce que sera le travail de groupe dans le métier d'ingénieur. En effet, contrairement à la majorité des projets de groupe, au début de ce projet, nous ne nous connaissions pas forcément entre nous. Mais malgré tout, nous avons su bien nous entendre et bien répartir le travail pour être le plus efficace possible.

Huaijin : Je connaissais peu de chose sur le véhicule autonome, mais après cette étude, je sens que je m'y connais beaucoup mieux. Je ne peux pas réprimer mon excitation intérieure quand je pense pouvoir être dans un véhicule sans conducteur dans l'avenir.

Tonglin : Les voitures autonomes peuvent aider les gens à éviter les accidents de la route ou à conduire de nuit pour se rendre à destination plus rapidement. Je m'y connais mieux grâce à ce projet et j'espère pouvoir un jour m'asseoir dans une telle voiture.

Bibliographie

- [1] La voiture autonome : comment les voitures autonomes peuvent assurer notre sécurité? <https://voitureautonomefr.wordpress.com/le-fonctionnement/>.
- [2] Le futur de la conduite. https://www.tesla.com/fr_FR/autopilot.
- [3] L'essentiel sur la voiture autonome. <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-voiture-autonome.aspx>.
- [4] Lidar, radar ou capteurs à ultrasons, quelle technologie utiliser? <https://www.sick.com/fr/fr/lidar-radar-ou-capteurs-a-ultrasons-quelle-technologie-utiliser/w/comparatif-ultrasons-lidar-radar/>.
- [5] A quoi correspondent les données lidar? <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>.
- [6] Tesla : pas besoin de capteur lidar pour la voiture autonome. <https://www.generation-nt.com/tesla-vehicule-autonome-lidar-capteur-strategie-actualite-1950723.html>.
- [7] Denis Arcand. Voiture autonome : Leddartech mise gros sur ses petits lidars. <https://auto.lapresse.ca/technologies/201612/26/01-5054671-voiture-autonome-leddartech-mise-gros-sur-ses-petits-lidars.php>.
- [8] Philippe Berry. Crash mortel : Mais comment les capteurs de tesla ont-ils pu rater un semi-remorque? <https://www.20minutes.fr/high-tech/1879071-20160702-crash-mortel-comment-capteurs-tesla-pu-rater-semi-remorque>.
- [9] Site en chinois. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/53658105>.
- [10] Site en chinois. <http://www.cheyun.com/content/19485>.
- [11] Dorian Hermosa. Comment fonctionnent les voitures autonomes? <https://mbamci.com/voitures-autonomes-fonctionnement/>.
- [12] Nelly Lesage. Voiture autonome : un institut coréen montre comment un lidar peut être aveuglé. <https://www.numerama.com/tech/270900-voiture-autonome-un-institut-coreen-montre-comment-un-lidar-peut-etre-aveugle.html>.
- [13] Bill Marshall. Caméras numériques, radars à micro-ondes et radars légers (lidar) : les yeux des véhicules autonomes. <https://www.rs-online.com/designspark/lidar-radar-digital-cameras-the-eyes-of-autonomous-vehicles-fr>.
- [14] Mathias Perrollaz. *Détection d'obstacles multi-capteurs supervisée par stéréovision*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, 2008.
- [15] Pierre H. Flamant (sous forme de cours). Fondamentaux lidar. http://lidar.abct.lmd.polytechnique.fr/uploads/documents/cours_lidar/Flamant_Fond1.pdf.
- [16] Elisa Wilde. Capteurs radar et ultrasons. <https://www.apgsensors.com/about-us/blog/radar-and-ultrasonic-sensors>.
- [17] Richard Wilson. Ces : Des voitures autonomes et des capteurs pour les sécuriser. <https://www.electronicweekly.com/market-sectors/automotive-electronics/ces-autonomous-cars-sensors-make-safe-2017-01/>.