

Véhicule Autonome : Etat de l'art, capture et traitement de l'information embarquées



Étudiants :

David ALBERT
Maha FASSI
Jean-François ROBIN

Sinwen STAMBOULI
Aurélien TOUTAIN
Louis ULMER

Enseignant-responsable du projet :
Abdelaziz BENSRAIR

Date de remise du rapport : 19/06/2017

Référence du projet : STPI/P6/2017 - 01

Intitulé du projet : Véhicule Autonome : Etat de l'art, capture et traitement de l'information embarquées

Type de projet : Bibliographique

Objectifs du projet :

Dans notre projet, nous allons parler des véhicules autonomes. Pour traiter ce projet, on s'est concentré sur la recherche d'information nécessaire pour y rependre à différentes questions concernant l'histoire, les technologies et les capteurs des voitures autonomes. À travers ce projet, nous avons voulu faire un bilan de l'histoire des voitures autonomes, des technologies nécessaires à leurs créations.

Mots-clefs du projet : (*4 maximum*)

- Véhicule Autonome
- Capteurs
- Deep-Learning

Table des matières

1 État de l'art	7
1.1 Définition et principes	7
1.2 Avantages et inconvénients	7
1.3 Historique	8
1.4 Perspectives	9
1.5 Limites	10
1.6 Légalisation	11
2 Aspect Technique	12
2.1 Acquisition d'informations	12
2.1.1 Les capteurs	13
2.1.2 Les systèmes coopératifs	14
2.2 Traitement de l'information	16
2.2.1 La stéréovision	16
2.2.2 Localisation par cartographie 3D	16
2.2.3 Apprentissage par Machine-Learning	17
3 Différentes technologies	19
3.1 Radar (actif)	19
3.1.1 Fonctionnement	19
3.1.2 Avantages	20
3.1.3 Inconvénients	20
3.1.4 Résumé graphique	20
3.2 Technologie Stéréovision (passif)	20
3.2.1 Fonctionnement	20
3.2.2 Avantages	21
3.2.3 Inconvénients	21
3.2.4 Résumé graphique	21
3.3 LIDAR (actif)	21
3.3.1 Fonctionnement	21
3.3.2 Avantages	22
3.3.3 Inconvénients	22
3.3.4 Résumé graphique	22
3.4 Sonar (actif)	22
3.4.1 Fonctionnement	22
3.4.2 Avantages	23
3.4.3 Inconvénients	23
3.4.4 Résumé graphique	23

Introduction

Le véhicule autonome désigne un véhicule intelligent capable de se déplacer tout seul sans l'aide de conducteur. Le lancement de la Google Car en 2010 a donné une véritable impulsion à cette innovation, aujourd'hui au cœur des stratégies de développement des constructeurs automobiles. Ce secteur en plein essor représenterait un marché de 42 milliards de dollars en 2025.

Il est souvent perçu comme une innovation de science-fiction, représente une véritable révolution sociétale. Cette technologie va entraîner de nombreux bouleversements sociaux dans les 20 à 30 prochaines années. A titre d'exemple, la diffusion du véhicule autonome s'accompagnera d'une réduction drastique des coûts de transport, ce qui pourrait totalement changer notre façon de nous déplacer. Prenons comme exemple Google qui a déposé un brevet sur les taxis autonomes gratuits. Cette idée est révolutionnaire mais surtout viable économiquement. La multinationale ne se rémunérera pas sur les passagers mais sur la publicité diffusée au sein du véhicule ou par des commerçants désireux d'attirer des clients en payant leur trajet. Ce mode de transport bouleversera le partage de la part de marché au sein du secteur des transports.

Mais quel est donc l'impact que peut avoir un véhicule entièrement autonome, qui sait évaluer et anticiper le degré de sécurité d'une situation, sur la société ? Qui est alors responsable en cas d'accident avec une voiture autonome ? Quelles sont les conséquences d'une sérieuse réduction du nombre d'accidents routiers pour les assureurs et le gouvernement ? Quels sont les changements nécessaires au niveau de la législation/réglementation et quels nouveaux risques la voiture autonome va-t-elle apporter ?

Par ailleurs, nous souhaitons remercier tout d'abord notre encadreur Mr BENSRAIR pour sa disponibilité, ses bons conseils, ses connaissances sur le sujet et son assistance qui ont assuré le bon déroulement de notre projet.

Méthodologie et organisation du travail

Au cours du quatrième semestre, chaque élève a choisi un projet physique dont la note sera comptée dans son deuxième bloc. Chaque semaine, nous passons une heure et demie en compagnie de notre encadrant M.BENSRHAIR Abdelaziz.

Lors des premières séances, notre tuteur nous a présenté notre projet et le travail demandé. Durant le premier cours, on a choisi avec le professeur un chef d'équipe (TOUTAIN Aurélien) afin de rester en contact avec notre encadrant et restituer au début de chaque séance les évolutions de notre projet. Après avoir passé la première séance à chercher toutes les informations possibles sur les véhicules autonomes afin de d'élaborer un plan et partager le travail entre nous, nous avons pu dès la deuxième séance de donner au professeur un premier plan de notre projet. Sitôt que notre tuteur nous a validé le plan nous nous sommes répartis en binôme. Les binômes se sont formés selon la partie du projet qu'un membre du groupe voulait traiter, de telle sorte que chacun prenne plaisir à apporter sa contribution. Chaque semaine après la mise au point chacun travaillait avec son binôme. Pour réaliser ce projet, nous avons prévu un calendrier assez strict. En effet, nous nous sommes mis d'accord avec notre professeur de rendre une première version de notre projet le 22 mai. Cependant, pour garder le rythme que nous nous étions imposé, ça nous a demandé beaucoup de travail personnel pour surmonter les contrebans.

Afin d'avoir une idée concrète sur le sujet que nous traitions, M BENSRHAIR nous a invité à visiter les laboratoires du LITIS (Laboratoire d'informatique, de traitement de l'information et des systèmes), afin de rencontrer des doctorants et d'en apprendre plus sur les voitures autonomes. Cette visite nous a ouvert de nouveaux horizons et nous a fait réfléchir sur notre avenir, car certains membres du groupe étaient intéressés pour faire un doctorat après leur diplôme à l'Insa.

Pour rester en contact pendant ce travail, nous avons créé un groupe Facebook afin de nous poser des questions et de s'entraider de plus nous avons créé un Google drive à fin d'avoir une vue d'ensemble de l'avancement de notre projet.

Partie 1

État de l'art

1.1 Définition et principes

Qui aurait cru il y a un siècle que les voitures rouleraient un jour toutes seules ?

Le véhicule autonome est un véhicule remplissant la fonction de transporter d'un point à un autre des biens et/ou des passagers sans intervention humaine. Il est muni d'un système de pilotage automatique lui permettant de se déplacer dans les conditions réelles de circulation. Actuellement en développement, il sera l'aboutissement, après de nombreuses années de recherche, du véhicule intelligent, qui remplace ou seconde de plus en plus le conducteur humain.

Le véhicule autonome doit être capable de se déplacer, de choisir le trajet vers sa destination, de se localiser précisément en temps réel, de conduire en respectant le code de la route, de détecter et analyser son environnement (obstacles, conditions climatiques, usagers de la route, signalisation, chaussée). Afin d'adapter son déplacement en position et en vitesse pour éviter les obstacles et les autres usagers de la route.

Le véhicule autonome peut aussi gérer des systèmes de moindre importance, comme la climatisation. Mais là n'est pas l'enjeu principal de cette technologie. En effet, son intérêt est d'assister le conducteur dans sa conduite, partiellement ou totalement. Comme avec le freinage d'urgence, ou en prenant le contrôle d'une fonction critique, par exemple le régulateur de vitesse.

Enfin, un véhicule totalement autonome possède la gestion totale des fonctions critiques, à savoir moteur, accélérateur, direction, freins.

1.2 Avantages et inconvénients

Il est prévu que l'automatisation de la conduite automobile ait des répercussions bien au-delà du domaine technologique. Car c'est toute l'industrie automobile et des transports qui va être impactée. Aujourd'hui, la voiture est un bien de consommation acheté et personnel. A l'avenir, les véhicules autonomes pourraient être commandés et venir chercher leurs passagers. L'industrie automobile ne vendrait plus alors des biens mais des services de transports.

