

DOMINANTE ISE

Véhicule Autonome

Localisation et Trajectographie

Responsable : Vincent Vauchey

OBJECTIFS et METHODOLOGIE

- Concevoir, mettre au point et évaluer différentes méthodes de localisation et de trajectographie

➔ Organisation :

➔ 39h de projet/cours

➔ 1 h d'évaluation (directement lié au présentations)

➔ Orientation robotique inspirée par des projets du département SEI, du SIRD et du concours UTAC-CERAM

OBJECTIFS et METHODOLOGIE

- Sensibiliser les étudiants aux différents capteurs permettant de localiser un véhicule et/ou d'estimer sa trajectoire (GPS, IMU, odométrie, lidar, caméra).
- Introduire les différents types de données renvoyées par ces capteurs.
- Aborder les techniques et difficultés liés à la réalisation d'un AD (Autonomous driving)

Notation

- Sur les résultats obtenus à la fin.
- En continue en fonction du travail effectué.
- Un questionnaire en fin de projet (directement liés aux présentations).
- En cas de trop grande ressemblance du code entre deux groupes, la note sera divisée par le nombre de groupe avec le même code
- Un malus sur la note sera appliqué en cas d'abus sur les retards/pauses.

Présentation de Projets ESIGELEC

Projets ESIGELEC

- Véhicule automatisé:

- Quasper

- https://www.youtube.com/watch?v=1o04r1tuKJo&list=PLq6V2GmJjc_-Wid1ATujI3FIKCwqrphh



Emergency brake test

Projets robotique ESIGELEC

- Robot d'inspection de plateformes pétrolières:
 - Argos-challenge
 - <https://www.youtube.com/watch?v=wie3POxmbGI>



Projets robotique ESIGELEC

- Robot d'inspection de plateformes pétrolières:
 - Argos-challenge



Projets robotique ESIGELEC

- Robot chaise roulante



Assistive **D**evices for empowering
dis**A**bled **P**eople through robotic **T**echnologies

Projets VA ESIGELEC

- Véhicule automatisé:
 - UHA

Projets VA :

► Rouen Normandy Autonomous Lab

<https://youtu.be/aECVHFxdEik>

<https://www.youtube.com/watch?v=mMfyfzDIydo>



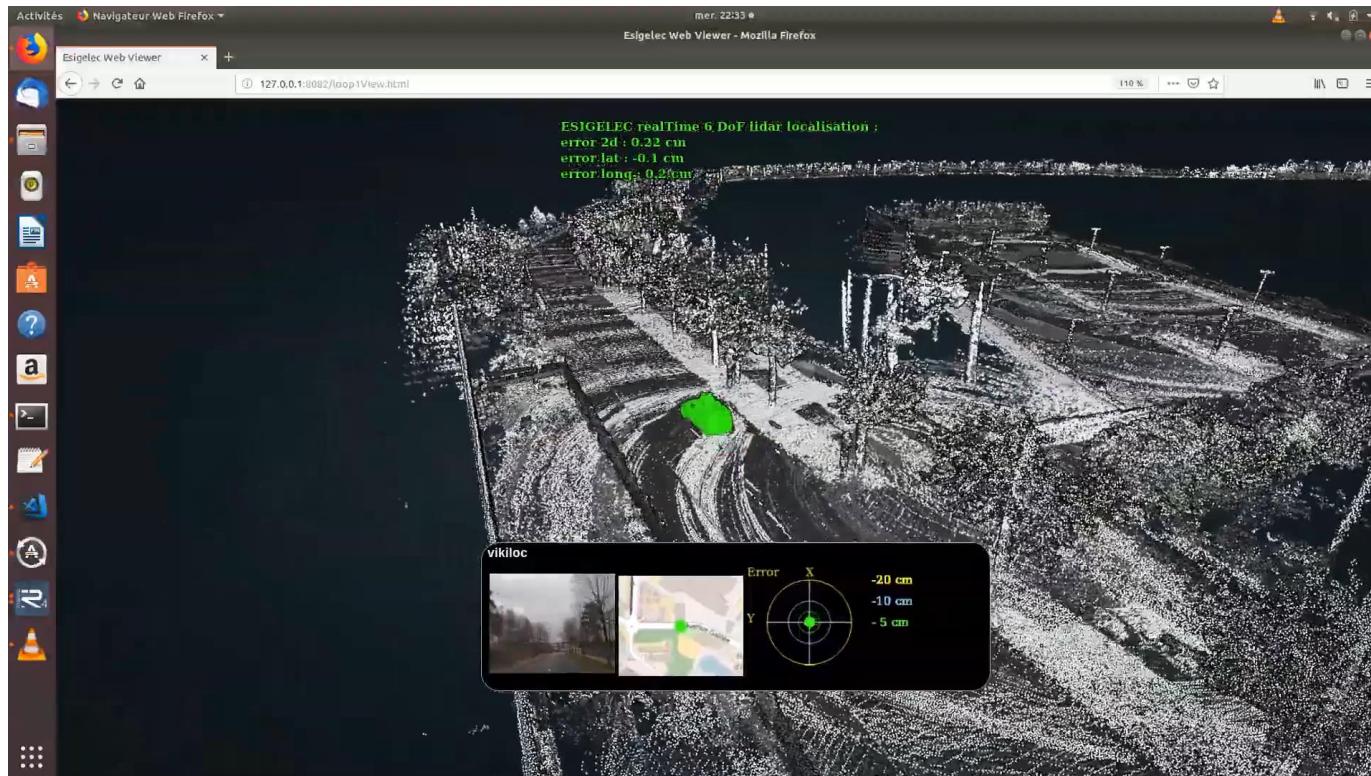
Projets VA :

