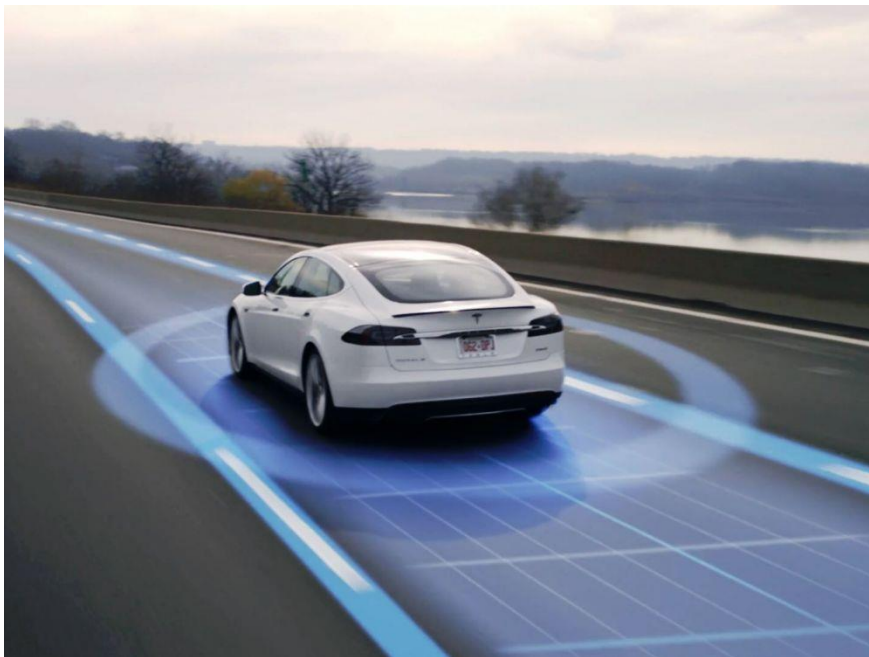


***Projet de Physique P6***  
***STPI/P6/2021 – 01***

**Véhicule Autonome et Connecté :  
Perception Embarquée**



**Etudiants :**

**Corentin BATARD**

**Myrto PSAROUDAKI**

**Lucie BOUFFETTE**

**Loïck TOUPIN**

**Benjamin FONTAINE**

**Hugo TURPIN**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Abdelaziz BENSRAIR**



Date de remise du rapport : 12/06/2021

Référence du projet : **STPI/P6/2021 – 001**

Intitulé du projet : **Véhicule Autonome et Connecté : Perception embarquée**

Type de projet : **Bibliographique et Etat de l'art**

Objectifs du projet :

***L'objectif de ce projet est d'acquérir des bases sur la conduite de projets en groupe. Il s'agit ici de faire l'étude de la perception embarquée d'un véhicule autonome, qui est un sujet d'actualité. Ce projet nous permet de mener une recherche bibliographique sur un semestre tout en réalisant un travail d'équipe. Il nous encourage ainsi à combiner nos compétences de recherches avec nos aptitudes de management et de travail en groupe.***

Mots-clefs du projet : **Perception, Véhicules autonomes, Capteurs**

## TABLE DES MATIERES

1. Introduction .....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Qu'Est-ce qu'un véhicule autonome.....	7
3.1. Définition .....	7
3.2. Historique.....	8
3.3. Les Besoins et les Enjeux .....	8
4. Technologie de perception autonome.....	10
4.1. LIDAR .....	10
4.2. Caméra .....	11
4.3. L'odomètre.....	12
4.4. La caméra infrarouge thermique .....	13
4.5. RADAR .....	14
4.6. Télémètre acoustique .....	14
4.7. Fusion multicapteurs .....	16
5. Perspectives .....	17
5.1. Communication V2X.....	17
5.2. Deep learning .....	18
6. Conclusions et perspectives.....	19
6.1. Conclusion sur le travail réalisé.....	19
6.2. Conclusions sur l'apport personnel .....	19
6.3. Perspectives pour la poursuite du projet.....	20
7. Bibliographie .....	21

## NOTATIONS, ACRONYMES

**ABS** : Antilock Braking System

**DSRC** : Dedicated Short Range Communication

**ESP** : Electronic Stability Program

**GNSS** : Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites

**IA** : Intelligence Artificielle

**ITS** : Intelligent Transport Systems

**LIDAR** : Light Detection And Ranging

**NCAP** : New Car Assessment Program

**RADAR** : RAdio Detection And Ranging

**SAE** : Society of Automotive Engineers

**SONAR** : Sound Navigation and Ranging

**VA** : Véhicules Autonomes

**V2D** : Vehicule To Device

**V2I** : Vehicule To Infrastructure

**V2N** : Vehicule To Network

**V2P** : Vehicule To Pedestrian

**V2V** : Vehicule To Vehicule

**V2X** : Vehicule to everything

## 1. INTRODUCTION

Le projet physique de P6 consiste à étudier un sujet proposé par différents enseignants, et a pour but de nous initier à la gestion de projet en groupe. Le sujet qui nous a été attribué nous a mené à nous interroger sur une thématique actuelle : les véhicules autonomes.

En effet, les moyens de transport n'ont cessé de s'améliorer depuis les premiers modèles de véhicules motorisés et atteignent de nos jours des performances jusqu'alors inimaginables. Néanmoins ces véhicules ont toujours nécessité un conducteur, chose qui depuis ces dernières années tend à s'effacer. L'erreur humaine étant la principale cause d'accident sur les routes, l'automatisation devient un enjeu essentiel du secteur de l'automobile.

De nombreux systèmes embarqués ont déjà envahi nos voitures comme l'ABS ou encore l'ESP. Mais ces systèmes ne permettent pas de garantir l'autonomie complète du véhicule. Désormais les technologies de capteurs permettent au véhicule de percevoir son environnement proche et d'anticiper le danger. On peut alors se demander quelles sont les technologies qui permettent aujourd'hui d'assurer l'autonomie d'un véhicule et par extension une plus grande sécurité sur la route.

Dans un premier temps nous détaillerons la méthodologie que nous avons adoptée pour mener à bien ce projet. Ensuite nous définirons plus en détail ce qu'est un véhicule autonome. Enfin nous expliciterons les différentes technologies de capteurs composant les véhicules autonomes actuels.

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pendant les premières séances nous avons fait des recherches globales et en avons discuté ensemble et avec le professeur encadrant. Puis petit à petit nous avons formé un plan et nous nous sommes consacrés à la rédaction de plusieurs parties chacun. Chaque semaine, notre professeur encadrant Abdelaziz Bensrhair nous conseillait sur nos décisions et nous aiguillait dans la bonne direction à prendre. Enfin nous avons mis en commun nos parties de sorte que tout le monde puisse donner son avis sur le travail effectué. Finalement nous nous sommes occupés de la rédaction de l'introduction, de la conclusion, de la partie méthodologie et de la mise en page tous ensemble. Une fois la première version du projet terminée, nous avons pu le faire valider par notre professeur encadrant et rectifier les points à corriger.

Notre organisation a également dû prendre en compte le contexte sanitaire. En effet, ne pouvant pas nous voir à l'INSA pour des réunions de groupe nous avons dû nous adapter et utiliser les outils à notre disposition comme Discord, ou encore Google Doc pour pouvoir travailler à distance.

