

LiDAR

Etat de l'art, application en perception de
l'environnement pour le véhicule autonome

*Marine du Chapelet, Zifeng Fang, Quentin Gautier,
Anthony Ho Wen TSai, Julie Rouzee, Bachar Salame*



Projet de Physique P6
Enseignant-responsable : *BENSRHAIR Abdelaziz*
STPI2
Année 2016-2017

Table des matières

INTRODUCTION	- 2 -
ETAT DE L'ART	- 3 -
1. POINT HISTORIQUE.....	- 3 -
2. PRINCIPE GENERAL DU LIDAR.....	- 4 -
3. L'ETONNANTE DIVERSITE DES LIDARS	- 5 -
4. LES DIFFERENTS TYPES DE LIDARS ET MODES DE FONCTIONNEMENT	- 7 -
5. INTERETS, AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU LIDAR.....	- 14 -
APPLICATION : La voiture autonome	- 15 -
1. QU'EST-CE QU'UNE VOITURE AUTONOME ?.....	- 15 -
2. HISTORIQUE DE LA VOITURE AUTONOME	- 15 -
3. PRINCIPE DE LA VOITURE AUTONOME.....	- 16 -
4. LE LIDAR ET LA VOITURE AUTONOME	- 18 -
5. COMMENT MINIMISER LE COUT D'UN CAPTEUR LIDAR ?	- 20 -
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	- 21 -
1. CONCLUSION SUR LE TRAVAIL REALISE	- 21 -
2. CONCLUSION SUR L'APPORT PERSONNEL DE CET E.C.....	- 21 -
3. PERSPECTIVES POUR LA POURSUITE DE PROJET	- 21 -
BIBLIOGRAPHIE	- 22 -
TABLE DES ILLUSTRATIONS	- 23 -

INTRODUCTION

Dans le cadre de notre deuxième année à l'INSA de Rouen au sein du département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur, nous devons réaliser un projet de Physique. Ce projet prend la forme d'un travail de recherche bibliographique qui aboutit sur un dossier écrit et une soutenance présentant les différents résultats de nos recherches. L'objectif de ce projet est de concilier plusieurs compétences et savoir-faire de l'ingénieur : la planification d'un projet, la répartition des tâches, le travail en équipe.

Nous avons choisi d'approfondir nos connaissances sur le LiDAR. La problématique de notre sujet est la suivante : LiDAR : Etat de l'art, application en perception de l'environnement pour le véhicule autonome.

Sous la poussée des aides à la conduite, les radars prolifèrent dans nos véhicules mais une autre catégorie de capteurs sophistiqués trouve son marché automobile : les LiDARs. Originellement utilisés pour l'aérospatial ou la météorologie, les lidars seront incontournables dans les véhicules autonomes qui feront leur arrivée d'ici quelques années. Leur rôle sera de cartographier en 3D tout l'environnement du véhicule en temps réel grâce à l'émission de multiples faisceaux laser.

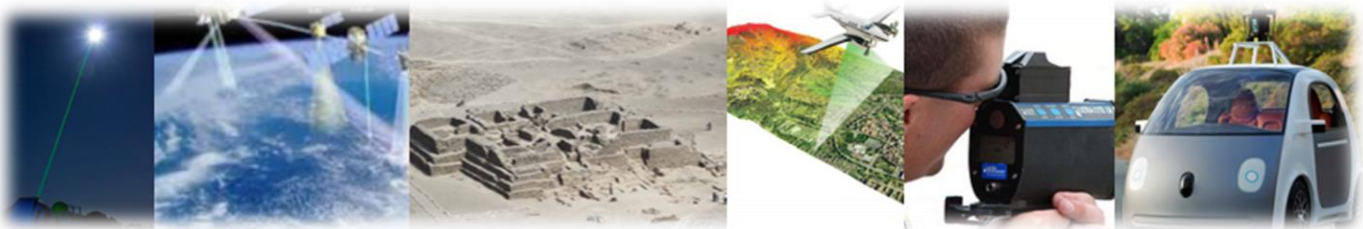
Dans ce présent rapport, la première partie est consacrée à l'exposé du principe général de ce système, des modes de fonctionnement essentiels des lidars et les différents avantages et inconvénients. La deuxième partie décrit un exemple d'application réel dans le domaine de l'automobile.

ETAT DE L'ART

1. POINT HISTORIQUE

Au travers de l'écholocalisation, la chauve-souris est la première forme de « LiDAR ». Le moyen de perception de l'environnement par la chauve-souris repose sur un principe d'émission/réception d'une onde sonore. Le LiDAR, quant à lui, fonctionne sur un principe similaire mais avec une onde lumineuse. Le développement de la technologie du LiDAR a débuté grâce à l'invention du laser en 1960 notamment le laser «Q-switched» en 1962 et le laser à Rubis en 1963. Environ 10 ans après l'invention du laser, la technologie LiDAR a commencé à se développer. En 1976, ED. Hinkley publie «Laser Monitoring of the Atmosphere», premier livre abordant la thématique du LiDAR et témoignant du développement de cette technologie.

La technologie LiDAR a permis de réaliser de nombreuses avancées dans le domaine scientifique. La première utilisation importante du LiDAR fut le calcul de la distance Terre-Lune pour le projet Luna See en 1962. Le LiDAR est ensuite principalement utilisé dans le domaine de la météorologie, ainsi en 1963 Goyer et Watson utilisent le LiDAR pour calculer la hauteur des nuages. Le LiDAR a aussi permis de cartographier la Lune en 1971 lors de la mission Appolo 15. Par la suite, son utilisation dans le domaine militaire et spatial s'est développé avec l'apparition du GPS. Aujourd'hui des calculs de distances sont toujours utilisés par la technologie LiDAR et ne cessent de se développer et de s'améliorer en particulier dans les domaines de la robotique et de l'automobile.



2. PRINCIPE GENERAL DU LIDAR

Le LiDAR, acronyme de l'expression anglaise « Light Detection And Ranging » (Détection de la lumière et mesure à distance) est une technique de Mesure Electronique de Distance (MED) permettant de mesurer la distance entre la surface d'un objet et l'appareil (émetteur/récepteur) grâce aux propriétés des faisceaux de lumière.

Le principe du LiDAR est voisin de celui du radar. Tous deux envoient une impulsion de radiation électromagnétique sur une cible ou un obstacle. L'onde est réfléchiée vers la source émettrice. En connaissant la vitesse de propagation de l'onde émise, on est ainsi capable de calculer la distance qui sépare la cible de l'émetteur.

À la différence du radar qui fonctionne dans le domaine des micro-ondes (fréquences de 1 à 100 GHz) ou du sonar qui utilise des ondes sonores, le LiDAR utilise de la lumière et plus précisément des lasers rayonnant dans le domaine infrarouge, le domaine visible ou le domaine ultraviolet (fréquences supérieures à 10 THz).

De plus, le LiDAR, puisqu'il fonctionne à partir d'un laser, travaille avec des longueurs d'ondes optiques, c'est-à-dire des longueurs d'ondes qui vont de quelques centaines de nanomètres à quelques microns.

L'onde émise est donc cohérente et polarisée.

Rappel : Deux sources sont cohérentes si elles émettent des ondes sinusoïdales de même fréquence et si le retard de l'une par rapport à l'autre ne varie pas au cours du temps. La lumière est une onde électromagnétique. Les ondes les plus simples qui décrivent la lumière sont les ondes polarisées linéairement.

Le principe de la mesure LiDAR requiert généralement l'utilisation d'un laser impulsionnel. A l'inverse d'un laser conventionnel, qui produit habituellement un rayonnement continu, le laser impulsionnel produit des flashes de lumière régulièrement espacés dans le temps et très brefs, que l'on appelle impulsions. Chaque impulsion dure de quelques femtosecondes (fs) à 100 fs.

Un LiDAR est composé principalement de 2 éléments : un émetteur laser (fonction d'émission) qui envoie un signal lumineux et un télescope (fonction de réception) comprenant un collecteur de lumière qui reçoit la lumière réfléchiée.