► Rouen Normandy Autonomous Lab

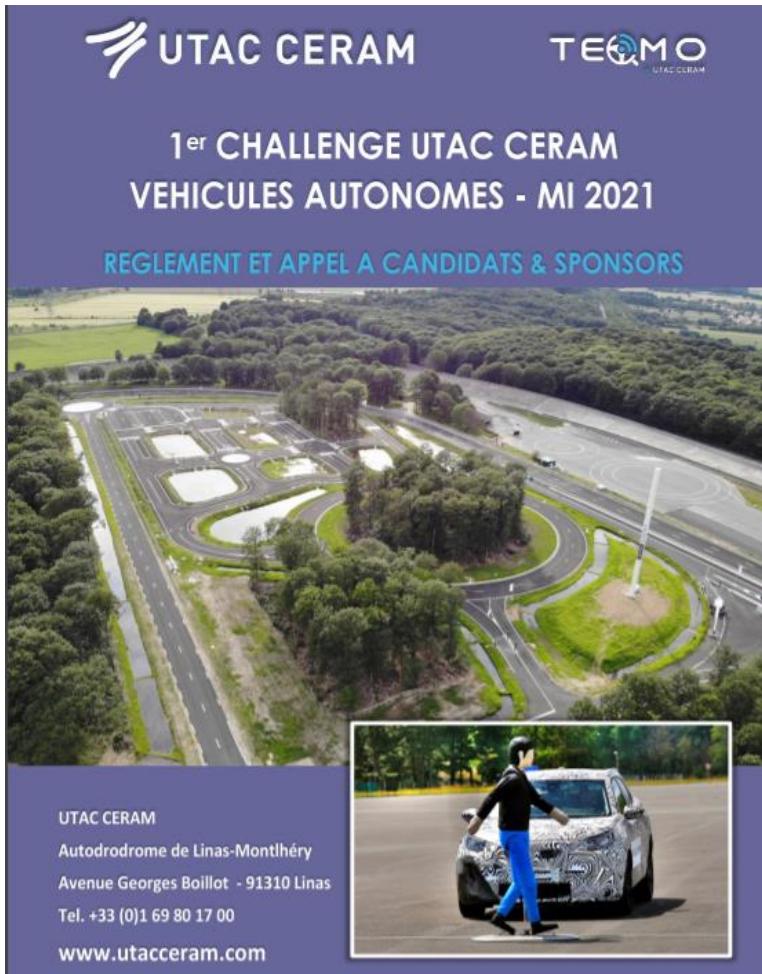


Projets VA :

► Algorithme de localisation Lidar



CHALLENGE UTAC CERAM



The banner features the UTAC CERAM logo at the top left and the TECMO logo at the top right. The main text reads "1^{er} CHALLENGE UTAC CERAM VEHICULES AUTONOMES - MI 2021". Below this, a blue banner says "REGLEMENT ET APPEL A CANDIDATS & SPONSORS". The background shows an aerial view of a complex road network and a circular track. An inset image at the bottom right shows a person in a black shirt and blue pants standing next to a white car with black camouflage patterns.