<b>Corentin BATARD</b>	<b>Lucie BOUFFETTE</b>	<b>Loïck TOUPIN</b>	<b>Myrto PSAROUDAKI</b>	<b>Benjamin FONTAINE</b>	<b>Hugo TURPIN</b>
- RADAR - Deep learning	- Définition VA - Niveaux d'autonomie - LIDAR - Mise en page du rapport	- Caméra infrarouge thermique - Fusion multicapteurs	- Le télémètre acoustique (SONAR) - L'odomètre - Mise en page du rapport	- Historique - Communication V2X	- Enjeux - Perspectives - Caméras

### 3. QU'EST-CE QU'UN VEHICULE AUTONOME

#### 3.1. Définition

Le véhicule autonome est un véhicule qui peut se déplacer avec ou sans l'aide d'un conducteur c'est-à-dire qu'il offre la possibilité d'une conduite plus ou moins automatisée. Une modélisation en trois dimensions de l'environnement dans lequel il se déplace est réalisée grâce à des capteurs qui se retrouvent à de nombreux endroits du véhicule. Cette modélisation permet l'identification des éléments tels que les bâtiments, les piétons, les véhicules ou encore les panneaux de signalisation. Les données recueillies par les capteurs vont être traitées puis analysées par le système d'intelligence artificielle du véhicule afin que celui-ci adapte ses réponses aux différentes situations. Pour une progression optimale dans la circulation ambiante et dans le respect du code de la route, des actionneurs vont pouvoir contrôler la voiture (direction, freinage, accélération, clignotants) tout en lui évitant d'éventuels obstacles.

Il existe aujourd'hui de nombreux modèles de véhicules autonomes provenant de différents constructeurs. Il est donc difficile de concevoir clairement les capacités d'autonomie de ces voitures, c'est pourquoi les industriels prennent pour référence les critères qui ont été mis en place par la Society of Automotive Engineers (SAE). Ils sont répartis en six niveaux afin de mieux comprendre ce qu'il est possible de faire ou ne pas faire selon le degré d'autonomie proposé. [\[1\],\[2\],\[3\],\[4\]](#)

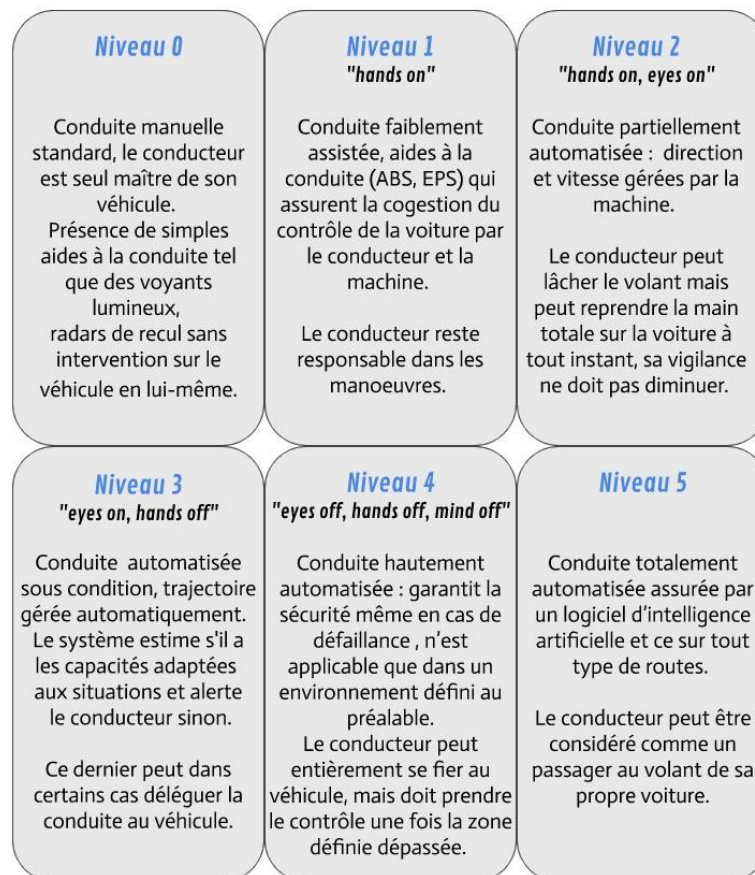


Figure 1: Les différents niveaux d'autonomie

### 3.2. Historique

Les premiers prototypes de véhicules autonomes ont été réalisés dans les années 1970. Il ne s'agissait alors que de tentatives isolées, qui, grâce aux évolutions des technologies de capteurs, ont abouti à des résultats qui ont posé les bases de la perception embarquée.

Le premier bond majeur dans l'histoire des véhicules autonomes se fit en 1977 par le laboratoire de robotique de Tsukuba au Japon. Ces derniers ont en effet réussi à faire suivre une trajectoire automatiquement à une voiture. La technologie utilisée permettait de suivre un marquage au sol sur un circuit dédié grâce à des capteurs optiques. L'autonomie du véhicule est encore très sommaire car elle ne peut pas être employée sur les routes classiques puisqu'elle nécessite des marquages au sol spécifiques.

En 1984, une collaboration entre Mercedes-Benz et une équipe de l'université de Bundeswehr à Munich aboutit à la création d'une camionnette autonome équipée de caméras et d'un logiciel de reconnaissance développé sous la direction d'Ernst Dickmanns. Ce véhicule peut atteindre une vitesse de 100km/h ce qui est une avancée significative comparée à la vitesse de 30km/h atteinte par la voiture autonome de Tsukuba. De plus, il pouvait se déplacer sur un réseau routier classique et ne nécessitait pas de marquage spécifique au sol. L'équipe de Ernst Dickmanns mettra au point en 1986 le camion VaMoRs, évolution du camion de Mercedes-Benz, pouvant se déplacer quasiment sans intervention humaine.

C'est dans les années 2000 que les progrès technologiques, et notamment en matière de communication, permettent aux véhicules autonomes de connaître un développement considérable. Des concours s'organisent afin de mettre en compétition les différentes technologies ce qui permet de pousser vers l'avant la recherche. On peut notamment évoquer le DARPA Grand Challenge de 2004 qui consistait à compléter un circuit de 240 km dans le désert en un temps le plus court possible.

A partir de 2010 des projets d'ampleur en matière de véhicules autonomes se multiplient. De 2010 à 2014, un projet de recherche européen, le projet CATS a pour objet d'étudier la faisabilité de l'insertion d'un système de transport basé uniquement sur des véhicules autonomes électriques au sein des grandes villes. On peut également noter une multiplication des acteurs impliqués dans le secteur des véhicules autonomes. En effet, l'intérêt des constructeurs automobiles tels que Audi, Toyota, Renault, Nissan, Tesla, Peugeot, General-Motors et Mercedes-Benz n'a fait qu'augmenter ces dernières années et des projets de voitures autonomes commencent à se concrétiser auprès du grand public. D'autres acteurs comme Google ou Apple cherchent aussi à développer leur propre système. [\[5\],\[6\]](#)

### 3.3. Les Besoins et les Enjeux

Les voitures autonomes présentent des enjeux considérables pour notre vie future. Nous pouvons dans un premier temps évoquer les aspects positifs, notamment les enjeux sécuritaires puisque la principale cause d'accidents est le facteur humain : 92% des accidents sont dus à un mauvais comportement du conducteur. Cela représente des milliers de vies perdues chaque année, nombre qui diminuerait fortement avec l'utilisation de véhicules autonomes.