Le signal reçu doit être analysé, ainsi on trouve après le télescope un système électro-optique d'acquisition : un photo-détecteur qui transforme la lumière en signal électrique ainsi qu'une chaîne électronique qui traite ce signal pour obtenir l'information recherchée.

SCHEMA D'UN SYSTEME LiDAR ET DU PRINCIPE DE LA MESURE

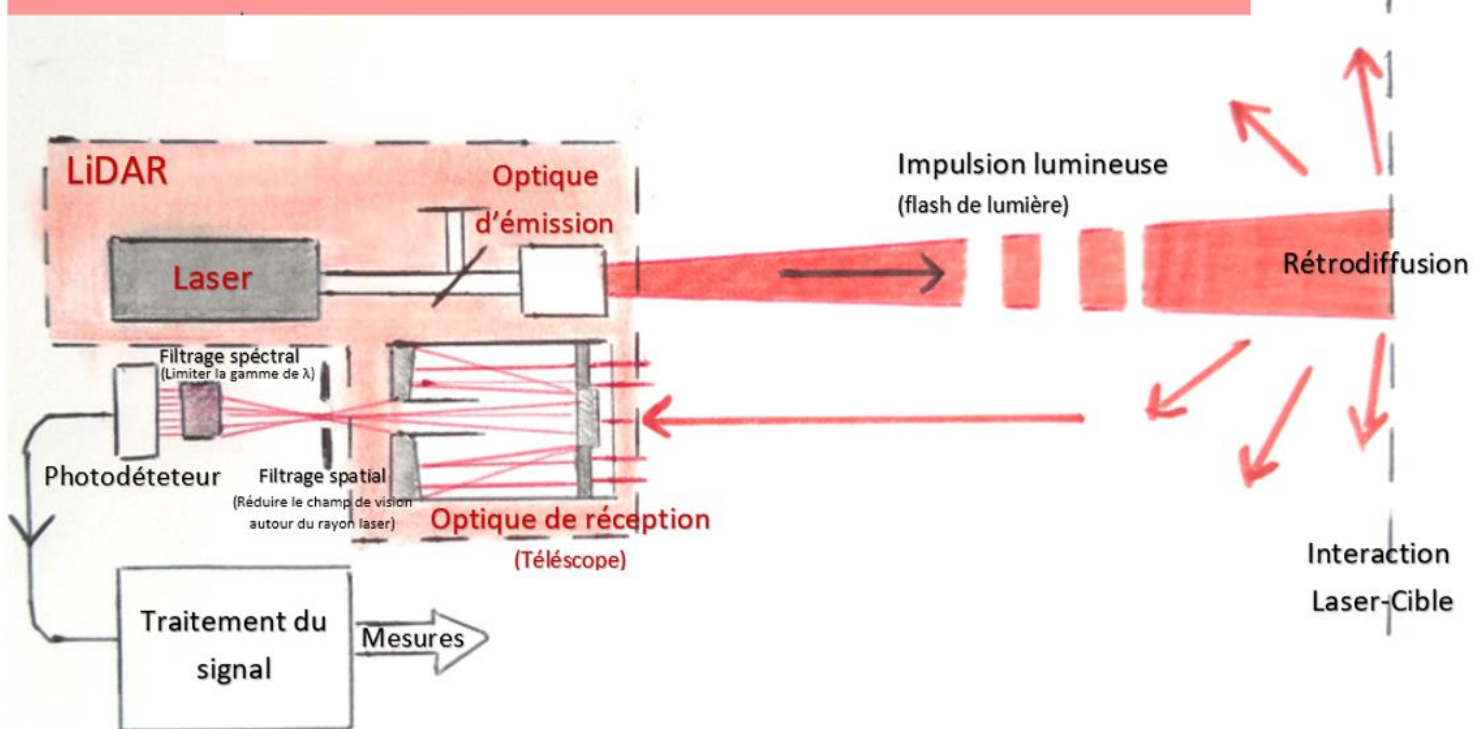


Figure 1 : Schéma d'un système LiDAR et du principe de la mesure

3. L'ETONNANTE DIVERSITE DES LIDARS

On remarque une grande diversité des LiDARs.

a) Diversité des applications :

➤ **Mesure de distance :**

La distance est donnée par la mesure du délai entre l'émission d'une impulsion et la détection d'une impulsion réfléchi, en connaissant la vitesse de la lumière.

➤ **Mesure de vitesse :**

La mesure de vitesse emploie un laser à spectre d'émission fin avec une fréquence bien déterminée. L'effet Doppler-Fizeau, (décalage de la fréquence de l'onde réfléchi et reçue) permet de déterminer la vitesse de l'objet.

➤ **Mesure de température, de concentration, de densité, ... :**

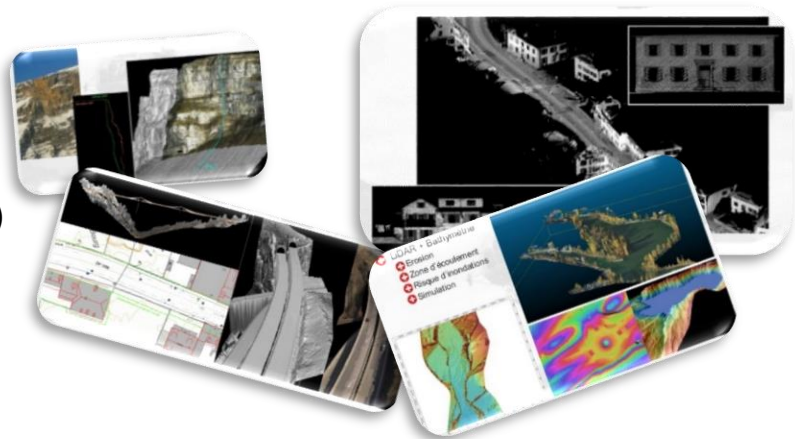
Dans l'atmosphère, beaucoup d'autres paramètres peuvent être mesurés si l'on sait isoler l'effet des différentes interactions entre la lumière et la matière le long du faisceau laser.

b) Diversité des domaines d'application :

Le LiDAR trouve ses applications en :

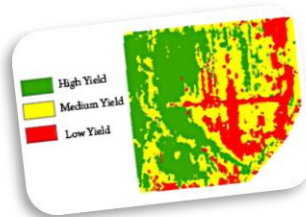
➤ **Topographie**

- Falaises, pentes raides
- Infrastructures (routes, rails, ...)
- Mobiles terrestres urbains
- Hydrologie



➤ **Géosciences :**

- Risque sismique
- Météorologie
- Physique de l'atmosphère



➤ **Sciences de l'environnement**

- Etude de la pollution atmosphérique
- Agronomie : Le LiDAR peut être utilisé pour aider les agriculteurs à déterminer les zones des parcelles sur lesquelles ils doivent répandre plus d'engrais afin d'obtenir un meilleur rendement agricole pour leurs cultures.

Le LiDAR peut créer une carte topographique des champs et ainsi révéler les pentes et l'exposition au soleil.



➤ **Infrastructure de transport**

- La régulation du trafic aérien
- Le guidage automatique de véhicules terrestres ou spatiaux
- La sécurité routière : Les LiDAR sont utilisés par les gendarmes pour contrôler la vitesse des véhicules.

➤ **Patrimoine et Archéologie :**

Le LiDAR est utilisé pour la détection de sites enfouis sous la végétation ou l'eau.

➤ **L'optimisation de parcs éoliens**

Le LiDAR peut être utilisé pour augmenter la production d'énergie d'un parc éolien en mesurant avec précision les vitesses et les turbulences du vent.

c) Diversité d'émission :

L'éloignement de la cible va de quelques dizaines de centimètres à plusieurs centaines de milliers de kilomètres (calcul de la distance Terre-Lune).

d) Diversité de taille

La taille du LiDAR va de l'occupation d'un bâtiment entier au LiDAR portable.

e) Diversité des types de lasers utilisés :

A gaz, à colorant, à solide, à semi-conducteur, accordable ou non, pulsé ou continu.