Des études statistiques montrent que 90% des accidents sont dûs à des erreurs humaines. La généralisation des voitures autonomes pourrait permettre de bénéficier des avantages suivants :

- Une réduction des accidents, du fait d'un meilleur temps de réaction et d'une plus grande fiabilité des systèmes informatisés .
- Une réduction des embouteillages, grâce à une meilleure circulation, et une homogénéisation instantanée du trafic, et ce grâce au système de communication entre véhicules .
- D'être seul en voiture sans avoir à conduire,
 - sans avoir le permis

- sans être en état de conduire (fatigue, ivresse, maladie...)
- Une augmentation des limites de vitesse (conséquence de la réduction du temps de réaction du conducteur).
- La diminution du nombre de parkings, notamment en centre ville, puisque la voiture peut déposer ses occupants et se garer toute seule beaucoup plus loin.
- La réduction d'espace nécessaire au parking des véhicules par le partage des véhicules autonomes
- La diminution du nombre de contraventions et délits routiers.
- La livraison automatique de produits à partir d'épiceries ou de supermarchés.
- La réduction des signalisations, puisque les voitures pourraient recevoir les informations de l'environnement de manière électronique (mais pour les piétons et cyclistes, cette signalisation demeurerait nécessaire).
- Une plus grande efficacité énergétique, ce qui aurait pour conséquence une moindre pollution.
- La diminution de la main-d'œuvre nécessaire au secteur des transports.

Toutefois, bien que le véhicule autonome présente de nombreux atouts. Cette technologie fait aussi apparaître quelques inconvénients et questions :

- Quelle responsabilité juridique sera engagée en cas d'accident ? Certains constructeurs comme Volvo ont annoncé qu'ils endosseraient cette responsabilité.
- L'apparition de nombreux trajets d'ajustement et redondants (par exemple, les trajets pour aller chercher quelqu'un qui a commandé une voiture, pour aller se garer, pour anticiper une demande dans un lieu éloigné).
- Une réticence possible des utilisateurs à laisser le contrôle de leur voiture à des machines.
- Le piratage informatique des voitures, ciblé contre un véhicule, ou contre toute une flotte simultanément.
- Les voitures ne peuvent pas pour l'instant obéir aux signaux et injonctions des agents de police. Dans ce cas ces derniers devront disposer d'outils adaptés pour réguler la circulation ou arrêter le véhicule.
- Le surcoût d'un véhicule autonome par rapport à son équivalent « non autonome » pourrait être un frein auprès de la clientèle.
- La possibilité pour un constructeur automobile ou un gouvernement de surveiller voire de contrôler les déplacements des usagers.
- La requalification des chauffeurs.
- La transformation du secteur de la vente et de l'entretien des véhicules.

1.3 Historique

Plusieurs études, tentatives, expériences et tests ont été menés depuis les années soixante dix pour développer le véhicule autonome qu'on connaît aujourd'hui. Il reste cependant beaucoup de chemin avant la commercialisation officielle de cette nouvelle technologie.

Tout commença au Laboratoire de robotique de Tsukuba au Japon en 1977, avec le fonctionnement d'une automobile automatique par reconnaissance du marquage au sol et qui a atteint une vitesse de 30km/h.

En 1984, Mercedes-Benz, plus ambitieuse, teste une camionnette autonome équipé de caméras. Elle atteint une vitesse de 100km/h. 2 ans plus tard, c'est à dire en 1986, le Laboratoire de Robotique de Pittsburgh lance le développement des véhicules autonomes NAVLAB. En 1987, le programme européen PROMETHEUS à hauteur de 800 millions d'euros a contribué à développer la technologie nécessaire aux voitures autonomes.

En 1994, une démonstration fut réalisé en situation réelle à partir de Paris de deux voitures autonomes capables de changement de file et de dépassement avec une vitesse de 130km/h. Pour ce qui est

des années 2000, Google conçut son propre véhicule autonome de 2 places en 2010 , qui fut présenté en 2014, il s'agit d'un véhicule électrique d'une autonomie maximale de 130 kilomètres et pouvant atteindre la vitesse de 40 km/h. 30 ans après, Nissan annonce vouloir commercialiser ses voitures sans conducteurs en 2020.

En 2016, la FIA (Fédération Internationale de l'Automobile) lance un championnat de voitures électriques et automatiques “ROBORACE”, et dans la même année, Rouen met en essai un véhicule autonome pouvant transporter des passagers sur les quais du 17 décembre 2016 au 17 Janvier 2017.



1.4 Perspectives

Le véhicule autonome est le véhicule du futur. Les perspectives de ce dernier sont considérables. En effet, énormément d'acteurs travaillent sur des projets concernant la voiture autonome que ce soit des constructeurs automobiles comme par exemple, Renault, Audi, Mercedes Benz, Tesla. Ainsi que des entreprises spécialisées dans un tout autre domaine, comme Bosch, Google ou encore Uber. Tous annoncent vouloir commercialiser la voiture autonome pour 2020.

- Google travaille sur la mise au point des technologies utilisées pour la Google Car. Le géant de la High-tech refuse d'ajouter des fonctionnalités semi-autonome aux voitures, et se donne l'objectif de produire une voiture complètement autonome, c'est à dire sans frein ni volant d'ici 2020.
- Après avoir lancé des voitures Ford dotées de la technologie auto-conduite à Pittsburgh , ville qui compte plus de 2,6 millions d'habitants, le PDG de la start-up californienne promet près de 500 000 Tesla-Uber autonomes en 2020. Cette dernière a aussi accepté une alliance avec le constructeur automobile Volvo de 300 millions de dollars pour développer des voitures sans conducteur.



- Tesla, pour sa part prend de l'avance vis à vis de ses concurrents et annonce une voiture auto-conduite prête pour 2018. En effet, le modèle S, le modèle X actuellement en production seront dotées d'une nouvelle technologie leur permettant de circuler totalement sans conducteur.
- Les voitures ne seront pas les seules à être autonomes. En effet, les bus automatisés représentent un véritable défi dans le cadre de la mobilité urbaine. Le bus autonome est une solution prometteuse pour les problèmes environnementaux, d'embouteillages et de mégapoles. De plus, plus d'une dizaine de villes dans le monde expérimentent ces bus dans les rues, citons en premier lieu l'état d'Ohio qui met en place un système de bus autonome dans la ville et en deuxième lieu Lyon qui teste pendant un an (09.2016 à 09.2017) un service de navette avec des minibus électriques et autonomes.



- Suite à un partenariat entre Transdev (Caisse Des Dépôts, Veolia) et Renault Nissan, Rouen accueillera en 2018 un service de voitures autonomes en complément des transports en commun. Ces voitures autonomes électriques de modèle Zoé se situeront au Technopôle du Madrillet, à Saint Etienne Du Rouvray. Ils circuleront avec les autres véhicules (bus et automobiles) et franchiront des ronds-points et passages piétons, sur lesquels auront été installés des technologies communicantes. Il s'agit d'un système de transport complet qui permettra au client de réserver son trajet, et aux opérateurs de gérer et d'exploiter une multitude de voitures autonomes en un même temps.

1.5 Limites

Le véhicule autonome, bien qu'étant une technologie très prometteuse, souffre de plusieurs limites dans son développement. Le véhicule autonome connaît aujourd'hui 4 principaux défis technologiques.

Il s'agit de trouver des capteurs fiables et légaux pour l'environnement entourant le véhicule. De plus, ces capteurs doivent pouvoir fonctionner dans toutes les conditions climatiques où le véhicule pourrait circuler. Des météos pluvieuses ou neigeuses, qui induisent un manque de contraste des appareils peuvent amener à une non-détection d'un obstacle. Ce problème est à l'origine du premier accident mortel d'un véhicule conduisant sans aide permanente du conducteur.