L'enjeu économique est également à souligner car le "coût humain", c'est-à-dire les charges de formation, d'encadrement, et les salaires, est l'un des facteurs les plus importants dans le coût du transport. Il est estimé que la consommation d'un véhicule autonome devrait être, sur le long terme, moins conséquente que celle d'un humain. De plus, toute une filière constituée des constructeurs, des éditeurs de logiciels, des services en ligne, d'infrastructures ou encore d'objets connectés serait valorisée. [\[7\]](#)



Enfin, il y a un enjeu humain. En effet, il y a de nos jours une pénurie de chauffeurs de poids-lourds en raison des conditions de sécurité et de la pénibilité du travail. Même si ces dernières se sont considérablement améliorées, cela reste un métier sous tension. L'utilisation de véhicules autonomes dans les milieux de conduite les plus dangereux (mines, terrains peu praticables, ...) serait un véritable progrès.

Cependant l'utilisation de véhicules autonomes crée des problèmes de différents ordres. Leur acceptabilité est discutable. Plus de 40% de la population ne se sent pas en confiance vis à vis des véhicules autonomes et plus de 60% pensent qu'un humain aux commandes ou un opérateur joignable est nécessaire. Très peu sont favorables à l'utilisation de véhicules de niveau 4 ou plus.

Concernant les emplois, les véhicules autonomes représentent une menace pour de nombreux postes. On peut en effet se demander comment reconverter les personnes impactées par une perte d'emploi dû au développement de cette technologie.

De plus, la fiabilité de ces véhicules peut être remise en cause. Les technologies utilisées doivent être opérationnelles en toutes circonstances même dans les conditions les plus extrêmes, ce qui implique une maîtrise parfaite de l'IA (Intelligence Artificielle) et des infrastructures utilisées pour les transmissions de données.

La cybercriminalité touche les VA qui sont pour l'instant trop vulnérables aux cyberattaques comme le vol à la souris, le détournement/brouillage/modification de données ou encore le contrôle à distance du véhicule.

L'aspect juridique n'est pas à négliger. En effet, en cas d'accident, on peut légitimement se demander si la responsabilité revient au constructeur du véhicule, au logiciel ou au conducteur.

Financièrement, les prix des VA sont élevés. En 2020, un véhicule autonome coûtait entre 270 000 et 360 000 euros. Un LIDAR à lui seul peut coûter jusqu'à 68 000€, plus du double d'un véhicule actuel. Même si les prix devraient diminuer de 25% d'ici 2026, les véhicules autonomes ne seront pas à la portée de tout le monde. [\[7\],\[8\]](#)

## 4. TECHNOLOGIE DE PERCEPTION AUTONOME

### 4.1. LIDAR

#### 4.1.1. Définition

Le LIDAR, acronyme pour “Light Detection And Ranging”, permet de détecter ou d’estimer des distances grâce au calcul du temps que met une onde lumineuse pour arriver sur un objet et se réfléchir afin de revenir à sa source. En effet, si les radars sont des technologies qui s’appuient sur des ondes, le Lidar utilisera plus précisément des faisceaux laser.<sup>[9]</sup>



Figure 2 : Exemple de Lidar par Velodyne

#### 4.1.2. Technologie

La principale fonction du LIDAR est de mesurer le temps que mettra une onde lumineuse, envoyée par impulsion, pour se réfléchir sur un objet afin d’analyser l’environnement dans lequel la voiture se déplace. Ces ondes lumineuses peuvent appartenir à un domaine spectral très large, allant de l’infrarouge au visible en passant par l’ultra-violet. Le LIDAR est le capteur ayant la plus longue portée (une centaine de mètres).

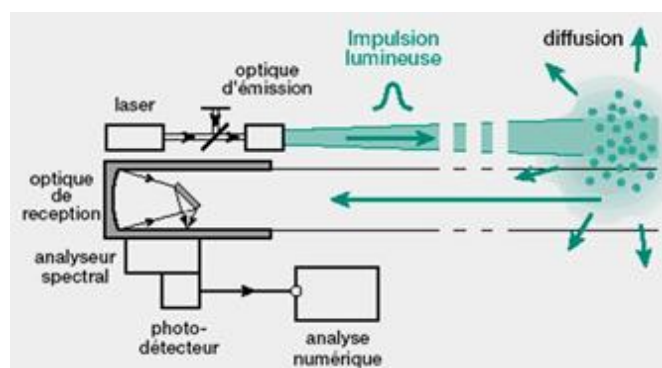


Figure 3 : Schéma du principe de fonctionnement

Les LIDAR sont composés de plusieurs organes puisqu’il faut envoyer un signal, le réceptionner et enfin le traiter. On peut citer l’émetteur laser qui est l’élément principal de cette technologie, il fonctionne avec un récepteur. Ce dernier capture l’onde réfléchi sur l’objet afin de l’analyser. Le signal transmis doit ensuite être converti en un signal électrique c’est pourquoi le LIDAR comprend un photodétecteur. Enfin, pour pouvoir extraire l’information utile et nécessaire, il faut ajouter une chaîne électronique de traitement du signal qui permettra une prise de décisions.

L’environnement dans lequel se déplace la voiture comprend de nombreuses ondes lumineuses qui peuvent être qualifiées de parasites pour le LIDAR c’est pourquoi il est indispensable d’appliquer des filtres pour limiter ces ondes. L’appareil laissera, par exemple, passer uniquement la lumière avec une longueur d’onde très proche de celle transmise.

#### 4.1.3. Avantages et limites

Parmi les avantages de cette technologie, nous pouvons citer sa précision dans les mesures de distance (de l’ordre du centimètre). Il peut également percevoir tout l’environnement puisqu’il n’a pas d’angle mort. Il donne également des informations sur le volume et la taille des objets. De plus, il fonctionne de jour comme de nuit.

Cependant, le LIDAR reste dépendant des conditions météorologiques et de l’environnement qui l’entoure. Il peut arriver qu’il sature, c’est-à-dire qu’il soit aveuglé si l’onde lumineuse qu’il reçoit est trop puissante, ce qui entraîne une diminution de la vision de l’appareil qui ne percevra plus tous les objets environnants. Enfin, le LIDAR reste une technologie très onéreuse.<sup>[10],[11],[12],[13]</sup>

## 4.2. Caméra

### 4.2.1. Définition

Les caméras sont des appareils qui captent un nombre élevé d'images par seconde (entre 25 et 100). Ces dernières sont constituées de millions de pixels de différentes couleurs qui, une fois traités par un logiciel, permettent de déterminer si un panneau est présent, si une voiture arrive, etc. Leur principale fonction est de détecter et d'identifier les lignes et marquages au sol (afin de rester correctement positionné), les feux rouges, les panneaux et clignotants des autres véhicules pour adapter le comportement du véhicule. Il détecte aussi les obstacles ou autres usagers pouvant être présents (motos, vélos, piétons). Leur portée commence à se dégrader à partir de 50 mètres environ. <sup>[14]</sup>

### 4.2.2. Technologie

Généralement, il y a plusieurs types de caméras sur le véhicule, toutes avec un rôle différent, nous pouvons citer la caméra principale qui filme à l'avant, c'est « l'œil » de la voiture. Elle est couplée à une caméra longue distance, utilisée à grande vitesse, pour analyser ce qui se passe devant la voiture. Il y a aussi la caméra grand angle qui détecte les feux de signalisation, les éventuels dangers environnants et les objets à proximité. Les caméras latérales servent à la surveillance des véhicules entrant dans la voie de circulation, lorsque la visibilité est réduite et contrôlent les angles morts, pour des changements de voie, par exemple. Enfin, la caméra arrière permet de visualiser l'arrière du véhicule notamment pour certaines manœuvres difficiles. <sup>[14],[15],[16]</sup>