Il est donc difficile de classer les lidars par principe ou par application ; toutefois, dans la suite, on se propose de les aborder par type de cible (dure ou diffuse) et type d'interaction.

4. LES DIFFERENTS TYPES DE LIDARS ET MODES DE FONCTIONNEMENT

a) LiDAR à cible dure

➤ **Le télémètre laser**

Les LiDARs peuvent être catégorisés en fonction de leurs fonctions, ici nous étudierons le télémètre laser qui a pour fonction la mesure de distance.

Le télémètre laser fonctionne selon le principe d'un radar, une impulsion est envoyée puis réfléchi par un objet. Le signal retour est ensuite détecté puis traité de manière à avoir une distance entre le télémètre et la cible.

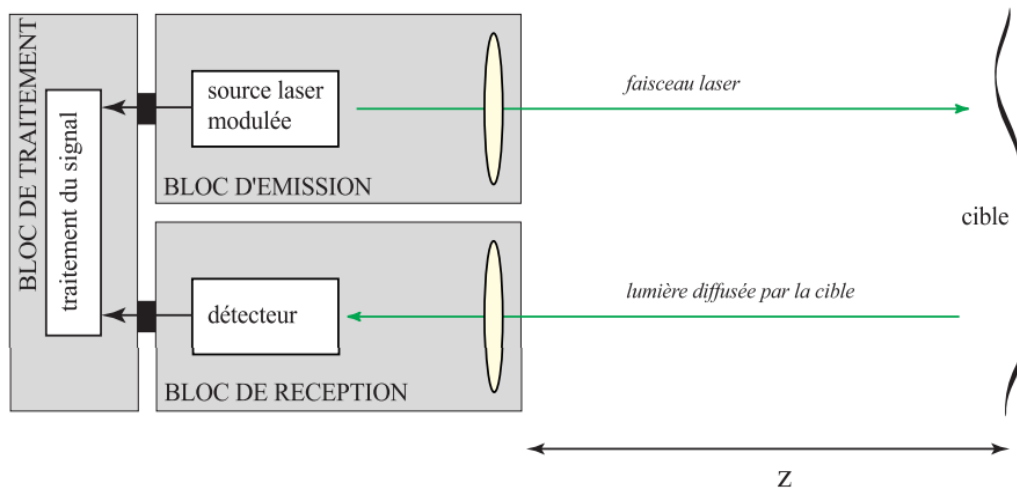


Figure 2 : Schéma de principe d'un télémètre à détection directe

Les ondes émises sont généralement dans l'ordre de quelques kHz à plusieurs THz. C'est pourquoi on parle de télémètre laser qui émet dans la partie visible ou infrarouge du spectre.

Il existe plusieurs façons de mesurer la distance grâce au même système.

Une première approche est de calculer le temps entre l'aller et le retour de l'impulsion. Cette approche est dite télémétrie temps de vol, un chronomètre est déclenché au moment où l'impulsion est envoyée, puis arrêté au moment de sa détection.

Une autre manière de calculer peut se faire par l'utilisation de la télémétrie laser à triangulation qui consiste à calculer la distance grâce à la position du rayon retour sur le capteur et l'angle de celui-ci.

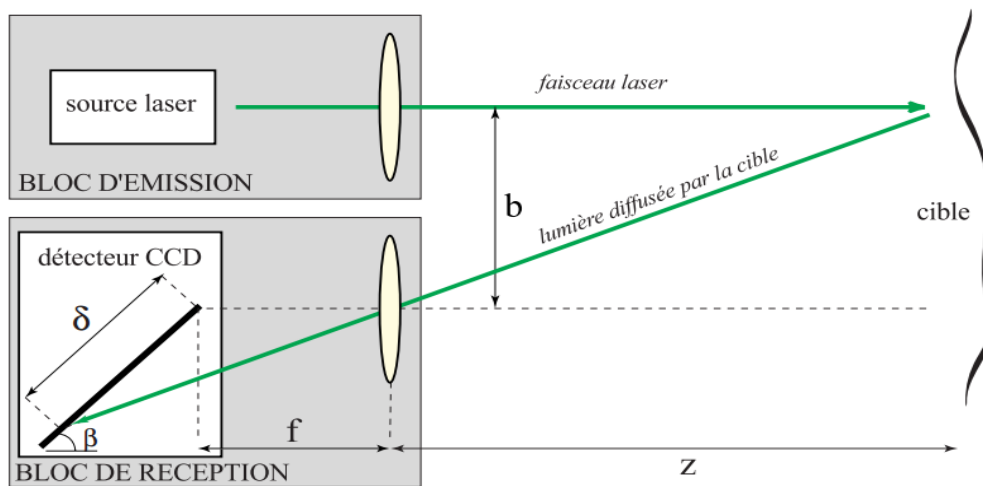


Figure 3 : Schéma Principe de la mesure de distance par triangulation

La télémétrie laser est un moyen très pratique de mesurer des distances néanmoins cette méthode présente des incertitudes liées à différents facteurs.

Tout d'abord la cible sur laquelle est projeté le rayon n'est pas toujours lisse ou verticale, ainsi en fonction de l'inclinaison ou de l'irrégularité de la cible, la distance ne sera pas calculée très précisément.

En plus de ces incertitudes, le signal envoyé par l'émetteur peut être perturbé par l'air qui doit être traversé, le signal peut perdre en précision et le télémètre donner des mesures encore une fois moins précises.

Le télémètre laser permet donc d'obtenir la distance en un point précis de l'espace. Pour pouvoir obtenir une multitude de points, le télémètre à balayage est intéressant.

Celui-ci utilise un miroir rotatif permettant l'envoi d'une sorte de nappe laser et ainsi la mesure de plusieurs points. Cet appareil permet de fournir une carte en trois dimensions, grâce aux points recueillis on peut donc détecter des obstacles ou cartographier un environnement.

➤ LiDAR à détection cohérente pour la mesure de vitesse

Un autre mode de fonctionnement des lidars est le lidar à détection cohérente ou hétérodyne.

Ce système s'applique directement à la mesure précise de vitesse d'une cible dure via l'effet Doppler : Si une onde est émise à une certaine fréquence, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie en fonction du temps, la fréquence de l'onde semble varier. Par conséquent cet effet provoque un décalage de fréquence de l'onde réfléchie par un objet proportionnellement à sa vitesse en direction de l'observateur, dite vitesse radiale.

Le traitement du signal s'effectue par l'estimation de la fréquence instantanée du signal hétérodyne, afin de remonter à la vitesse de la cible.

$$i_{het}(t) = i_0 \cos\left(2\pi\left(\Delta f_0 + 2\frac{V_r}{\lambda}\right)t + \phi\right)$$