Le deuxième défi est la capacité des véhicules à naviguer jusqu'à leur destination. Une carte des routes peut être embarquée à bord du véhicule, mais il faut alors que celle-ci soit mise à jour régulièrement. En cas de déviation, panne d'un feu tricolore, ou tout autre événement imprévu, la voiture peut ne pas être capable d'adapter sa trajectoire ou son itinéraire. Toute modification de l'environnement urbain doit donc être détectée, puis modifiée sur la carte. A grande échelle, cette méthode demande d'avoir beaucoup de personnes mobilisées pour surveiller les modifications, et le temps de répercussion

sur la carte risque d'être trop élevé.

Le troisième obstacle est la communication du véhicule avec la signalisation, ou les autres véhicules. La cohabitation entre véhicules ayant des équipements et des capacités de communication très différentes peut poser problème. De plus la création de voies spécifiques aux véhicules autonomes n'est pas techniquement envisageable.

Enfin, la dernière limite, et pas la moindre, est tout simplement l'intégration de cette technologie dans notre mode de vie. En effet ce produit est un bouleversement des habitudes de transport, comme un bouleversement de l'industrie qui lui est lié. Plusieurs facteurs peuvent ralentir le déploiement des véhicules autonomes : le coût, la réticence du public à payer davantage qu'un véhicule non autonome, méfiance du public concernant la sécurité, ou encore la volonté de conduire soi-même.

1.6 Légalisation

Si la technologie a beaucoup progressé, il faut encore que les législations évoluent pour créer un statut à la voiture autonome qui permette notamment de définir la responsabilité en cas d'accident.

En France, le “véhicule à pilotage automatique” est une technologie soutenue par l'Etat. Différentes organisations publiques comme le CNRS, l'ADEME, INRIA, LITIS, VEDECOM ainsi qu'un programme d'investissements d'avenir (P.I.A), ont permis le lancement de projet de construction d'un « centre d'essai des véhicules autonomes » financé à hauteur de 7,4 millions d'euros. Néanmoins, le véhicule autonome n'en est qu'à des stades de recherches ou de tests sur de rares tronçons. Dans l'union européenne, une révision de la réglementation est prévue. Mais la circulation de véhicule sans chauffeur est toujours interdite.

La législation européenne interdit aussi l'utilisation des capteurs actifs. En effet des technologies comme le lidar ou le radar, qui pourraient être efficace sur un véhicule, posent des problèmes d'adaptation dans un environnement réel. Aujourd'hui, la recherche sur l'utilisation de capteurs efficaces et autorisés est en cours.

Une réglementation doit encore être établie pour les véhicules autonomes de niveau 3 et 4. En effet, l'article 8-1 de la convention de Vienne de 1968 stipule que « Tout véhicule en mouvement ou tout ensemble de véhicules en mouvement doit avoir un conducteur ». Les véhicules autonomes prévus à la commercialisation dès 2020 ne seront donc seulement que de niveau 3.

Aux états-unis, 5 états (Californie, Nevada, Floride, Michigan et Washington) ont autorisés la circulation des voitures autonomes dans les villes.

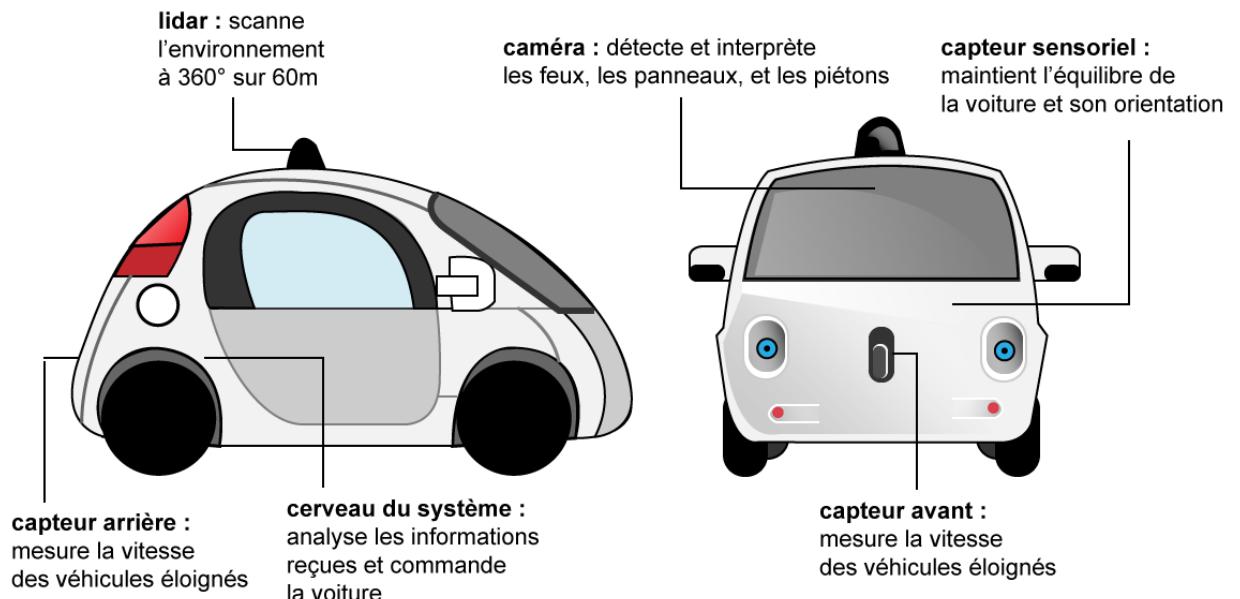
Partie 2

Aspect Technique

2.1 Acquisition d'informations

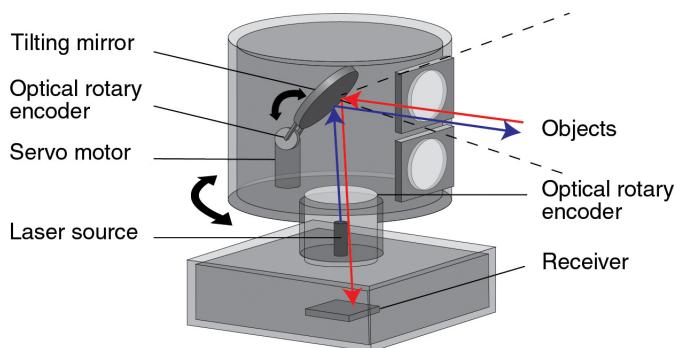
Le système informatique embarqué dans une voiture autonome doit continuellement se poser deux questions essentielles pour prendre les meilleures décisions. Où est-ce que je suis ? Est-ce que je vais heurter un obstacle ? Pour répondre à ces questions, la voiture doit collecter de l'information de son environnement, grâce aux capteurs dont le véhicule est équipé et à l'information partagée par les autres utilisateurs.

VOITURE AUTONOME



2.1.1 Les capteurs

Les **caméras** remplacent les yeux de l'utilisateur permettant à la voiture de voir le monde qui l'entoure. Une voiture autonome peut être équipée de différents types de caméras : des caméras mono vision, stéréo vision, des caméras infrarouges, et il existe même des situations dans lesquelles les voitures sont munies de caméras 3D. Ces dernières sont utilisées pour détecter les obstacles puis les identifier grâce aux images de la chaussée et de la route. En outre, on dispose d'une caméra frontale pour identifier le marquage au sol, les panneaux de signalisation, les piétons... On trouve également des caméras sur les rétroviseurs ainsi qu'à l'arrière de la voiture pour couvrir les angles morts. Par conséquent, les caméras prendront un grand nombre d'images de manière continue tout au long du voyage et, par la suite, ces images seront analysées par des algorithmes afin qu'elles soient exploitable par le véhicule intelligent. En revanche, les caméras 3D illuminent la scène avec des rayons infrarouges modulés et, par la suite, mesurent le déphasage de la lumière réfléchie pour calculer la distance par rapport à chaque pixel de manière à reconstituer une image 3D.



Le mot **Lidar** est l'acronyme du mot anglais (laser detection and ranging) ou (light detection and ranging). Il s'agit d'un appareil qui mesure la distance entre un objet et le dispositif grâce un faisceau de lumière qui peut aller du spectre infrarouge au spectre ultraviolet. Le lidar est l'un des capteurs les plus importants et le plus cher utilisé sur les voitures autonomes.