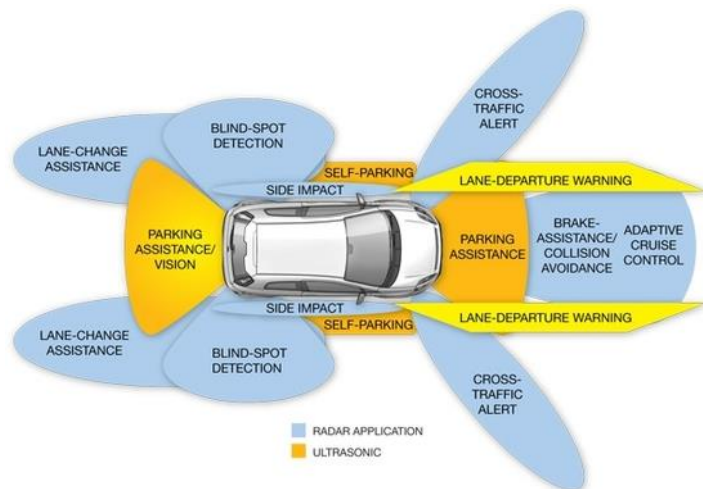


Figure 4 : Schéma des différentes caméras présentes sur une voiture

### 4.2.3. Avantages et limites

La caméra est un élément central dans le fonctionnement des voitures autonomes. Elle offre des performances bien supérieures à nos yeux. Tout d'abord contrairement aux yeux, la caméra permet d'observer le champ de vision dans sa globalité de manière précise et avec une performance constante. Ensuite plusieurs caméras permettent une vision 3D stéréoscopique qui permet de pouvoir apprécier les distances et les profondeurs. Enfin ce système est dit « passif » et ne pose donc pas d'interférences avec les transmissions des autres véhicules.

Les caméras présentent cependant des inconvénients. Le premier est la perception des distances, en effet une vision stéréoscopique permet une évaluation des distances mais seulement pour les objets assez proches et à condition d'avoir suffisamment de texture pour pouvoir comparer les images (par exemple, elle est mise en défaut par les surfaces uniformes, comme une chaussée bien propre.)

Ensuite le fonctionnement est altéré par les conditions météo (pluie, brouillard, lumière...) et des obstacles peuvent obstruer le champ de vision des caméras et limiter leur utilité. De plus, une vision 360° pourrait être envisagée mais le volume de traitement numérique serait trop conséquent. <sup>[17],[18]</sup>

## 4.3. L'odomètre

### 4.3.1. Définition

L'odomètre, plus couramment connu sous le nom de « compteur kilométrique » est un instrument de mesure permettant de calculer la distance parcourue. Il est utilisé par toutes les voitures, notamment les voitures autonomes. Dans le cas des véhicules autonomes, il est utilisé avec le LIDAR afin de permettre la localisation précise du véhicule. Il permet aussi la régulation de la vitesse par le véhicule. Les premiers odomètres sont apparus dans la Grèce antique et permettaient aux arpenteurs et géomètres de mesurer les distances parcourues. Les premiers odomètres prenaient la forme de remorques ou de chariots. La distance parcourue était calculée en comptant le nombre de tours parcourus par la roue.

### 4.3.2. Technologie

Un odomètre est un capteur proprioceptif, c'est-à-dire un capteur qui fournit des informations sur l'état de la voiture. Il peut être mécanique ou numérique, le fonctionnement général restant le même. Les odomètres enregistrent la rotation des roues de la voiture. La distance parcourue est calculée en multipliant la rotation des roues par leur circonférence. La formule suivante permet de réaliser le calcul :

$$\text{Distance parcourue} = (\text{mesure finale} - \text{mesure initiale}) \times (\text{diamètre de la roue} - \text{diamètre standard})$$



Figure 5 : Exemple d'odomètre

L'odomètre mécanique est principalement utilisé par les voitures assez anciennes. L'affichage de la distance et de la vitesse se fait de manière analogique. La rotation des roues est transmise par un câble de la boîte de transmission à l'odomètre.

Les voitures plus récentes utilisent, elles, un odomètre électronique ou numérique. Le principe reste le même que pour l'odomètre mécanique. Un capteur magnétique va compter les rotations des roues et va créer un signal électrique, envoyé à l'unité de contrôle moteur. Cette dernière va alors compter les « pulsations » transmises et calculer ainsi la distance parcourue. L'unité de contrôle moteur va enfin transmettre les données au tableau de bord.

### 4.3.3. Avantages et limites

Le principal avantage de l'odomètre est qu'il permet de connaître la localisation précise de la voiture. L'inconvénient du compteur mécanique est qu'il est très facile de le modifier manuellement pour afficher moins de kilomètres. Cette technique de fraude est souvent utilisée sur le marché de la voiture d'occasion pour faire croire qu'une voiture est moins usée. Cela limite donc son utilisation pour les voitures plus neuves. Dans le cas de l'odomètre numérique, il est quasiment impossible de trafiquer la distance parcourue.<sup>[23],[24],[25]</sup>

## 4.4. La caméra infrarouge thermique

### 4.4.1. Définition

Les capteurs infrarouges sont des capteurs réagissant au rayonnement infrarouge qui est fonction de la température des corps.

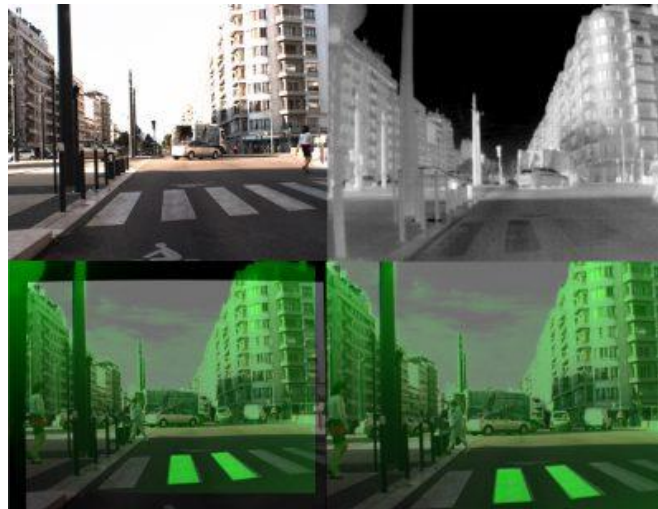


Figure 6 : Comparaison et superposition  
image visible / image thermique

### 4.4.2. Technologie

Les capteurs infrarouges des voitures autonomes sont constitués de micro-bolomètres : résistances réagissant au changement de température. Un objet chaud émet des radiations dans le domaine de l'infrarouge que ces micro-bolomètres peuvent détecter et quantifier. Ils les traduisent en signaux électriques qui seront transformés en images.

### 4.4.3. Avantages et limites

Très utile dans la fusion des capteurs pour ses capacités en mauvaise visibilité (nuit, brouillard...) cette caméra permet toujours d'avoir une portée assez longue. L'infrarouge permet de repérer les humains de nuit mais également toutes sortes d'obstacles. Les contrastes dans ces images permettent de détecter les corps chauds indépendamment de la luminosité du milieu alors que les caméras classiques perdent rapidement en précision dès que la luminosité s'affaiblit.

L'imagerie infrarouge offre un avantage par son invariance aux conditions lumineuses comme la couleur ou la direction de la source lumineuse. C'est le seul capteur embarqué capable de détecter les corps chauds.