Avec

Δf_0 le décalage fixe imposé à l'oscillateur local

V_r la vitesse radiale de la cible

λ la longueur d'onde émise

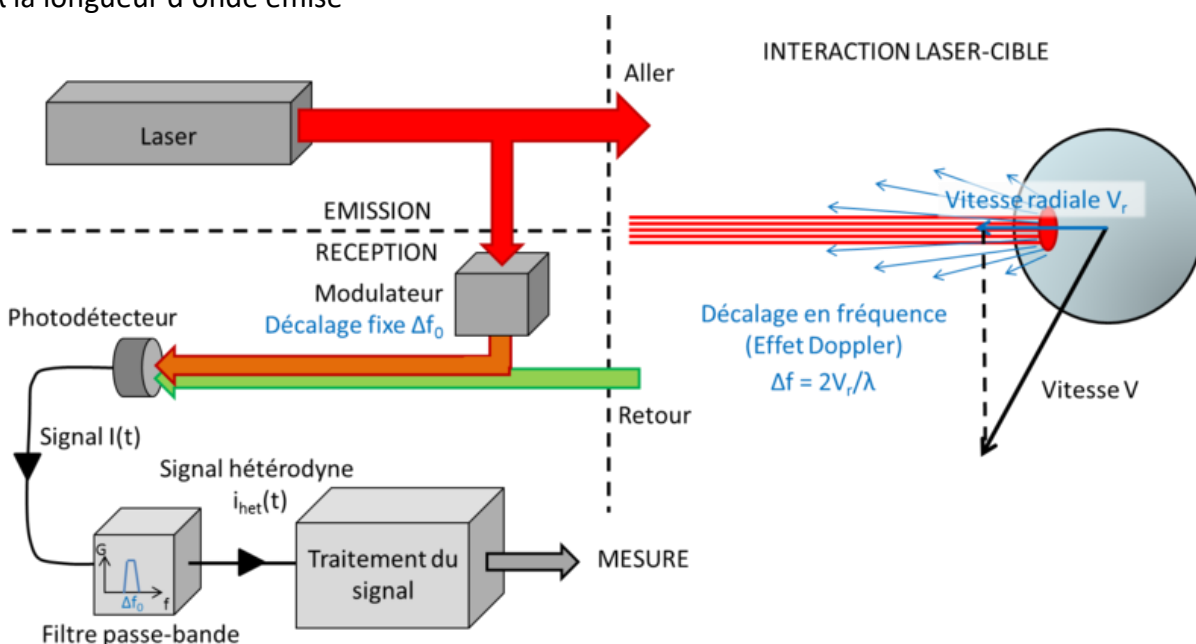


Figure 4 : Schéma général du LiDAR à détection cohérente

b) LiDAR à cible diffuse – lidar atmosphérique

➤ **LiDAR à rétrodiffusion (Rayleigh, Mie ou Raman)**

Le LiDAR rétrodiffusion est le plus ancien des lidars, créé en 1968 il est le plus simple des LiDARs. Ce LiDAR conduit à des lasers de forte puissance encombrants. La rapide évolution ces dix dernières années des technologies pourrait conduire à des architectures LiDAR d'encombrement acceptable.

Le LIDAR à rétrodiffusion mesure la puissance du rayonnement optique rétrodiffusé par les particules de l'atmosphère.

Il existe deux types de LIDAR à rétrodiffusion : le LIDAR à rétrodiffusion élastique (LIDAR Rayleigh et Mie) et le LIDAR à rétrodiffusion inélastique (LIDAR Raman).

Le LIDAR Raman utilise la diffusion Raman pour caractériser les espèces chimiques rencontrées : la mesure de la concentration d'un gaz particulier caractérisé par un décalage spectral donné entre émission et réception.

Les LiDARs Rayleigh s'appuient sur la rétrodiffusion des molécules dont la présence est assurée à toute altitude. Il est utilisé pour mesurer la densité de l'atmosphère stratosphérique et permet un calcul de profil de température.

Une version appelée : LiDAR de Mie, utilise une source laser pour mesurer à distance les propriétés de l'atmosphère. Généralement utilisé en météorologie, il sert également à déterminer la concentration et la répartition des aérosols dans l'air et notamment à proximité de voies de circulation.

Le principe de fonctionnement du LIDAR à rétrodiffusion est présenté dans le schéma ci-dessous.

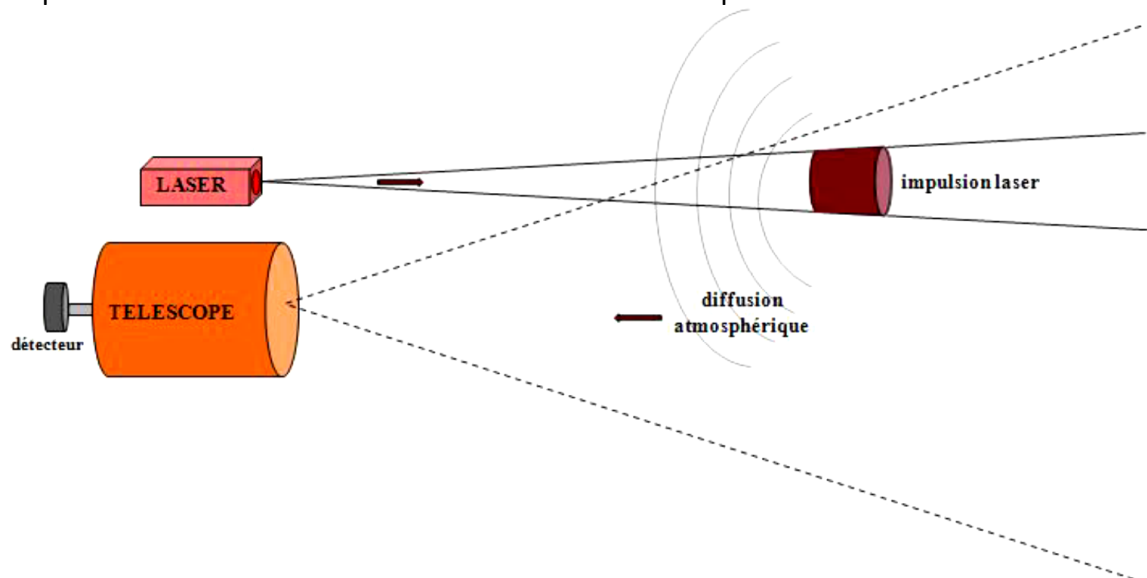


Figure 5 : Schéma général du LiDAR à rétrodiffusion

Un système d'émission envoie sous forme d'impulsions un faisceau lumineux, monochromatique, directif et cohérent en direction du milieu à étudier. Quand le faisceau de lumière rencontre des aérosols, la diffusion renvoyée en direction de l'appareil (rétrodiffusion élastique) est récupérée par le module de détection du LIDAR.

Le récepteur est constitué d'un télescope qui récupère la lumière diffusée par l'atmosphère dans sa direction pour être transformée en signal électrique après détection puis convertie en signal numérique. Puisque le télescope est placé à proximité immédiate du laser, on parle de lumière rétrodiffusée. Le faisceau laser se déplace à la vitesse de la lumière dans le milieu atmosphérique et lorsque qu'il rencontre les molécules de l'air et les aérosols il est en partie rétrodiffusé. La mesure se fait à intervalles de temps décalés par rapport à l'émission laser, ce décalage entre émission et réception permet de calculer la distance des couches diffusantes.

➤ **LiDAR à fluorescence**

Le lidar par fluorescence est une technique du lidar permettant d'analyser un objet/matériau sans contact avec celui-ci permettant ainsi de ne pas le dégrader.

La technique consiste à envoyer une onde lumineuse avec un laser à pulsation sur l'objet avec une longueur d'onde définie et d'analyser la lumière renvoyée par cet objet.

La fluorescence est une émission lumineuse créée après l'excitation des électrons d'une molécule fluorescente qui après absorption d'énergie rentre dans un état instable noté S1 elle va donc chercher naturellement à retourner dans un état stable. C'est lors de son retour à son état le plus stable E0 qu'on a une émission lumineuse liée au dégagement d'énergie. Le retour dans l'état stable peut se faire de deux manières différentes : par fluorescence ou par phosphorescence.

La fluorescence est caractérisée par l'émission d'un photon de manière très rapide. Cette rapidité s'explique par le fait que l'émission respecte une des règles de sélections de l'émission de photons de la mécanique quantique qui est $\Delta S=0$, ce qui signifie que la molécule reste dans un état singulet.