Ce qui le rend si spécial, c'est sa capacité à réaliser des scanners de zones étendues. En effet, il peut scanner à plus de cent mètres de l'environnement de la voiture et il génère également une carte spatiale en trois dimensions de façon précise et immédiate du monde qui l'entoure. Cela signifie que la voiture peut utiliser ces données pour prendre des décisions sur la façon de réagir dans différentes circonstances. Cependant, la quantité d'informations générées par le lidar peut devenir très volumineuse ce qui pourrait s'avérer problématique. Dans le cas de la vision d'ordinateur, les véhicules autonomes sont équipés de processeurs puissants capables de gérer toutes les informations acquises en temps réel sans déphasage.

Le **radar** (Radio Detection And Ranging), à la différence du lidar, utilise des ondes radio mais est lui aussi incapable de calculer la vitesse des objets qui entourent la voiture. Le dispositif envoie des ondes sonores entre 27GHz et 77Ghz lesquelles, si elles sont renvoyées, permettent la détection d'obstacles. Ainsi, en fonction du temps mis par les ondes pour effectuer un aller/retour et de la vitesse du son connue, le radar peut déterminer la vitesse ainsi que la distance qui sépare la voiture de l'obstacle.

On distingue deux types de radar. D'un côté, on a les radars de courte portée, environ 30 mètres, lesquels sont utilisés à faible vitesse. D'un autre côté, on a les radars à longue portée, environ 200 m, employés à grande vitesse.

Centrale à inertie

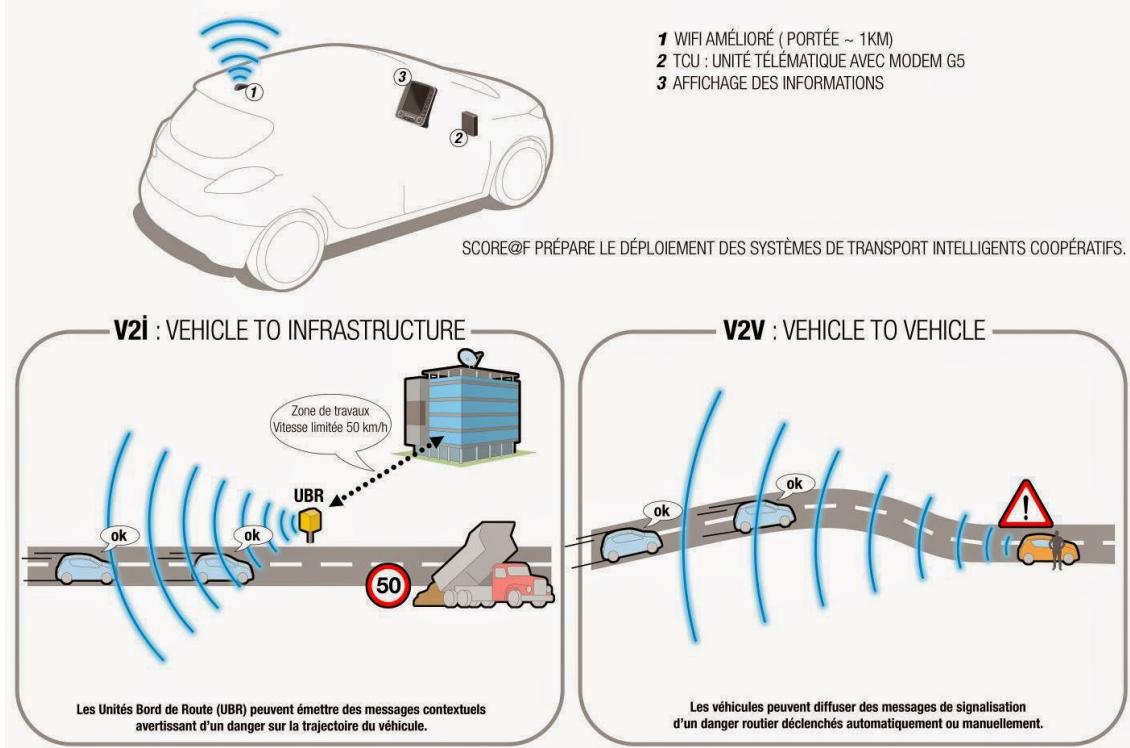
Il s'agit un équipement composé de trois gyromètres et de trois accéléromètres utilisé en navigation. Les gyromètres ont pour rôle de calculer la vitesse et de déterminer la position d'un objet. Quant aux accéléromètres, ils mesurent les trois composantes du vecteur spécifique, soit, le déplacement dans un repère orthonormé de trois dimensions. La centrale à inertie joue le même rôle qu'un GPS. Toutefois, elle n'a pas besoin d'une connexion internet ce qui pourrait être crucial si le GPS rencontre des problèmes de fonctionnement ou encore si la voiture rencontre des problèmes de connexion à internet.

L'odomètre est un dispositif qui mesure la vitesse de la voiture en se basant sur la circonférence d'une roue ainsi que le nombre de rotations effectuées. À partir de cette information, ce dispositif peut déterminer la distance parcourue par la voiture.

Les capteurs utilisés dans la voiture autonome peuvent fournir la même information ce qui nous mène à penser qu'il existe une certaine redondance dans les données. Cependant, avoir à disposition le même renseignement permet à l'ordinateur d'avoir une information plus fiable ce qui aura une influence par la suite sur la décision prise par l'algorithme et donc par le véhicule autonome.

2.1.2 Les systèmes coopératifs

SCORE@F : SYSTÈME COOPÉRATIF ROUTIER EXPÉRIMENTAL EN FRANCE



De nos jours, les voitures communiquent très peu entre elles. Or, avec les avancées scientifiques dans le domaine de l'informatique, la coopération entre les différents acteurs devient cruciale pour la sécurité des utilisateurs.

On trouve deux types de systèmes communicants. Le premier est eCall, qui existe déjà. Il s'agit d'un système d'appel d'urgence automatique permettant à une voiture d'envoyer un message d'urgence ainsi que sa position exacte aux secours dans le cas d'un accident même si les utilisateurs sont inconscients. Le second porte le nom de système coopératif. D'après la définition donnée par la Commission européenne (CE), unité C.5 – ICT pour "ICT for Transport and the Environment" : « Etat de coopération des acteurs du système de transport (exploitants, infrastructures, véhicules, leurs conducteurs et autres usagers de la route) dans le but d'offrir le plus sûr, le plus fiable et le plus confortable des déplacements ». Les systèmes coopératifs peuvent être divisés en trois niveaux selon leur niveau de coopération. Le premier niveau correspond au Système autonome dans lequel la voiture n'intéragit pas directement avec les autres véhicules. De ce fait, elle est équipée par les différents capteurs nécessaires comme le lidar, le radar, les caméras... Le deuxième niveau est le Système coopératif aussi appelé « C-ITS » (Cooperative Intelligent Transport Systems). Dans celui-ci, les conducteurs disposent de plus d'informations ainsi que d'une meilleure connaissance de leur environnement grâce à la communication entre les infrastructures routières et les véhicules (V2I). Cela permet l'acquisition davantage d'informations à la voiture concernant l'état de la circulation sur sa voie ainsi que sur les voies voisines. Le dernier niveau est le système interactif dans lequel la voiture échange non seulement de l'information avec les infrastructures, mais aussi avec les autres véhicules (V2V). A ce niveau, l'ordinateur embarqué dispose d'un accès en temps réel aux informations dont disposent les autres utilisateurs. Ce niveau décrit le cas de figure idéal car la voiture dispose de plus d'informations sur la circulation, notamment en matière de détection d'obstacles (piétons, infrastructures, autres véhicules ou même un accident). Avoir un accès à une grande variété de sources d'informations permettra à la voiture d'anticiper ses actions. Toutefois, le fait de partager de l'information en continu avec les autres conducteurs entraîne un coût non négligeable en matière de traitement de données massives en temps réel et plus particulièrement en termes de puissance de calcul, d'algorithmes ainsi que dans le cadre du matériel utilisé. Afin de remédier à ce problème, on peut considérer un système coopératif ponctuel qui négligera l'information issue de la réalisation de tâches annexes, entre autres le stationnement.