La caméra infrarouge peut être définie comme un capteur passif. A l'inverse des autres capteurs, celui-ci n'émet pas d'onde, donc au passage d'un autre véhicule, aucune interférence ne peut venir dégrader l'image. De plus, la lumière infrarouge est très peu réfléchié/ diffractée par les particules dans l'air. Le signal perçu est donc très fiable.

Ce capteur montre cependant quelques limites. En présence de températures élevées, sur l'image infrarouge, le contraste entre un corps humain et une voiture par exemple diminue beaucoup. De plus, les capteurs infrarouges ne sont pas performants pour la détection de la voie de circulation et des lignes au sol. [\[26\],\[27\],\[28\]](#)

## 4.5. RADAR

### 4.5.1. Définition

Un radar signifiant RAdio Detection And Ranging est un dispositif qui permet de déterminer la distance d'un obstacle proche de la voiture à l'aide d'onde électromagnétique. Ses applications sont diverses puisqu'il est également utilisé pour mesurer des vitesses ou encore pour calculer l'angle des obstacles environnants la voiture pour aider au stationnement (radar de recul).

### 4.5.2. Technologie

La technologie RADAR fonctionne à l'aide d'ondes électromagnétiques. Le fonctionnement est assez simple. La partie émettrice du radar émet une onde électromagnétique se déplaçant à la vitesse de la lumière dans une direction. Lorsque l'onde rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfractée, l'autre est réfléchi vers le radar. Le dispositif détecte le retour et on conclut la présence d'un obstacle, c'est la fonction détection du radar.

Comme la vitesse et la fréquence de l'onde émise par le radar sont connues, le dispositif est capable de calculer la distance le séparant de l'obstacle en utilisant le principe de l'effet Doppler. C'est la fonction Ranging du Radar.

L'effet Doppler est le phénomène qui caractérise le décalage de fréquence observé entre l'onde émise et l'onde réceptionnée lorsque la distance entre l'émetteur (ici le radar) et le récepteur (l'obstacle) varie au cours du temps.

### 4.5.3. Avantages et limites

Le principal avantage du radar est qu'il repose sur une onde électromagnétique et les principes de réflexions d'optiques. De ce fait, il est beaucoup moins sensible à la température que certains capteurs comme les capteurs ultrasons. Son fonctionnement est donc assuré même en cas de mauvaises conditions météorologiques (pluie, neige, brouillard) ce qui est indispensable pour une voiture.

Une des limites du radar peut venir de son fonctionnement, les ondes électromagnétiques générées sont réfléchies par tout changement significatif des constantes diélectriques du milieu traversé. La mesure de matériaux à faible constante diélectrique n'est pas impossible, mais reste cependant très difficile, le radar a donc tendance à passer à travers. Une autre limite du radar vient de sa fonction, le radar sert à détecter des objets mais n'a pas la résolution nécessaire à l'identification de ceux-ci.<sup>[18],[19],[20],[21]</sup>

## 4.6. Télémètre acoustique

### 4.6.1. Définition

Le télémètre acoustique ou « sonar », est un capteur permettant de mesurer les distances en émettant des ondes sonores. Son principe de fonctionnement est identique à celui d'un Lidar ou d'un radar. Le sonar va émettre des ondes ultrasons et va calculer le délai entre l'émission de l'onde et sa réception. Il va ainsi pouvoir estimer la distance séparant la voiture des différents obstacles. Il s'agit d'un capteur dit extéroceptif c'est-à-dire qu'il permet de détecter et de caractériser en temps réel l'environnement dans lequel circule la voiture.

### 4.6.2. Technologie

Le télémètre à ultrasons est composé de deux parties : l'émetteur et le récepteur. L'émetteur va envoyer une onde ultrasonore, inaudible par les humains, qui va être réfléchiée par les obstacles et renvoyée vers le récepteur.

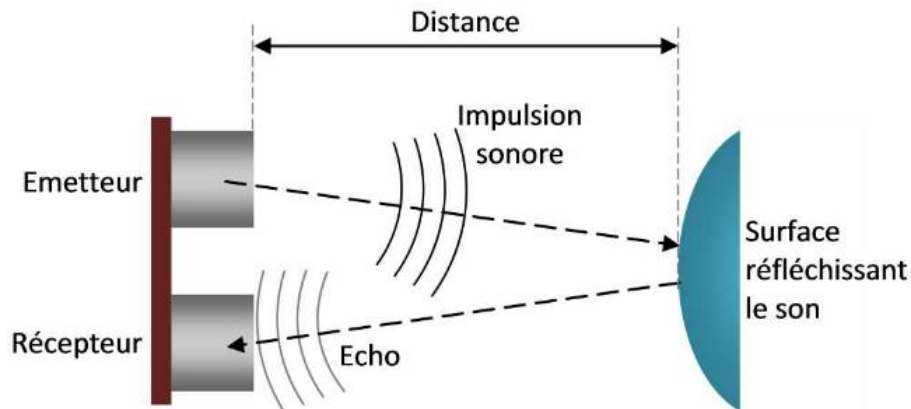


Figure 7 : Schéma du principe de fonctionnement du télémètre

Ce dernier va convertir les ondes reçues en signaux électriques ce qui permettra d'afficher une image sur l'écran. Le sonar va analyser deux facteurs : la puissance des ondes, qui va indiquer la dureté et la distance des obstacles. Les ondes vont se propager avec une vitesse de 1500 mètres par seconde, être réfléchies par les obstacles et renvoyées vers le capteur. Le sonar envoie des impulsions en continu afin d'obtenir une image complète des obstacles qui entourent la voiture, effectuant ainsi plusieurs mesures.

Les capteurs peuvent détecter des objets se situant dans un cône de détection large d'environ 30 m. La fréquence du signal envoyé peut être modulée. Plus on descend en fréquence, plus les ondes vont pénétrer dans les objets et inversement. L'angle de détection est d'autant plus large que les fréquences sont basses mais l'image obtenue est moins précise. En effet, le sonar ne peut pas calculer l'angle auquel se trouve l'obstacle mais uniquement sa distance de la voiture.

### 4.6.3. Avantages et limites

L'avantage de ce type de capteur est qu'ils peuvent détecter quasiment tous les objets, indépendamment de leur taille ou leur couleur. Les ondes sonores peuvent se déplacer à travers plusieurs milieux comme de l'air chargé en poussière, le brouillard etc.

Néanmoins leur principal inconvénient est leur faible portée (2m). Ils ne sont donc utilisés que pour l'aide au stationnement. Les télémètres acoustiques sont des capteurs très abordables financièrement, ils sont donc utilisés par beaucoup de voitures. [\[29\],\[30\],\[31\],\[32\]](#)

#### 4.7. Fusion multicapteurs

Tous les capteurs montrent des limites et sont donc inutilisables dans certaines conditions : masquage, portée réduite, imprécisions. Chaque capteur peut aussi montrer une défaillance à tout moment. En combinant les données fournies par les différents capteurs, on arrive à pallier ces insuffisances et surtout augmenter notablement la précision des détections.

Dans une voiture autonome connectée, la fusion multicapteurs est donc indispensable. Par exemple, pour la détection et le suivi d'obstacle, on fusionne les données d'un capteur laser et d'une caméra du visible. Pour la localisation globale on fusionne les données GNSS (satellite) et d'odométrie..

La fusion des données est aujourd'hui un grand défi scientifique et technique. Différentes techniques de fusion sont nécessaires, tant pour les constructeurs que pour les organismes d'évaluation des véhicules. Par exemple, les exigences d'Euro NCAP (organisme international d'évaluation) poussent les constructeurs à développer leur système de fusion multicapteurs pour qualifier leurs systèmes d'aide à la conduite (ADAS).