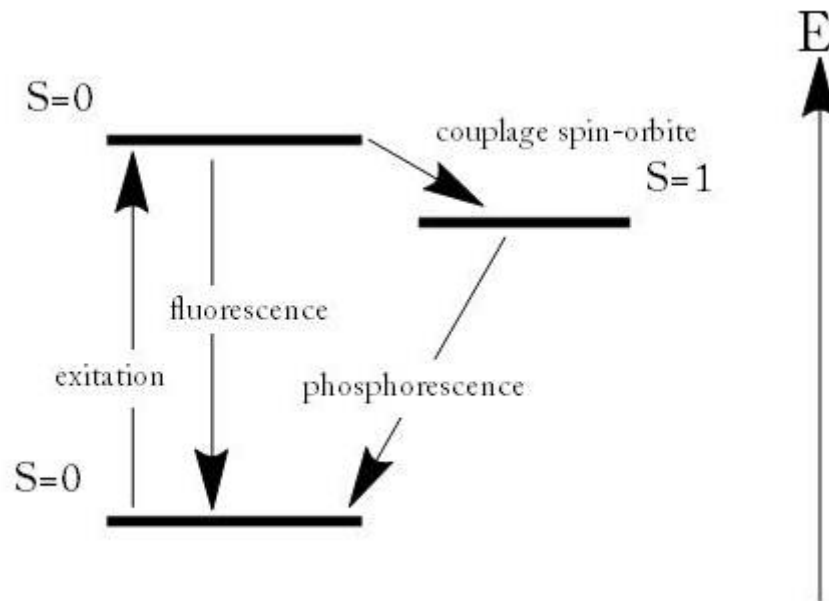


Figure 6 : Schéma fluorescence caractérisée par l'émission d'un photon

La technique a été développée sur le principe du LiDAR classique et a commencé à être utilisée pour la détection et classification de matière organique dissoute et l'étude des phytoplanctons.

C'est dans les années 80 que le Lidar à fluorescence a vu son champ d'application étendu. Ainsi le LiDAR par fluorescence a commencé à être utilisé dans les relevés liés à l'environnement tels que l'étude des plantes par exemple.

L'application principale du Lidar par fluorescence, à savoir : le diagnostic de surfaces de monuments historiques, n'a vu le jour que dans les années 90 avec le premier essai sur le Baptistère et la Cathédrale de Parme en 1994. Le test mené a permis de mettre en valeur la précision de ce type de Lidar en comparant les pierres de ses monuments avec les différentes pierres disponibles dans la région de Parme. De plus le Lidar par fluorescence s'est révélé être capable de déterminer les traitements protecteurs appliqués sur les matériaux ainsi que depuis peu la faisabilité d'une caractérisation à base de fluorescence de litho types différents et d'autres matériaux de construction comme des mortiers ou ciments.

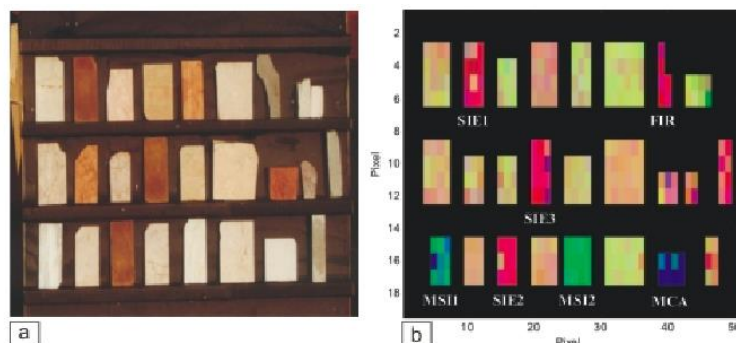


Figure 7 : Exemple d'une caractérisation de pierre et retour enregistré par l'appareil après lidar par fluorescence

➤ **LiDAR à absorption différentielle : « DIAL »**

Le LiDAR à absorption différentielle peut être utilisé pour la mesure des principaux gaz dans l'atmosphère.

Le LiDAR DIAL utilise deux longueurs d'ondes, émises par la source laser : Une longueur d'onde correspond à une raie spectrale d'absorption d'une espèce moléculaire de l'atmosphère (λ_a) tandis que l'autre longueur d'onde est hors de la raie d'absorption et sert de référence (λ_o).

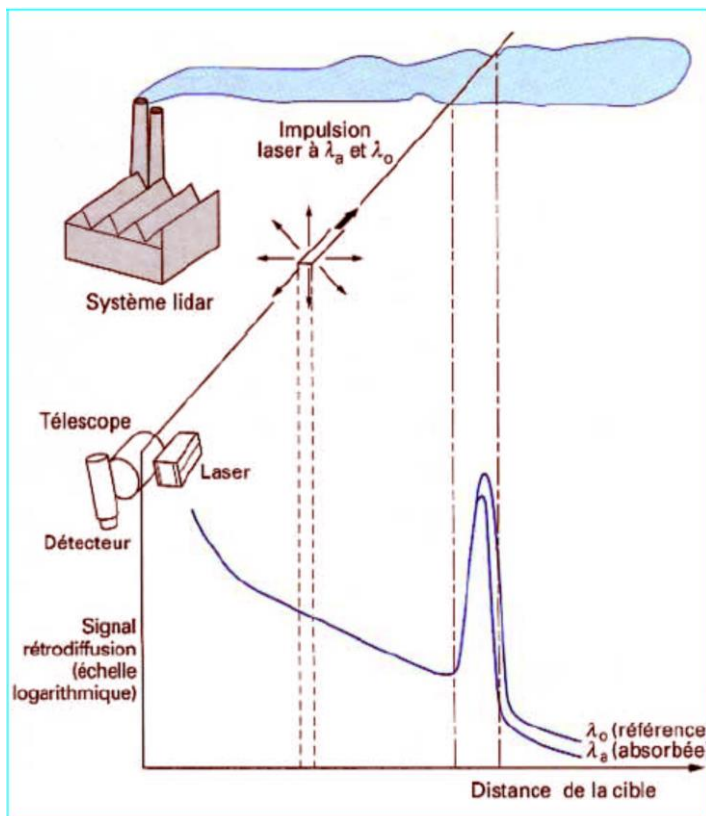


Figure 86 : Principe du LiDAR DIAL

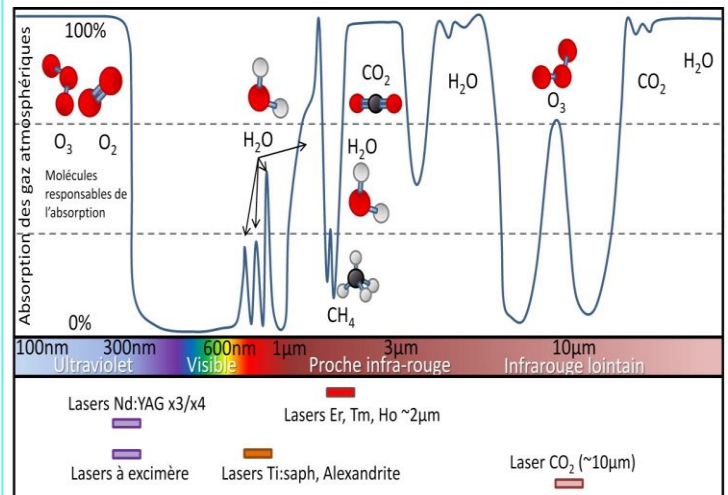


Figure 9 : Espèces gazeuses mesurables par LiDAR

Certains lidars DIAL utilisent la technique de la détection hétérodyne pour s'affranchir totalement du parasite de la lumière ambiante et effectuer des mesures de jour comme de nuit.

Plusieurs difficultés subsistent.

Il faut disposer d'un laser bi-fréquence accordable en longueur d'onde pour viser le sommet de la raie d'absorption de l'espèce à mesurer.

Le phénomène de décalage par la pression de raies spectrales d'absorption étroites fausse les mesures Lidar faites sur de grandes gammes d'altitude.

Les applications importantes du Lidar DIAL sont par exemple la surveillance de la couche d'ozone stratosphérique, la mesure des concentrations de gaz à effet de serre tel que le dioxyde de carbone ou le méthane ou la mesure de gaz polluants divers dans la basse atmosphère.

5. INTERETS, AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU LIDAR

Les LiDARs deviennent des instruments importants répondant aussi bien à des objectifs scientifiques de connaissance de l'atmosphère qu'à des besoins de mesure et de contrôle de l'environnement. En effet, de nombreux avantages le placent comme un capteur indispensable, d'où la multiplication de réalisations et de projets de LiDARs. Un avantage du LiDAR est une grande précision dans la mesure de distance (une précision de l'ordre du centimètre), grâce aux très courtes durées d'impulsions.