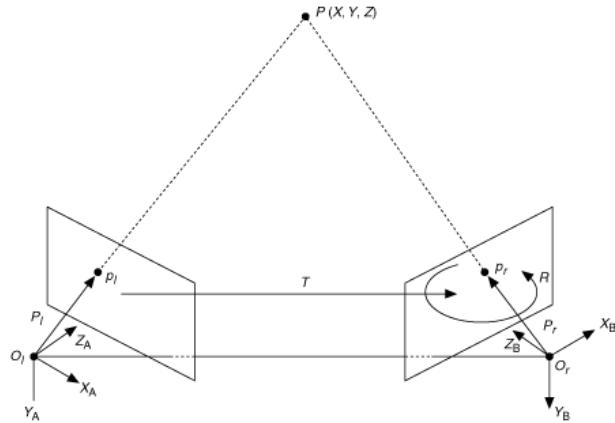
2.2 Traitement de l'information

La voiture intelligente, comme on l'a vu auparavant, a besoin de capteurs de différents types pour fournir au tableau de bord un nombre suffisant d'informations qui lui permettent d'effectuer différentes tâches, de la plus simple à la plus complexe. Parmi les tâches que l'on peut qualifier d'élémentaires, on peut nommer le calcul de la vitesse ou de la distance avec des obstacles, tandis que dans les tâches les plus complexes on retrouve la modélisation 3D de l'environnement qui entoure la voiture ou encore l'apprentissage par expérience de celle-ci, plus communément appelé "machine-learning".

2.2.1 La stéréovision

Pour circuler en toute sécurité, la voiture intelligente a besoin de percevoir l'environnement qui l'entoure. Une méthode, très utilisée, pour y parvenir, est la mesure stéréoscopique (ou stéréovision). D'un point de vue général cette méthode permet de déterminer les dimensions, les formes ou les positions d'objets grâce à l'utilisation d'au moins deux appareils photographiques, ou caméras. En ce qui concerne la voiture autonome, la stéréovision a différents enjeux tel que la détection d'obstacles et de véhicules en temps réel et la localisation du véhicule sur la route. La stéréovision a l'avantage de présenter une résolution spatiale importante pour un faible coût , en effet toutes les informations peuvent être obtenues avec seulement deux caméras standards.

Le principe de la stéréovision, bien qu'en pratique il ne soit pas facile à mettre en oeuvre, est relativement simple en théorie. Il consiste, en partant du principe qu'un pixel peut être assimilé à l'image d'un rayon lumineux atteignant le capteur de la caméra, à trouver, dans chaque image, le pixel qui provient de la même source. Grâce à la position des 2 pixels, on pourra déterminer par triangulation la position de la source S dans l'espace. En effet, en prenant l'angle formé par les deux rayons lumineux considérés (connus car ils passent par le pixel et le centre optique de la caméra) et l'axe reliant les deux pixels correspondants on peut aisément trouver la distance entre le pixel et sa source S. Ainsi, l'utilisation de deux caméras combinée avec des techniques de traitement d'images permet la détection d'obstacles fixes ou mobiles devant le véhicule et la reconstruction tridimensionnelle de la géométrie de la route devant le véhicule.



2.2.2 Localisation par cartographie 3D

Une des idées pour connaître la position du véhicule par rapport à sa voie de circulation est d'effectuer une reconstruction tridimensionnelle de cette dernière grâce à la détection des bords de route par stéréovision et par le biais d'utilisation d'outils mathématiques. Cette idée est largement développée par Nabil BENMANSOUR, doctorant à l'Université Pierre et Marie Curie, dans sa thèse intitulée « Reconstruction Tridimensionnelle de la Géométrie de la Route par Stéréovision »..

Une fois les capteurs stéréoscopique calibrés, on cherche à reconstruire les bords de routes. Les bords de routes sont caractérisés par des lignes blanches continues et donc correspondent sur les images capturées par la caméras, à une forte déviation de couleur. L'algorithme de recherche des bords de route correspond donc à la reconnaissance de pixels à forte déviation de couleurs, et à une phase d'appariement, c'est-à-dire de mise en correspondance des pixels provenant de la même source. Cela consiste

donc en un travail difficile et dont la complexité pour le tableau de bord est grande. Pour que cet algorithme soit plus efficace, il est nécessaire de restreindre la zone de recherche, par exemple en utilisant un modèle mathématiques se basant sur la dépendance statistique entre les différents paramètres constituant le modèle de la route (voir (1)). Une fois la detection des bords de route effectuée, il est possible, grâce à la méthode de triangulation expliquée précédemment, de connaître l'ensemble des coordonnées (X,Y,Z) des bords de route (voir relation (2)). La reconstruction 3D des bords de route est réalisée. A ce stade, et grâce à la méthode des moindres carrés pondérés, on peut estimer les paramètres de position du véhicule et des caméras sur la voie ainsi que les paramètres de la géométrie tridimensionnelle de la route (voir (1)). La stéréovision et les connaissances qui y sont associées permettent donc de localiser le véhicule sur sa voie et d'estimer la géométrie tridimensionnelle de la route devant lui.

Modèle mathématique 3D de la route reposant sur le système de coordonnées :

$$X = \lambda L + \frac{1}{2}C_{h0}Z^2 + \frac{1}{6}C_{h1}Z^3Y = -\lambda\omega L + \frac{1}{2}C_{v0}Z^2 + \frac{1}{6}C_{v1}Z^3 \quad (2.1)$$

avec pour paramètres constituants le modèle de la route :

- L : largeur de la voie de circulation
- C_{h0} : courbure horizontale de la route
- C_{h1} : variation de la courbure horizontale
- C_{v0} : courbure verticale de la route
- C_{v1} : variation de la courbure verticale
- ω : angle de roulis (= dévers de la route)
- $\lambda = 0$: pour identifier le bord droit
- $\lambda = -1$: pour identifier le bord gauche

Il apparaît tout de même différents problèmes en ce qui concerne la stéréovision. Les caméras ont une portée de vision restreinte et la netteté des images capturées dépend grandement des conditions météorologiques. L'efficacité de cette méthode présente donc un aspect incertain. Le manque d'informations capturés par cette méthode est donc combler par l'utilisation de LIDAR qui sont des capteurs 360°longue distance. L'utilisation de ses capteurs ne sera pas détaillée dans cette partie.

La conduite autonome est couplé à la navigation GPS, ce qui nous permet de se repérer via la cartographie.

2.2.3 Apprentissage par Machine-Learning

A ce stade du traitement de l'information réalisé par le tableau de bord, ce dernier est capable de réceptionner des signaux lui permettant de reconstruire en temps réel l'environnement qui entoure la voiture et se positionner par rapport à celui-ci. Seulement, il lui faut maintenant le comprendre et réagir en conséquence. Pour cela, la solution la plus efficace de nos jours consiste en un apprentissage par machine-learning, ou « apprentissage automatique ».

Le machine learning est un domaine de l'intelligence artificielle. Il s'inspire du fonctionnement du cerveau humain. Ce domaine étudie la façon dont des algorithmes peuvent apprendre en étudiant des exemples. C'est-à-dire qu'il va déterminer, à partir d'un nombre considérable d'exemples de situations, les corrélations les plus fortes reliant les différentes variables du problème. L'avantage de ce type d'apprentissage, que l'on peut définir d'apprentissage non supervisé, du fait que l'homme laisse dans un premier temps l'algorithme travailler seul, est qu'il va prendre en compte l'ensemble des facteurs (ou variables), indépendamment des préjugés humains, pour comprendre la situation dans laquelle il se trouve et réagir d'après ce qu'il connaît. Ce type d'apprentissage a donc comme point fort de pouvoir

faire ressortir des corrélations entre des variables que l'homme n'aurait pu imaginer. L'algorithme utilisé est ainsi très performant et est utilisé dans de nombreux domaines tels que la reconnaissance vocale ou faciale, la détection de fraudes bancaires sur internet ou encore dans le cas des voitures autonomes.