Les premières caméras intégrées aux voitures permettaient simplement un retour vidéo vers l'arrière. Désormais celles-ci sont associées aux capteurs ultra-son pour une meilleure assistance au stationnement et de plus en plus pour un stationnement autonome.

La fusion multicapteurs est donc réellement la clé de voûte du fonctionnement des voitures autonomes. [\[33\]](#), [\[34\]](#), [\[35\]](#)



## 5. PERSPECTIVES

### 5.1. Communication V2X

Comme vu précédemment, afin de percevoir son environnement, la voiture autonome dispose d'un large éventail de capteurs permettant de reproduire la perception humaine. Cependant pour comprendre son environnement, la voiture autonome peut compter sur une autre méthode : le V2X, à savoir « Vehicule to Everything » c'est-à-dire la communication de la voiture avec n'importe quelle entité l'entourant.

#### 5.1.1. Définition

La technologie V2X correspond à une technologie permettant aux véhicules de communiquer avec toutes les entités faisant partie du trafic autour d'eux, c'est-à-dire les autres véhicules, les piétons, la signalisation etc., e, utilisant des signaux sans fil comme le Wi-Fi ou le réseau téléphone mobile. Une telle technologie permet à tous les acteurs du trafic d'échanger des messages entre eux, on parlera alors de perception collaborative ou de perception coopérative.

On peut décomposer le V2X en différentes sous-catégories : la V2I la V2V, la V2P, la V2D et la V2N.

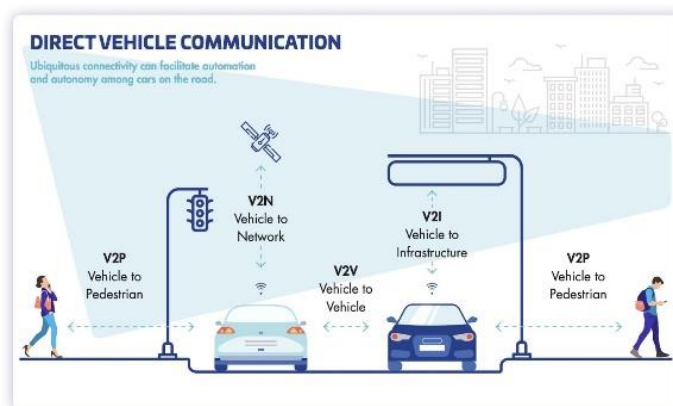


Figure 8 : Schéma de fonctionnement de la V2X

Le but de la V2X est à terme de réussir à assurer la sécurité des usagers et notamment des plus vulnérables en améliorant la prise d'information, à savoir les piétons et les deux roues, mais aussi de réduire les embouteillages et d'économiser ainsi de l'énergie.

Il est néanmoins important de préciser que ce dispositif est encore à l'état de test et n'est pas encore déployé à l'échelle mondiale.

#### 5.1.2. Technologies

Deux technologies principales sont en lice pour porter la V2X lors de son déploiement. Premièrement, il y a la V2X basée sur le Wi-Fi, aussi connue sous le nom de DSRC (communication dédiée à courte portée). Cette technologie permet de prendre en charge les applications des systèmes de transports intelligents (ITS) et permet surtout l'échange de données à grande vitesse entre les véhicules et les infrastructures routières. Elle est également utilisée comme base à la technologie connue sous le nom d'ETSI ITS-G5 en Europe. Cette dernière prend en charge le protocole de géolocalisation pour la V2V et V2I. La deuxième technologie est la C-V2X aussi appelé V2X Cellulaire et correspond à la V2X basée sur le réseau de téléphonie mobile. [\[35\]](#)[\[36\]](#)

### 5.1.3. *Avantages et limites*

Comme expliqué plus tôt, la technologie V2X est encore en état de test et n'est donc pas encore implémentée sur le trafic. Néanmoins les avantages que propose cette technologie sont non négligeables.

En effet les dispositifs de V2X pourraient permettre dans le futur d'assurer une plus grande fluidité du trafic par la communication entre les véhicules. La sécurité des usagers est aussi un domaine qui pourrait être amélioré par l'implémentation de la V2X. En effet, la communication entre les véhicules et leur environnement permettrait une meilleure prise d'information et assurerait à la voiture un point de vue omniscient lui permettant d'avoir conscience des risques l'entourant. Cette communication généralisée entre les différents acteurs de la route permettrait notamment une meilleure capacité d'anticipation ce qui contribuerait à une augmentation de la sécurité sur les routes et notamment pour les usagers les plus fragiles.

Néanmoins plusieurs obstacles se dressent devant la mise en place de cette technologie sur les routes.

Un premier obstacle à prendre en compte est l'intégration du système au sein même des véhicules. En effet, pour être mise en place, la V2X a besoin de récupérer un flux de données considérable transmis par son environnement et de les intégrer au système de pilotage. Elle a également besoin de transmettre des données aux autres usagers. Or les véhicules autonomes actuels sont déjà bardés de capteurs (comme vu précédemment) et l'ajout d'un nouveau dispositif demanderait de traiter un plus grand nombre de données ainsi que de mettre en place de nouveaux systèmes de communication.

Un second obstacle au déploiement de la technologie V2X est la difficulté de mise en place d'une standardisation pour l'industrie automobile. En effet la V2X mettant en relation un grand nombre d'acteurs (véhicules, piétons, infrastructures), il est très difficile de mettre en place des standards permettant à tous de se connecter de manière systématique. Le grand avantage de cette technologie étant de connecter tous les usagers ensemble afin d'assurer un partage de l'information constant, elle deviendrait faillible voir inefficace si certains acteurs ne sont pas connectés à ce réseau.

## 5.2. **Deep learning**

L'autonomie de la voiture se traduit par sa capacité à prendre des décisions. Grâce aux données reçues par les capteurs, elle doit être capable de les analyser et les interpréter c'est-à-dire comprendre la situation qui se présente. La capacité du véhicule à planifier des itinéraires, des trajectoires ou des manœuvres traduit également son autonomie décisionnelle. La voiture peut prendre en compte le modèle du trafic et la consommation du véhicule afin de réduire l'estimation du temps de trajet et ainsi réaliser l'itinéraire le plus pertinent possible. Lors de la réalisation de manœuvre, la voiture doit être capable d'évaluer les risques avant de prendre une décision. Elle doit notamment pouvoir décider s'il est possible de réaliser un dépassement en toute sécurité. Toutes ces prises de décisions reposent sur la technologie du « deep learning » qui consiste à donner à la voiture une grande quantité de situations connues. La voiture saura alors comment réagir face à ces situations lorsqu'elle les rencontrera.

La limite de cette technologie réside dans le fait que le « deep learning » n'est pas une science exacte puisque si le véhicule fait face à une situation inconnue, il ne sera pas en mesure de réagir correctement.

## 6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

### 6.1. Conclusion sur le travail réalisé

Ce projet nous a permis de découvrir plus en détails les différentes technologies de perception embarquée, et nous a notamment permis de nous pencher sur le cas de la voiture autonome. Cette dernière a connu ces dernières années un bond dans son développement qui lui a permis de se doter d'une multitude de capteurs ayant chacun leurs avantages mais aussi leurs limites. C'est finalement la combinaison de ces capteurs qui permet une compréhension plus complète de l'environnement du véhicule, les faiblesses de certains capteurs étant compensées par la force des autres.