Un deuxième avantage est l'indépendance à la luminosité. On peut effectuer certaines mesures en plein jour ou la nuit. Le lidar utilise un capteur d'éclairage actif dont les données peuvent être récupérées jour et nuit, ce qui n'est pas toujours le cas d'autres techniques. Un autre atout du LiDAR est la rapidité d'acquisition et de traitement des données avec une extrême précision. Il est donc possible d'obtenir une cartographie 3D en temps réel grâce à un seul instrument LiDAR.

Le premier inconvénient du LiDAR est son prix élevé. Les systèmes Lidar mécaniques, présents aujourd'hui, peuvent coûter jusqu'à 75 000 euros ce qui rend leur application en série impossible. Autrement dit, ce prix est donc rédhibitoire pour l'équipement d'une voiture commercialisée en grande série. De plus, l'encombrement et la consommation d'énergie élevés limitent son utilisation sur un véhicule pour aujourd'hui.

Les LiDARs sont sensibles aux conditions atmosphériques. Ainsi par temps de pluie ou de brouillard, le faisceau peut être perturbé, à cause du principe de réfraction : lorsque le rayon traverse un milieu différent (comme une goutte d'eau), la vitesse de l'onde change, et ainsi la superposition de différentes couches de différents milieux rend approximatif l'évaluation de la distance.

APPLICATION : La voiture autonome

1. QU'EST-CE QU'UNE VOITURE AUTONOME ?

Ouvrir la portière, s'asseoir. Choisir sa destination et laisser sa voiture nous emmener seule jusqu'à bon port.

Dans sa définition globale, une voiture dite autonome est équipée d'un système de pilotage automatique qui lui permet de circuler sans intervention humaine dans des conditions de circulation réelles.

Elle peut freiner, accélérer, tourner et donc se garer toute seule. Différents types de voitures autonomes existent, classées en fonction de leur niveau d'automatisation.

2. HISTORIQUE DE LA VOITURE AUTONOME

1977

Premier essai de voiture autonome au Japon.
Un véhicule du laboratoire Tsukuba réalise un trajet sur circuit à la vitesse de 30km/h

1984

Mercedes-Benz conçoit une camionnette autonome capable d'atteindre une vitesse de 100 km/h

1987

Le développement de la voiture autonome s'accélère ;
La commission européenne finance le programme européen Prometheus qui permet entre autres le développement d'outils technologiques dédiés à la conduite autonome.

1994

Benz réalise une démonstration sur l'Autoroute A1 à Paris.
La voiture circule dans des conditions réelles de trafic, atteint une vitesse de 130 km/h et réalise des changements de file et dépassements.

2004

Première édition du DARPA Grand Challenge – Course entre voitures autonomes qui permettent de réunir différents spécialistes de différents pays.

Depuis 2010 de nombreux projets de voiture autonome sont mis en place par les différents constructeurs de voiture (Audi, Toyota, Renault, Nissan, Peugeot, General Motors, Mercedes-Benz). D'autres acteurs s'impliquent également comme Google avec la Google car construite en 2010. Certains constructeurs comme Nissan affirme qu'en 2020 ils commercialiseront leurs premières voitures autonomes.

3. PRINCIPE DE LA VOITURE AUTONOME

Google, Tesla... ils se sont tous lancés dans les voitures autonomes. Mais savez-vous comment ces véhicules fonctionnent ? Radars, Caméras, ..., découvrons toutes les technologies embarquées dans ces voitures.

Pour devenir autonome, la voiture a besoin de diverses informations et d'une combinaison d'éléments.

Dans un premier temps, l'utilisateur entre sa destination ; par la suite le véhicule va pouvoir s'y rendre sans intervention ultérieure.

L'antenne GPS indique la position de la voiture et l'ordinateur central programme un itinéraire. Une informatique embarquée (ordinateur de bord) réalise la fusion des données pour guider la voiture automatiquement.

Avec une caméra frontale située sur le rétroviseur central le véhicule identifie les couleurs, les panneaux et le marquage au sol et adapte ainsi son allure et ses arrêts. Une caméra infrarouge permet de déceler, la nuit, les piétons et les animaux sur la route. Des capteurs ultrasons détectent des obstacles à quelques mètres.

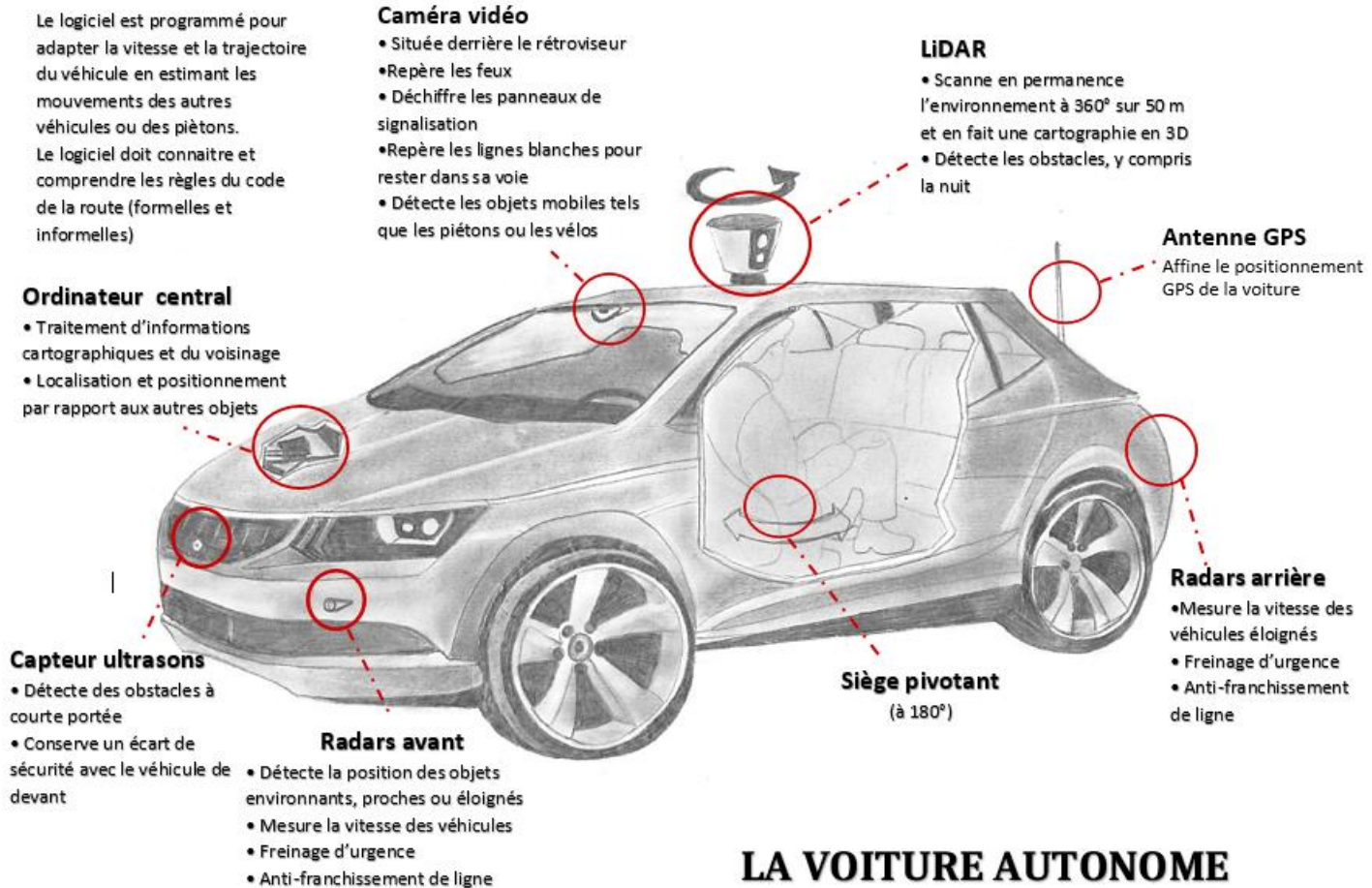
Des radars et capteurs longue portée avant et arrière déterminent, quelle que soit la météo, la position et la vitesse relative des autres véhicules et vont permettre le contrôle de trajectoire et assurer les distances de sécurité avec les autres véhicules. Ils gèrent d'éventuels freinages brusques ou le stationnement du véhicule comme le font déjà certains véhicules ayant le Park assist.