En ce qui concerne la voiture autonome, le Machine Learning, et plus particulièrement sa version « Deep Learning », aide à la détection des obstacles. Ainsi, après avoir visionné un très grand nombre d'images, la voiture pourra déterminer la nature des objets qui l'entourent et donc adopter un comportement et des règles de conduite appropriés. Pour fonctionner correctement, la voiture autonome doit parcourir une quantité colossale de kilomètres pour affiner sa compréhension de l'environnement qui l'entoure (notamment les changements de conditions météorologiques) grâce à un grand nombre d'images qu'elle aura capturée. La capture de tous ces clichés est donc une solution longue, coûteuse et fastidieuse. C'est la raison pour laquelle, les chercheurs utilisent le jeu Grand Theft Auto V (GTA V) pour l'apprentissage des voitures intelligentes. En effet, ce jeu vidéo a l'avantage de se dérouler dans de grands paysages urbains très réalistes et dont les conditions climatiques sont extrêmement variables (14 météos différentes). Il est donc possible d'explorer, avec GTA V, un grand nombre de situations grâce à un simulateur, et cela sans grosses contraintes de coûts et de temps. De plus, depuis peu, un kit d'outils est mis à disposition en « open source » pour les chercheurs.

Apprentissage grâce aux cartes de GTA V



Partie 3

Différentes technologies

Dans cette partie nous allons nous intéresser à différentes technologies, voir leurs atouts et inconvénients avant de conclure sur la meilleure solution à adopter.

3.1 Radar (actif)

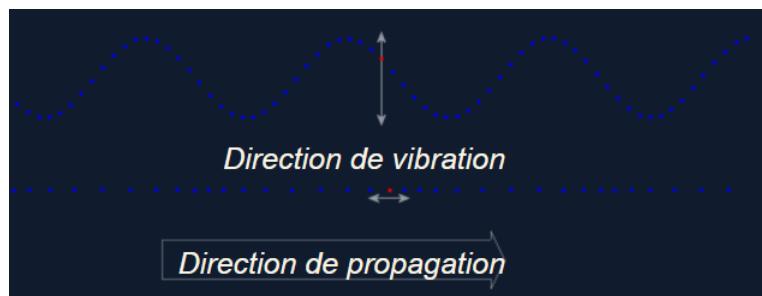
Nous allons dans un premier temps nous intéresser au radar. Le radar permet de filmer, si on dispose deux radars côte à côte cela nous permet d'avoir une vision 3D comme l'œil humain. Le radar capte environ 30 images par seconde qui sont ensuite analysées par différents algorithmes pour que la voiture autonome puisse s'en servir.

3.1.1 Fonctionnement

Le radar utilise des ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'air à une vitesse proche de celle de la lumière mais peut varier suivant la densité de l'air, son contenu en eau, sa température et sa pression. Les ondes utilisées sont comprises dans le domaine des radiofréquences c'est à dire entre 300MHz et 15GHz.

Les ondes électromagnétiques se propagent de manière transversale par rapport à leur direction de propagation, il est donc possible de les polariser, c'est à dire choisir un axe de vibration spécifique. En combinant plusieurs axes de polarisations on peut augmenter les capacités de réception de notre radar.

Le radar utilise le principe d'écholocalisation, qui est normalement utilisé par les animaux (chauves-souris, cétacés) avec des ultrasons, pour recréer un environnement en trois dimensions grâce aux échos des ondes envoyées : Quand les ondes rencontrent un obstacle, il est possible de calculer la vitesse de cet obstacle grâce à l'utilisation de l'effet Doppler.



3.1.2 Avantages

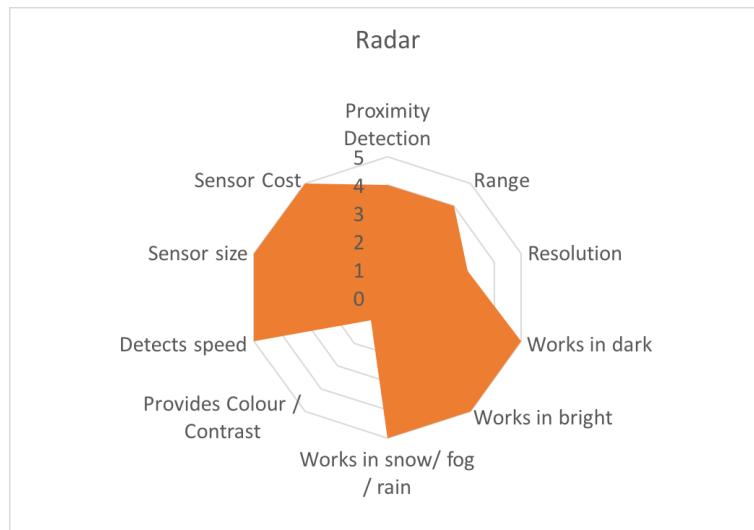
Le point fort du radar est sa grande portée. En effet celle-ci peut atteindre 200m avec une résolution de 0.1 m en profondeur. De plus, le radar est indépendant des conditions météorologiques comme la pluie, le brouillard ou la neige. Ces atouts font du radar un allié de choix dans la détection d'obstacle en tout temps. Puisqu'il fonctionne grâce aux ondes, il peut être utilisé de jour comme de nuit. Comme indiqué précédemment, l'utilisation de l'effet doppler permet au radar de calculer la vitesse des véhicules détectés. En plus de tous ces atouts, le radar reste un dispositif peu coûteux par rapport à d'autres technologies.

3.1.3 Inconvénients

L'utilisation du radar reste controversée à cause de la puissance des ondes utilisées. Nos téléphones portables utilisent des ondes de l'ordre du GHz et sont nuisibles pour nos cerveaux. Les radars utilisés sur les voitures intelligentes peuvent avoir différentes interactions nocives sur le corps humains. Les radars trop puissants peuvent aussi interférer avec d'autres ondes électromagnétiques et créer un espace où plus aucune onde ne serait utilisable. Si la voiture intelligente devait prendre une place importante dans nos vies, il faudrait se poser la question de l'impact des ondes sur notre santé.

3.1.4 Résumé graphique

Le radar reste un des dispositifs les plus utilisés pour ses nombreux atouts, cependant les effets notoires qu'il peut avoir sur la santé font de lui un dispositif redouté de la grande distribution.



3.2 Technologie Stéréovision (passif)

3.2.1 Fonctionnement

La stéréovision consiste à utiliser plusieurs caméras pour reconstruire une image en trois dimensions. Pour se faire, deux caméras sont généralement utilisées afin d'avoir une vue suivant différents angles d'une même scène. Chaque point de la scène voit ensuite sa position être calculée à partir de l'image capturée par la caméra. Il faut pour cela des algorithmes de traitement d'image qui détectent les objets similaires dans les deux images capturées ce qui peut paraître simple pour l'œil humain mais qui ne l'est pas pour un ordinateur.

3.2.2 Avantages

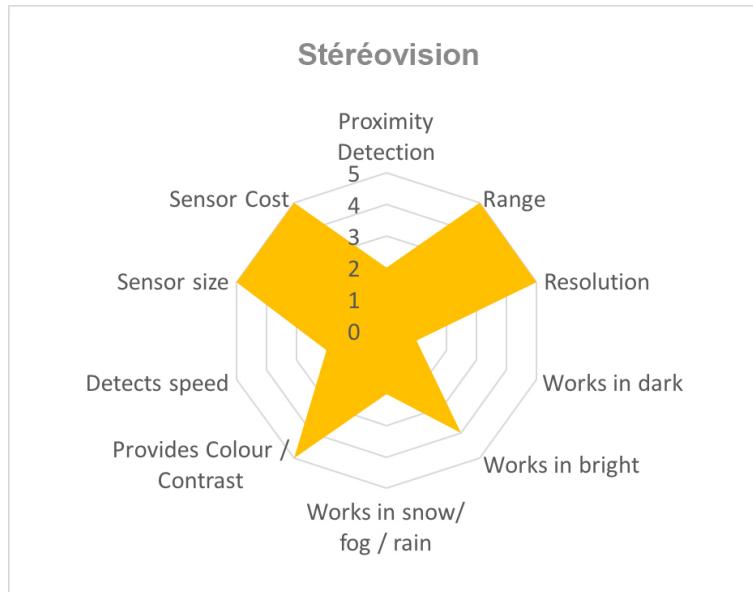
La stéréovision permet de reconnaître des obstacles particuliers ou des panneaux de signalisations grâce à l'auto-apprentissage des machines embarqués sur les véhicules. Le machine-learning permet aux véhicules dotés de stéréovision d'avoir des réactions plus humaines face aux situations. Là où un radar ne voit qu'un panneau quelconque, la stéréovision voit une consigne à respecter.