Afin d'atteindre un niveau d'autonomie optimal, la perspective la plus intéressante serait la communication constante entre les différents acteurs de la route. On peut donc conclure en disant que ce projet nous a permis de nous familiariser avec les problématiques techniques entourant les véhicules autonomes et nous invite aussi à nous interroger sur des problématiques éthiques soulevées par son développement.

### 6.2. Conclusions sur l'apport personnel

Benjamin : Grâce au sujet j'ai pu mieux appréhender l'importance du développement des technologies de perception embarquée qui permettront à l'avenir de sauver des vies sur la route, et de manière plus générale d'améliorer nos conditions de transport en régulant le trafic. De plus, le projet m'a également permis de découvrir le travail de groupe sous un nouvel angle. En effet, au commencement du projet nous ne nous connaissions pas tous au sein de l'équipe et nous avons donc dû composer avec cela. Nous avons également dû apprendre à nous organiser à distance à cause de la situation sanitaire.

Lucie : Ce projet physique, que j'ai choisi par curiosité, m'a permis de découvrir le domaine des voitures autonomes qui ne m'était pas familier. J'ai alors compris l'importance du développement de ces véhicules tout en découvrant les multiples capteurs qui les composent. J'ai également renforcé des qualités essentielles à un ingénieur tel que l'esprit d'équipe puisqu'il a fallu se faire confiance et avancer au rythme général. Le contexte actuel ne nous a pas offert la possibilité de nous voir régulièrement mais nous avons réalisé beaucoup d'appels via des plateformes afin d'échanger et de prendre des décisions tous ensemble.

Corentin : Je voulais comprendre comment l'utilisation de l'intelligence artificielle peut contribuer à la réussite d'un défi technologique d'actualité que sont les voitures autonomes. Ce projet m'a permis de découvrir tous les systèmes de perceptions intégrés dans le véhicule permettant cette prouesse. Le travail en équipe m'a permis de développer des compétences telles que l'organisation ou encore la rigueur indispensable à l'avancement du projet.

Myrto : Ce projet m'a permis d'acquérir de nouvelles compétences de travail en groupe, notamment en vue du contexte sanitaire actuel. En effet, nous avons été amenés à découvrir de nouvelles méthodes de communication et de travail en groupe afin de nous adapter au mieux aux contraintes sanitaires.

Loïck : Ce projet m'a fait me pencher sur les aspects plus techniques de la voiture autonome, sujet qui m'intéressait déjà beaucoup. Il m'a aussi entraîné dans la gestion de projet en groupe, sachant que nous nous sommes très bien coordonnés. Le projet perception embarquée m'a aussi conforté dans mon orientation en département ITI.

Hugo : Ce projet m'a permis d'approfondir mes connaissances sur un sujet que je connaissais très peu mais qui avait réussi à attirer mon attention. De plus le travail collectif a été une expérience très enrichissante, en effet on ne se connaissait pas tous et il a fallu s'adapter à cause de la crise sanitaire, ce qui change grandement de l'organisation habituelle.

### **6.3. Perspectives pour la poursuite du projet**

Comme notre projet est un projet bibliographique, nous n'avons pas eu l'occasion de mettre en pratique les connaissances que nous avons acquises. Ainsi, pour approfondir davantage ce projet, nous aurions pu visiter un laboratoire de recherche sur les voitures autonomes.

Par ailleurs, si les restrictions liées au covid l'avait permis, nous aurions pu visiter ou encore monter dans une des voitures autonomes en circulation sur le site du Madrillet.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] "Sciences numériques et technologique", Edition Nathan, 2019
- [2] "Voiture Autonome : Les 6 Niveaux." *Les Voitures Électriques*, 27 Nov. 2020, [www.les-voitures-electriques.com/guide/les-6-niveaux-de-voiture-autonome/](http://www.les-voitures-electriques.com/guide/les-6-niveaux-de-voiture-autonome/). Consulté le 14 mars 2021
- [3] "Qu'est-Ce Qu'une Voiture Autonome ?" *Total Wash*, 13 Feb. 2020, [www.totalwash.fr/quest-ce-quune-voiture-autonome/](http://www.totalwash.fr/quest-ce-quune-voiture-autonome/).
- [4] "Quels Sont Les Différents Niveaux D'autonomie Des Véhicules ?" *Usine*, Sylvain Arnulf |, 5 Oct. 2017, [www.usine-digitale.fr/article/reperes-quels-sont-les-differents-niveaux-d-autonomie-des-vehicules.N596558](http://www.usine-digitale.fr/article/reperes-quels-sont-les-differents-niveaux-d-autonomie-des-vehicules.N596558).
- [5] "Véhicule Autonome." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 3 June 2021, [www.fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9hicule\\_autonome#Historique](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9hicule_autonome#Historique).
- [6] "L'histoire Du Véhicule Autonome : Ses Débuts." *Demain La Science*, 15 Dec. 2019, [www.science.tbs-education.fr/2019/12/15/histoire-du-vehicule-autonome-ses-debuts/](http://www.science.tbs-education.fr/2019/12/15/histoire-du-vehicule-autonome-ses-debuts/).
- [7] "Le Véhicule Autonome : Utopie, Opportunité Ou Inévitable Évolution?: SprintProject." *Sprint*, 7 Jan. 2021, [www.sprint-project.com/avis-dexpert/2020/04/le-vehicule-autonome-utopie-opportunite-ou-inevitable-evolution/](http://www.sprint-project.com/avis-dexpert/2020/04/le-vehicule-autonome-utopie-opportunite-ou-inevitable-evolution/).
- [8] "Les Français Sont-Ils Prêts à Accepter Le Véhicule Autonome ?" *AFT*, 27 Nov. 2020, [www.aft-dev.com/actualites/francais-sont-ils-prets-accepter-vehicule-autonome](http://www.aft-dev.com/actualites/francais-sont-ils-prets-accepter-vehicule-autonome).
- [9] "Lidar." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar#Histoire\\_et\\_d%C3%A9nomination%20www.kicklox.com/lidar/](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar#Histoire_et_d%C3%A9nomination%20www.kicklox.com/lidar/).
- [10] "Les Principaux Capteurs D'une Voiture Autonome." *TPE Voiture Autonome*, 2012, [www.tpe-voiture-autonome.kazeo.com/les-principaux-capteurs-dune-voiture-autonome-a123093210](http://www.tpe-voiture-autonome.kazeo.com/les-principaux-capteurs-dune-voiture-autonome-a123093210).
- [11] *Lidar*, 2012, [www.hmf.enseiht.fr/travaux/beiepe/book/export/html/66](http://www.hmf.enseiht.fr/travaux/beiepe/book/export/html/66).
- [12] Boero, Alexandre. "LiDAR : Définition, Coût, Cas Pratiques Et Avantages D'une Technologie Aux Propriétés Multiples." *Clubic.com*, Clubic, 19 Feb. 2021, [www.clubic.com/aeronautique/dossier-350757-lidar-definition-cout-cas-pratiques-et-avantages-d-une-technologie-aux-proprietes-multiples.html](http://www.clubic.com/aeronautique/dossier-350757-lidar-definition-cout-cas-pratiques-et-avantages-d-une-technologie-aux-proprietes-multiples.html).
- [13] "I-Qu'est Ce Qu'une Voiture Autonome ? Comment Fonctionne T'elle ? Quels Sont Les Avantages , Les Inconvénients ?" *TPE*, [www.tpelavoitureautonomelavoiturededemain.e-monsite.com/pages/coordonnees.html](http://www.tpelavoitureautonomelavoiturededemain.e-monsite.com/pages/coordonnees.html).
- [14] À propos de l'auteur : Dorian Hermosa Digital Marketing Consultant : Traffic Acquisition, and Digital Marketing Consultant : Traffic Acquisition. "Voitures Autonomes : Comment Fonctionnent-Elles ?" *MBA MCI*, 19 Feb. 2018, [www.mbamci.com/voitures-autonomes-fonctionnement/](http://www.mbamci.com/voitures-autonomes-fonctionnement/).
- [15] Cea. "La Voiture Autonome." *CEA/Découvrir & Comprendre*, CEA, 22 Nov. 2017, [www.cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-voiture-autonome.aspx](http://www.cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-voiture-autonome.aspx).
- [16] "Des Capteurs Multiples, Divers Et Complémentaires." *Data Analytics Post*, 27 Feb. 2020, [dataanalyticspost.com/sur-les-voitures-autonomes-des-capteurs-multiples-divers-et-complementaires/](http://dataanalyticspost.com/sur-les-voitures-autonomes-des-capteurs-multiples-divers-et-complementaires/).
- [17] "Voiture Autonome : Un Déluge De Données à Interpréter." *Data Analytics Post*, 27 Feb. 2020, [www.dataanalyticspost.com/voiture-autonome-un-deluge-de-donnees-a-interpreter/](http://www.dataanalyticspost.com/voiture-autonome-un-deluge-de-donnees-a-interpreter/).
- [18] Radar Laf. "Le Radar : Principe Et Fonctionnement." *Futura*, [www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/aeronautique-furtivite-169/page/3/](http://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/aeronautique-furtivite-169/page/3/).