Le Lidar situé sur le toit établit une cartographie précise en 3D et mise à jour en permanence de l'environnement et des objets qui entourent la voiture en utilisant plusieurs lasers. Les algorithmes présents dans l'ordinateur central prennent en compte toutes ces données afin de prendre des décisions et transporter les passagers en toute sécurité.

Enfin, le système se complète d'un odomètre, appareil qui mesure la vitesse ou la distance parcourue par l'automobile.

Pour fonctionner correctement, un véhicule autonome doit parcourir des milliers de kilomètres pour alimenter sa base de données en images, expériences et interactions. C'est le concept du « machine-learning ».

SCHEMA DE LA VOITURE AUTONOME :



LA VOITURE AUTONOME

Figure 70 : Schéma de la voiture autonome et de ses instruments de navigation

4. LE LIDAR ET LA VOITURE AUTONOME

La principale problématique de la conduite autonome des véhicules intelligents concerne la perception de l'environnement à chaque instant, la localisation et l'orientation d'objets mobiles. Pour obtenir ces informations, on peut appliquer la technologie LIDAR à l'odométrie.

L'odométrie est une technique consistant à déterminer une estimation de la position future d'un véhicule à partir de sa position courante. En partant d'une position initiale connue et en intégrant les déplacements mesurés, on peut ainsi calculer à chaque instant la position du véhicule.

Le LIDAR intervient alors à ce moment, l'onde émise par le récepteur du LIDAR sera réfléchi par les objets rencontrés lors de son déplacement. La distance d'un objet réfléchissant peut-être obtenue à partir de la différence de temps entre l'émission d'une onde et la réception de l'écho le plus important. Ainsi on aura la position de notre véhicule autonome.

Il est également possible avec ce système en émettant de nombreuses ondes de localiser l'ensemble des échos afin de cartographier la surface de l'objet réfléchissant et donc de modéliser l'espace entourant le véhicule, c'est ce point essentiel qui permet de détecter les différents obstacles de la route. Cependant, ces derniers effectuent des balayages sur une seule nappe, c'est-à-dire un plan, et ne permettent donc pas d'avoir accès à une représentation 3D détaillée de l'environnement qui nécessite plusieurs lignes de niveaux. Pour pallier à cet inconvénient il est possible par exemple de faire osciller le LiDAR afin de couvrir plus de nappes ou d'utiliser des miroirs pivotant pour dévier les nappes. Malheureusement ce genre de système est beaucoup trop volumineux et impossible à intégrer à un véhicule autonome.

La solution choisie est donc d'intégrer plusieurs LIDAR simples couvrant plusieurs couches au fonctionnement de détection du véhicule. Cependant la représentation de l'espace reste moins précise qu'avec les systèmes de types caméra. Mais cette imprécision est compensée par le temps de traitement bien plus rapide avec un LIDAR. De ce fait au sein d'un véhicule autonome on retrouve souvent une caméra de recul plus précise pour les manœuvres et des LiDARs pour les opérations plus simples.

SCHEMA DU LIDAR D'UNE VOITURE AUTONOME :

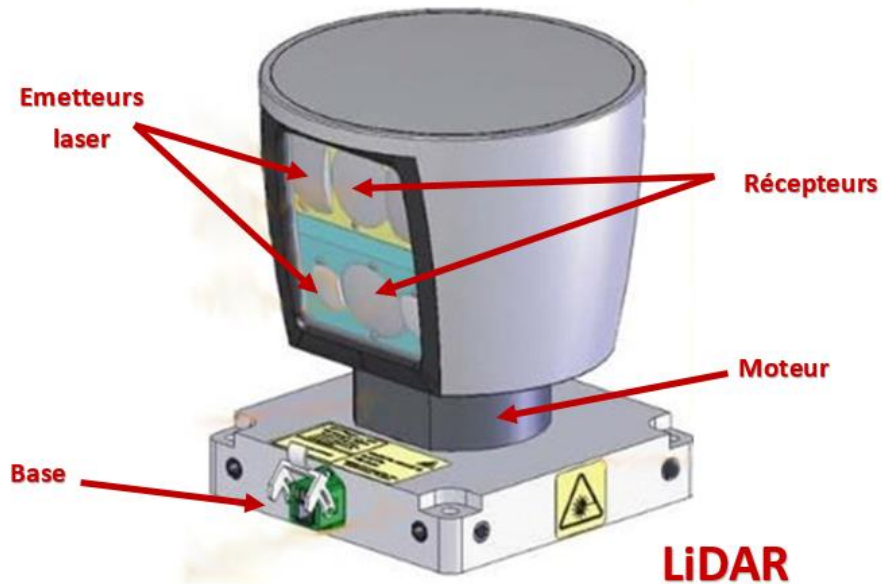


Figure 81 : Exemple d'un LiDAR utilisé sur les voitures autonomes

SCHEMA DES DIFFERENTS SYSTEMES DE DETECTION :

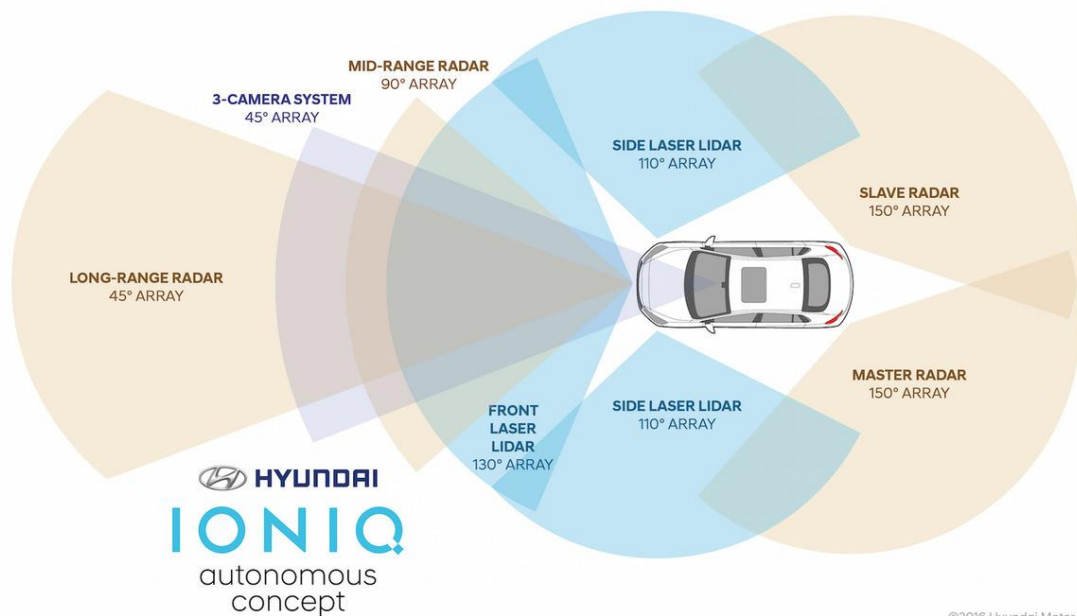


Figure 12 : Schéma des différents systèmes de détection (Hyundai IONIQ)

5. COMMENT MINIMISER LE COUT D'UN CAPTEUR LIDAR ?

Le problème d'un LIDAR installé sur une voiture autonome est qu'il coûte entre 70.000 et 80.000 \$. Velodyne, le spécialiste du LIDAR a créé le 'Puck'. C'est une version miniature du Lidar qui se contente de 16 faisceaux au lieu de 64 faisceaux utilisés dans le lidar HDL-64E. Ce qui explique la réduction de son prix à 8 000 \$. Sa résolution baisse de 1.3 million à 300 000 points de données collectés par seconde, ce qui est selon Velodyne le niveau minimum indispensable pour un véhicule autonome. La société espère baisser le prix du 'Puck' à 1 000 \$, grâce à une meilleure automatisation de la production et à des économies d'échelle.