La prise de vue en continue est un atout majeur de la stéréovision, elle permet aux véhicules de réagir en temps réel face à une situation routière. Les caméras étant assez petites, la stéréovision n'est pas un système volumineux ce qui est particulièrement utile sur un véhicule où l'espace est restreint. De plus les caméras sont bons marché, c'est en grande partie le traitement des images qui est coûteux pour les industriels. Les caméras ont une portée et une résolution d'image satisfaisante si la météo est bonne, c'est justement à cause des conditions météorologiques que la stéréovision possède différents inconvénients.

3.2.3 Inconvénients

La qualité des images capturées par les caméras dépend bien évidemment des intempéries. La stéréovision est un système inutile de nuit puisque les contrastes ne sont plus assez visibles pour détecter précisément des obstacles.. La richesse des informations procurées par ces images demandent un traitement rapide et adapté de la part de l'ordinateur de bord. On relève également de sérieux problèmes de calibration.

3.2.4 Résumé graphique



3.3 LIDAR (actif)

3.3.1 Fonctionnement

Le lidar fonctionne en analysant des faisceaux laser lumineux renvoyés vers leur émetteur. A l'inverse des sonars et des radars qui utilisent respectivement des ondes sonores et électromagnétiques, les rayons issus d'un laser sont toujours cohérents entre eux. La distance avec un objet est calculée grâce aux

rayons envoyés par un laser impulsif, puisque nous connaissons la vitesse de la lumière nous pouvons calculer la distance qui sépare la voiture d'éventuels obstacles.

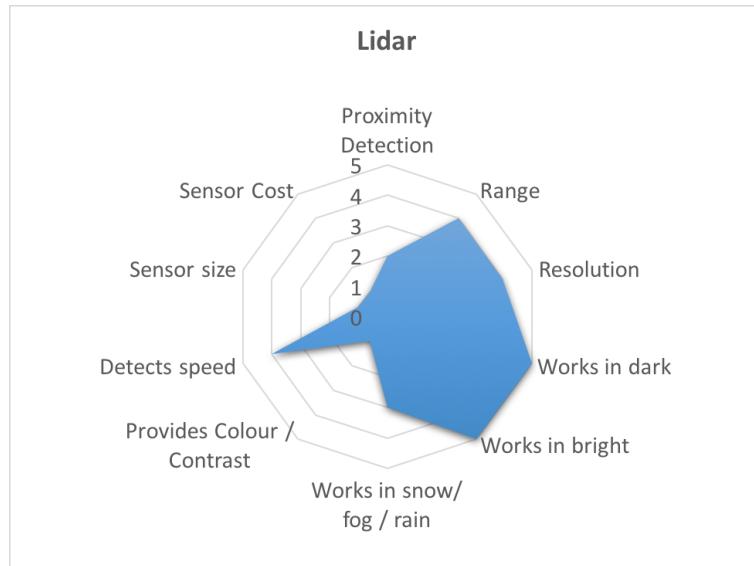
3.3.2 Avantages

L'avantage principal des systèmes de cartographie laser est qu'ils permettent de collecter de manière très précise des données topographiques, des panneaux routiers et marquage au sol et construire une carte en 3 dimensions de son environnement. A l'inverse de la photogrammétrie, la cartographie laser est faisable de jour comme de nuit et l'acquisition des données n'est pas dépendante de l'angle du soleil ou d'un temps neigeux.

3.3.3 Inconvénients

Le principal inconvénient est d'ordre économique. Le lidar est une technologie chère à produire pour l'instant, à titre d'exemple le capteur LIDAR produit par Velodyne tournant sur la Google Car coûte 75.000 \$. Et même si l'entreprise Ibeo Automotive a par la suite développé des LIDAR plus abordables aux alentours de 20 000 \$. Ces derniers restent inadaptés pour une production en série. Cependant l'espoir est permis pour les industriels. En 2016 à l'occasion du salon "Electronica" Osram Opto Semiconductors a dévoilé un projet de LIDAR low cost dont le prix avoisinerait les 40 \$. Osram prévoit de produire ses premières séries pour 2018.

3.3.4 Résumé graphique



3.4 Sonar (actif)

3.4.1 Fonctionnement

Le sonar utilise le principe d'écholocation évoqué dans la partie III.1 lié au radar. Le sonar envoie des ondes sonores qui se trouvent en dehors du domaine détectable par l'oreille humaine. Il est composé d'un émetteur et d'un récepteur. Grâce à l'écho des ondes, le sonar peut créer un espace en trois dimensions autour du véhicule et ainsi permettre de détecter efficacement les obstacles. Il est normalement utilisé

dans des milieux maritimes puisque les ondes sonores se propagent plus rapidement dans l'eau. C'est pourquoi dans l'air il ne fonctionne que sur des courtes distances.

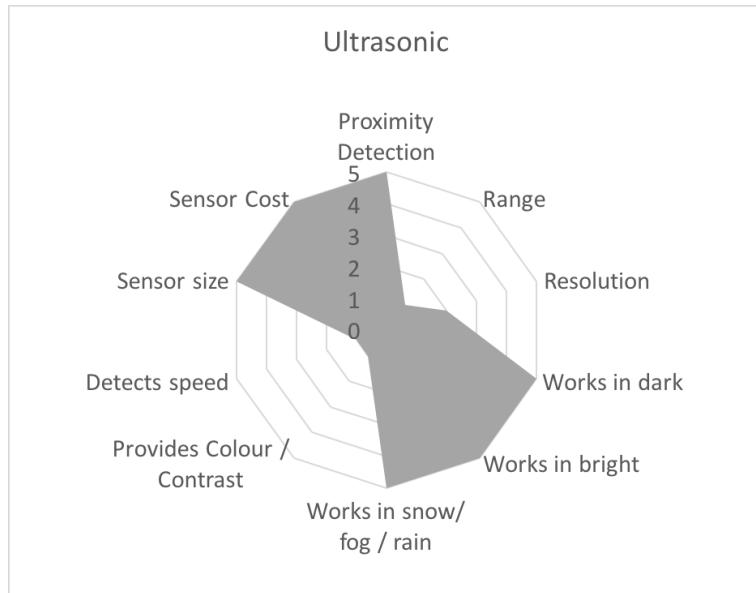
3.4.2 Avantages

Du fait de son utilisation sur des distances restreintes, le sonar peut être utilisé de jour comme de nuit. Il peut aussi être efficace lorsqu'il pleut, neige ou lorsqu'il y a du brouillard. Le sonar est un dispositif qui prend peu de place et ne coûte pas cher. L'utilisation des ondes sonores est un réel avantage d'un point de vue éthique car elles ne sont pas dangereuses pour l'homme.