- [19] Marshall, Bill. *Caméras Numériques, Radars à Micro-Ondes Et Radars Légers (Lidar) : Les Yeux Des Véhicules Autonomes*, 21 Feb. 2018, [www.rs-online.com/designspark/lidar-radar-digital-cameras-the-eyes-of-autonomous-vehicles-fr](http://www.rs-online.com/designspark/lidar-radar-digital-cameras-the-eyes-of-autonomous-vehicles-fr).
- [20] "Radar." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 1 May 2021, [www.fr.wikipedia.org/wiki/Radar](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Radar).
- [21] "L'effet Doppler." *MAXICOURS*, Maxicours, [www.maxicours.com/se/cours/l-effet-doppler/](http://www.maxicours.com/se/cours/l-effet-doppler/).
- [22] "Comment Un Odomètre Fonctionne-t-il?" *Le Guide De L'auto*, [www.guideautoweb.com/articles/49734/comment-un-odometre-fonctionne-t-il/](http://www.guideautoweb.com/articles/49734/comment-un-odometre-fonctionne-t-il/).
- [23] "Odomètre." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 19 May 2021, [www.fr.wikipedia.org/wiki/Odom%C3%A8tre](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Odom%C3%A8tre).
- [24] Nice, Karim. "How Odometers Work." *HowStuffWorks*, HowStuffWorks, 17 Jan. 2001, [www.auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/odometer.htm](http://www.auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/odometer.htm).
- [25] "HOW DOES THE ODOMETER WORK?" *Torque*, 4 Dec. 2019, [www.torque.com.sg/features/how-does-the-odometer-work/](http://www.torque.com.sg/features/how-does-the-odometer-work/).
- [26] Poissard, Mathieu. "Le Deep Learning Et L'infrarouge Au Service De La Voiture Autonome." *Neovision*, 16 June 2020, [www.neovision.fr/le-deep-learning-et-linfrarouge-au-service-de-la-voiture-autonome/](http://www.neovision.fr/le-deep-learning-et-linfrarouge-au-service-de-la-voiture-autonome/).
- [27] "Caméras Thermiques Pour Des Voitures plus Intelligentes Et Des Routes plus Sûres." *Systèmes Avancés D'aide à La Conduite / Teledyne FLIR*, [www.flir.fr/oem/adas/](http://www.flir.fr/oem/adas/).
- [28] Science-et-vie.com. "Voir Comme En Plein Jour." *Science*, 19 Nov. 2018, [www.science-et-vie.com/archives/voir-comme-en-plein-jour-30189](http://www.science-et-vie.com/archives/voir-comme-en-plein-jour-30189).
- [29] "Mic+ Capteurs à Ultrasons." *Cylindrique / Mic+ / Microsonic - Capteur à Ultrason*, [www.microsonic.de/fr/capteurs-de-distance/cylindrique/micplus.htm](http://www.microsonic.de/fr/capteurs-de-distance/cylindrique/micplus.htm).
- [30] Raynal, Adeline. "Les Yeux Et Les Oreilles Des Voitures Autonomes." *BFM BUSINESS*, 10 Oct. 2016, [www.bfmtv.com/economie/entreprises/services/les-yeux-et-les-oreilles-des-voitures-autonomes\\_AN-201610100113.html](http://www.bfmtv.com/economie/entreprises/services/les-yeux-et-les-oreilles-des-voitures-autonomes_AN-201610100113.html).
- [31] Julien. "Savez-Vous Différencier Radar, Sonar Et Lidar ?" *Blog Coyote*, 8 Jan. 2020, [www.moncoyote.com/blog/securite-routiere/radars/radar-linar-et-sonar-des-appareils-de-mesure-presque-sur-la-meme-onde/](http://www.moncoyote.com/blog/securite-routiere/radars/radar-linar-et-sonar-des-appareils-de-mesure-presque-sur-la-meme-onde/).
- [32] Deluzarche, Céline. "Sonar." *Futura*, 2018, [www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-sonar-17449/](http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-sonar-17449/).
- [33] Smaili, Cherif. "Fusion De Données Multi-Capteurs à L'aide D'un Réseau Bayésien Pour L'estimation D'état D'un Véhicule." *INRIA Nancy - Grand Est*, Université Nancy II, 4 Jan. 2011, [www.memsc.ccsd.cnrs.fr/INRIA-NANCY-GRAND-EST/tel-00551833](http://www.memsc.ccsd.cnrs.fr/INRIA-NANCY-GRAND-EST/tel-00551833).
- [34] Guerlin, Louis. "Louis Guerlin, Fusion De Données Multi-Capteurs Pour La Perception D'environnement Appliquée Aux Aides à La Conduite (ADAS) Et à La Voiture Autonome." *Theses.fr – Louis Guerlin*, 3 Dec. 2018, [www.theses.fr/s217689](http://www.theses.fr/s217689).
- [35] "Le Véhicule Du Futur Verra Aussi La Route à Travers Les Yeux De L'infrastructure Et Des Autres Véhicules." *Data Analytics Post*, 27 Feb. 2020, [www.dataanalyticspost.com/le-vehicule-du-futur-verra-aussi-la-route-a-travers-les-yeux-de-linfrastructure-et-des-autres-vehicules/](http://www.dataanalyticspost.com/le-vehicule-du-futur-verra-aussi-la-route-a-travers-les-yeux-de-linfrastructure-et-des-autres-vehicules/).
- [36] Cosmo. "V2X, Et La Voiture Communique Avec Son Environnement !" *Medium*, La Voiture Autonome, 14 Mar. 2018, [www.medium.com/la-voiture-autonome/v2x-et-la-voiture-communiqua-avec-son-environnement-19c72f8c1440](http://www.medium.com/la-voiture-autonome/v2x-et-la-voiture-communiqua-avec-son-environnement-19c72f8c1440)