De plus Osram Opto Semiconductors prépare un LIDAR qui devrait être commercialisé à 40 euros seulement. Avec 4 diodes lasers, ce nouveau LIDAR est moins puissant que le HDL-64E de Velodyne, mais il est beaucoup plus rapide. Ses impulsions laser, de l'ordre de 5ns sont deux fois plus courtes que celles de son concurrent. L'industriel estime pouvoir livrer les premiers composants aux équipementiers à partir de l'été 2017, tandis que la production en série pourrait être lancée en 2018. Dès lors, de plus en plus de voitures semi-autonomes ou totalement autonomes pourront être commercialisées.



Figure 139 : Exemple de LiDAR par Velodyne

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1. CONCLUSION SUR LE TRAVAIL REALISE

La rédaction de ce rapport nous a permis de découvrir une technologie qui nous était inconnue : Le LiDAR. Nous avons pu comprendre le principe de fonctionnement des différents LiDAR (LiDAR atmosphérique, LiDAR à télémètre laser, LiDAR à fluorescence) essentiellement basée sur la réflexion d'une onde lumineuse. Nous avons également pu prendre conscience de la multitude d'application de cette technologie. L'application que nous avons développée sur la voiture autonome s'est révélée particulièrement intéressante. En effet nous y avons découvert le rôle essentiel d'un LiDAR pour une voiture autonome. Il existe une échelle de classification d'autonomie pour les véhicules autonome, les trois derniers niveaux, considérées comme « les plus autonomes » sont ceux où la technologie LiDAR est présente.

2. CONCLUSION SUR L'APPORT PERSONNEL DE CET E.C.

Ce projet nous a permis de concilier plusieurs compétences et savoir-faire de l'ingénieur. Le mode de fonctionnement de cet E.C nous a permis de travailler avec des personnes que nous ne connaissions pas. Il a donc fallu apprendre à se connaître dans le travail pour avancer au mieux. En vue de nos emplois du temps respectifs, nous n'avons qu'une fois par semaine la possibilité de nous voir. Chaque semaine il était donc question de faire un point sur l'avancée du projet, puis de se répartir les tâches à effectuer pour la semaine suivante. La planification d'un projet, la répartition des tâches ou la capacité de travailler en équipe sont donc des compétences que nous avons pu développer au cours de projet.

3. PERSPECTIVES POUR LA POURSUITE DE PROJET

Nos recherches sur le LiDAR nous ont permis de constater que ce dernier était utile dans de nombreux domaines : L'analyse atmosphérique, l'automobile ou encore la cartographie. Nous nous sommes ici majoritairement intéressés au Lidar et à la voiture autonome mais une étude plus détaillée d'autres applications du LiDAR seraient également des perspectives de travail et de recherches intéressantes.

BIBLIOGRAPHIE

- « [1res-rencontres-asit-vd-tout-sur-le-lidar-de-la-technologie-aux-applications-5-638.jpg](https://image.slidesharecdn.com/intro-rencontres-20-02-14-140220100344-phpapp02/95/1res-rencontres-asit-vd-tout-sur-le-lidar-de-la-technologie-aux-applications-5-638.jpg?cb=1392953138) ». Consulté le 22 avril 2017. <https://image.slidesharecdn.com/intro-rencontres-20-02-14-140220100344-phpapp02/95/1res-rencontres-asit-vd-tout-sur-le-lidar-de-la-technologie-aux-applications-5-638.jpg?cb=1392953138>.
- Association pour le Système d'Information du Territoire Vaudois. « 1ères Rencontres ASIT VD : Tout sur le LiDAR : de la technologie aux ... ». Technologie, 10:03:43 UTC. <https://fr.slideshare.net/asitvd/1res-recontres-asit-vd-tout-sur-le-lidar>.
- « Ce mini-lidar pourrait réduire le coût des voitures autonomes ». Consulté le 03 mars 2017. <https://www.industrie-techno.com/ce-mini-lidar-pourrait-reduire-le-cout-des-voitures-autonomes.32874>.
- « Cours 3 : Le LIDAR ». Consulté le 02 mai 2017. <http://francois.jehin.pagesperso-orange.fr/licencepro/Lutz/Lidar.pdf>.
- « Détection de particules fines par LIDAR ». Consulté le 11 mars 2017. <http://serres.ifsttar.fr/fileadmin/contributeurs/serres/Action1/1-20 ERA17 LIDAR.pdf>.
- Futura. « Voiture autonome ». Futura. Consulté le 27 avril 2017. <http://www.futura-sciences.com/tech/definitions/voiture-voiture-autonome-15601/>.
- « intrduction to lidar1.pdf ». Consulté le 10 mai 2017. <http://home.ustc.edu.cn/~522hyl/%B2%CE%BF%BC%CE%C4%CF%D7/lidar/intrduction%20to%20lidar1.pdf>.
- « Lidar ». Wikipédia, 2 mars 2017. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lidar&oldid=136210168>.
- « LIDAR ». Richa Arora. Consulté le 04 mai 2017 Formation <https://fr.slideshare.net/RichaArora4/lidar-14127416>.
- « Lidar UK ». Consulté le 28 février 2017. <http://www.lidar-uk.com/index.php>.
- « Light Detection and Ranging (LiDAR) Week04 ». Consulté le 15 mai 2017. <http://web.pdx.edu/~jduh/courses/geog493f12/Week04.pdf>.
- « Etude et réalisation d'un télémètre laser par temps de vol ». Vincent DELAYE. Consulté le 22 avril 2017. [http://augereau.robot.free.fr/fichiers/not used/theorie telemetrie/partie1.pdf](http://augereau.robot.free.fr/fichiers/not_used/theorie telemetrie/partie1.pdf).
- « Un LIDAR "low-cost" pour la voiture autonome de demain | 4ième Révolution ». Consulté le 26 avril 2017. <http://www.4erevolution.com/lidar-low-cost/>.
- « Une des applications des lasers : les Lidars. » Consulté le 14 mars 2017. <http://etudeohp.free.fr/Obs/lidar.html>.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Schéma d'un système LiDAR et du principe de la mesure	- 5 -
Figure 2 : Schéma de principe d'un télémètre à détection directe.....	- 8 -
Figure 3 : Schéma Principe de la mesure de distance par triangulation	- 8 -
« Etude et réalisation d'un télémètre laser par temps de vol ». Vincent DELAYE. Consulté le 22 avril 2017. http://augereau.robot.free.fr/fichiers/not_used/theorie_telemetrie/partie1.pdf .	
Figure 4 : Schéma général du LiDAR à détection cohérente	- 9 -
https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar	
Figure 5 : Schéma général du LiDAR à rétrodiffusion.....	- 10 -
Figure 6 : Schéma fluorescence caractérisée par l'émission d'un photon	- 12 -
https://www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/introduction-to-quantum-physics-28/applications-of-quantum-mechanics-183/fluorescence-and-phosphorescence-676-4913/	
Figure 7 : Exemple d'une caractérisation de pierre et retour enregistré par l'appareil après lidar par fluorescence	- 12 -
Figure 8 : Espèces gazeuses mesurables par LiDAR.....	- 13 -
Figure 9 : Principe du LiDAR DIAL	- 13 -
https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar	
Figure 10 : Schéma de la voiture autonome et de ses instruments de navigation	- 17 -
Figure 11 : Exemple d'un LiDAR utilisé sur les voitures autonomes.....	- 19 -
Figure 12 : Schéma des différents systèmes de détection (Hyundai IONIQ)	- 19 -
http://www.hyundai.fr/actualites/276	
Figure 13 : Exemple de LiDAR par Velodyne	- 20 -
http://velodynelidar.com/	