3.4.3 Inconvénients

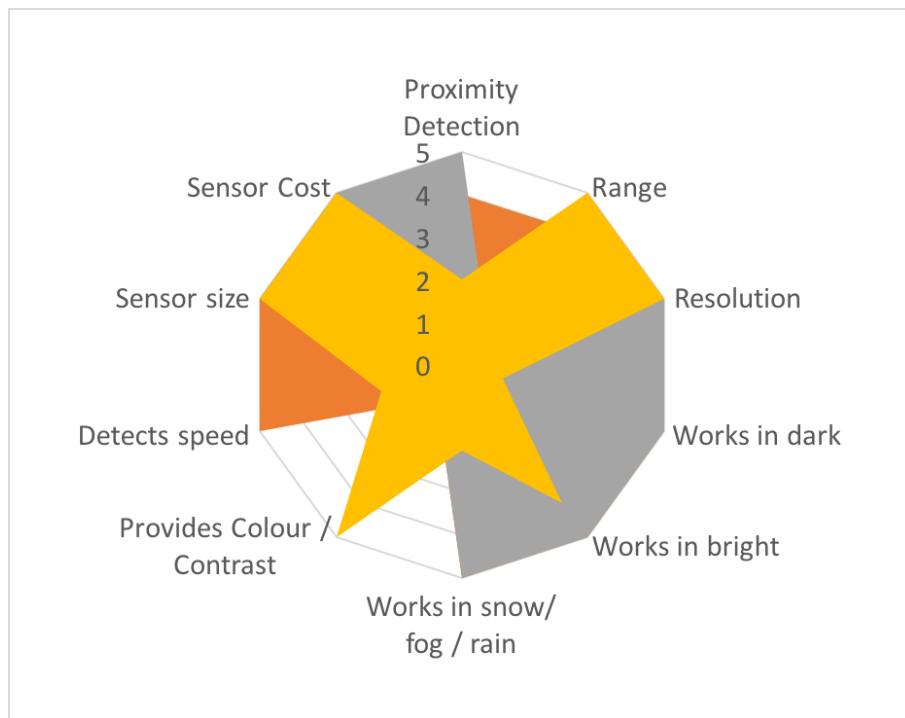
Sa faible portée nous oblige à le combiner avec un système permettant de détecter sur de longues distances pour qu'il soit véritablement efficace. Il ne permet pas de détecter la vitesse des autres véhicules contrairement au lidar ou au radar. Il est inefficace pour détecter les contrastes, on ne peut donc pas détecter des dispositifs de signalisation routière.

3.4.4 Résumé graphique



Conclusion

En conclusion nous avons pris beaucoup de plaisir à travailler ensemble sur ce sujet. Cette étude nous a apporté une vision globale des outils liés à la voiture intelligente. Cela nous donne des clefs pour comprendre et anticiper le monde de demain. Notre projet portait sur une technologie récente ayant vu ses premières applications dans les années 70. Malgré le peu de temps qu'elle a eu pour se développer, les avancées dans ce domaines sont rapides et intéressent énormément les industriels. Tous cherchent éperdument à accéder à cette technologie qui fera de la voiture un transport intelligent tout en assurant la sécurité de ses passagers.



Tout au long de cette étude, nous nous sommes attachés à décomposer les grands axes du véhicule autonome. D'une part nous avons vu comment cette dernière pouvait acquérir l'information avec des capteurs et des systèmes coopératifs. La traiter avec des algorithmes avancés de machine learning et enfin comment elle réagissait en fonction des données perçues. D'autre part, Il nous paraissait important de prendre en compte certaines limites. Juridiquement, le concept d'un véhicule indépendant d'une responsabilité humaine bouscule les codes établis. Techniquement, acquérir l'information reste compliqué, les recherches dans ce secteur sont nombreuses pour mettre au point le véhicule qui détectera correctement tous les obstacles. Nous observons que chaque capteur possède ses avantages et inconvénients. Comme le préconisent Tesla ou Google, certaines technologies doivent être vues comme

complémentaires. L'utilisation de ces dernières mène à une détection complète des différents obstacles faisant face à notre véhicule dans n'importe quelle situation, de nuit, de jour, sous la pluie, la neige etc..

Ainsi la voiture de demain tend vers un système de fusion multicapteurs.

Enfin nous tenons à remercier particulièrement M.BENSRHAIR qui a su se mettre notre niveau pour nous conseiller et nous orienter afin que ce projet soit le plus complet possible.

"Il est hélas devenu évident aujourd'hui que notre technologie a dépassé notre humanité." Albert Einstein.

Appart personnel

Maha : Ce projet à été très instructif, il m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur un sujet d'actualité, du point de vue scientifique et du point de vue humain. En effet, j'ai beaucoup apprécié travailler en groupe et échanger des idées avec tout le monde.

Jean-François : Le projet de P6 m'a appris l'esprit de synthèse et l'importance des ressources utilisé lors de la recherche d'information. Travailler sur les véhicules autonomes m'a apporté beaucoup de plaisir. De plus, j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler avec 5 autres personnes sur ce sujet.

Sinwen : Ce projet a beaucoup de point positives. Tout d'abord, il est important aux élèves ingénieurs d'apprendre à travailler en groupe, puisque le travail de groupe n'est pas aussi facile qu'il pourrait en paraître, car il demande beaucoup de communication. Travailler sur les voitures autonomes m'a permis d'apprendre plus sur ce domaine assez vaste et de mieux connaître le laboratoire LITIS.

Aurélien : Ce projet m'a permis de m'intéresser à un domaine que j'apprécie tout particulièrement puisqu'il représente un enjeux majeur de notre société. Il m'a permis de prendre connaissance des recherches effectuées aux sains de l'INSA par les laboratoires de recherches tel que le LITIS ce qui pourra me servir puisque je compte aller en ASI Toutes technologies est passé par cette phase de développement et on a l'impression de regarder ça d'un oeil extérieur. Peut -être pourrons-nous un jour apporter notre pierre à l'édifice ?

Louis : Je suis satisfait d'avoir pu toucher à ce domaine qui me fait rêver depuis que j'ai entendu parler de Tesla : l'entreprise automobile innovante d'Elon Musk. Il me paraissait utile d'avoir de modestes connaissances pour mieux comprendre ce phénomène. Car je pense qu'il est un tournant industriel et sociétal majeur des années à venir. Par ailleurs, je ressors éclairé sur le rôle clef des chercheurs dans l'innovation ce que je ne soupçonnais pas au début. Enfin, je suis heureux d'avoir eu l'occasion de travailler avec une équipe aussi motivée, ce fut très instructif.

David : Ce projet, grâce à sa complexité technique, m'a permis de m'intéresser à différents points scientifiques que je ne connaissait pas. J'ai ainsi acquis des compétences dans l'analyse et la compréhension de documents scientifiques complexes tel que des thèses. De plus, étant probablement intéressé par le domaine de la recherche, j'ai beaucoup appris des sujets que l'on pouvait traiter de nos jours et de l'organisation au sein d'un laboratoire de recherche tel que le LITIS.

Bibliographie

- <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00483129/document>
- <https://cleantechnica.com/2016/07/29/tesla-google-disagree-lidar-right/>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar>
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00012017/file/theseLemonde.pdf>
- <https://humanoides.fr/la-voiture-autonome-de-ford-roule-deja-la-nuit-avec-le-3d-lidar/>
- <https://www.industrie-techno.com/le-lidar-talon-d-achille-des-prototypes-de-voitures-autonomes.39708>

Image

- <http://tpe-voiture-autonome.kazeo.com/les-principaux-capteurs-dune-voiture-autonome-a123093210>
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00012017/file/theseLemonde.pdf>
- <http://bfmbusiness.bfmtv.com/entreprise/les-yeux-et-les-oreilles-des-voitures-autonomes-1046362.html>
- <http://www.4erevolution.com/lidar-low-cost/>
- <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs226/fr/>
- <http://www.radartutorial.eu/18.explanations/ex07.fr.html>
- https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/transport/quand-les-voitures-autonomes-jouent-a-grand-theft-auto-v_104969
- http://sourishghosh.com/assets/images/blog/stereo_calibration/2.png

Systèmes Coopératifs

- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00934428/document>
- <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/154000746.pdf>
- <http://www.transport-intelligent.net/technologies/systemes-cooperatifs/>

Capteurs

- <http://apres-vente-auto.com/a-la-une/58195-capteurs-radars-vers-voiture-autonome>
- <https://www.electronicsweekly.com/market-sectors/automotive-electronics/ces-autonomous-cars-sensors-make-safe-2017-01/>
- <http://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=688>
- http://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1330069

Machine-Learning

- http://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/01/14/comment-des-voitures-autonomes-apprennent-a-conduire-avec-le-jeu-video-gta-v_5062792_4408996.html