UTAC CERAM
Autodrome de Linas-Montlhéry
Avenue Georges Boillot - 91310 Linas
Tel. +33 (0)1 69 80 17 00
www.utacceram.com

- ▶ <https://www.utacceram.com/images/utac/Marketing/Reglement-et-Presentation-challenge-UTAC-CERAM-vehicules-autonomes.pdf>

CHALLENGE UTAC CERAM

- ▶ SEGWAY (Jean-Michel)

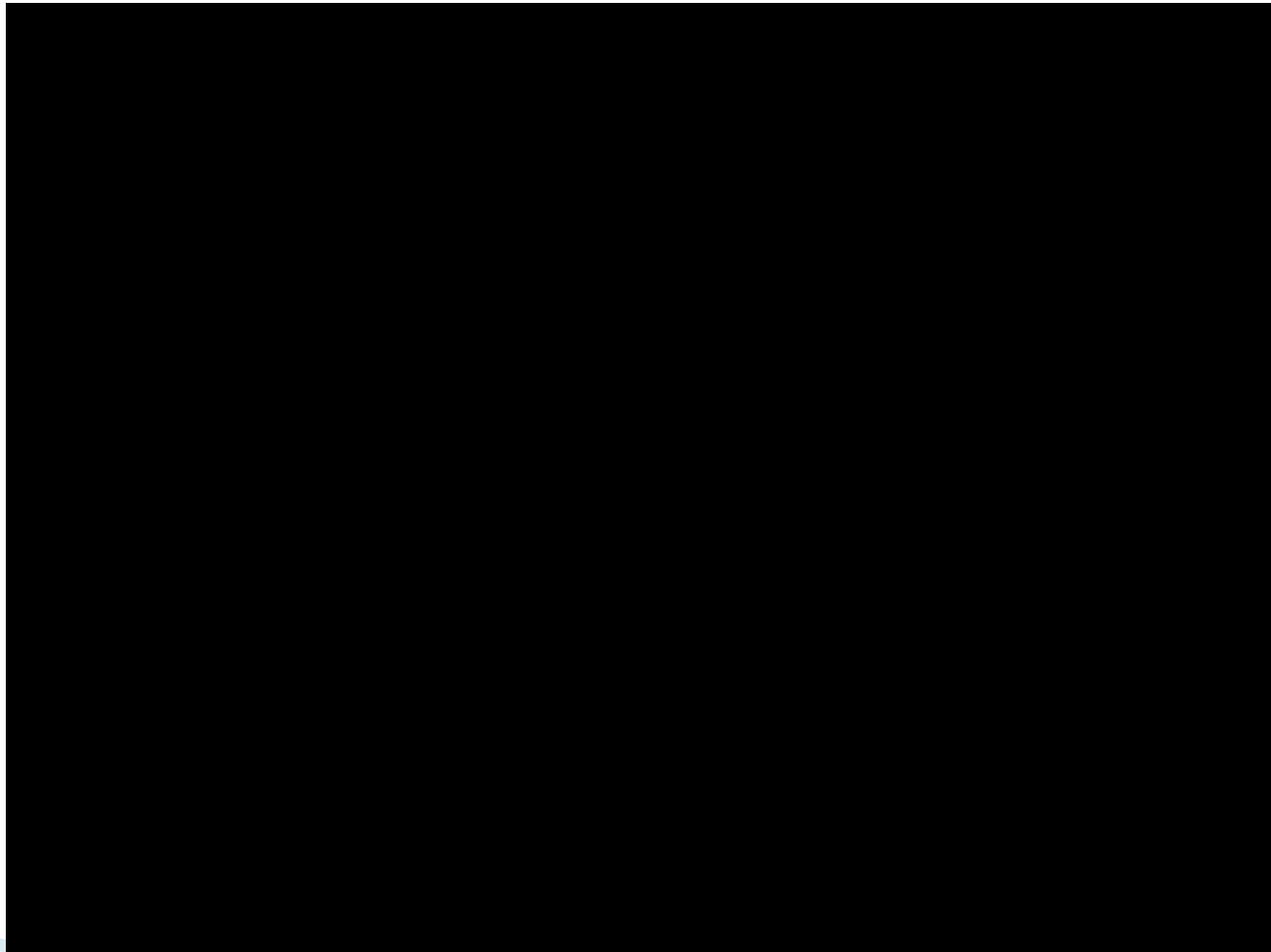


- ▶ Citroën AMI (Jacqueline)



CHALLENGE UTAC CERAM

- ▶ Travail d'étudiants ESIGELEC



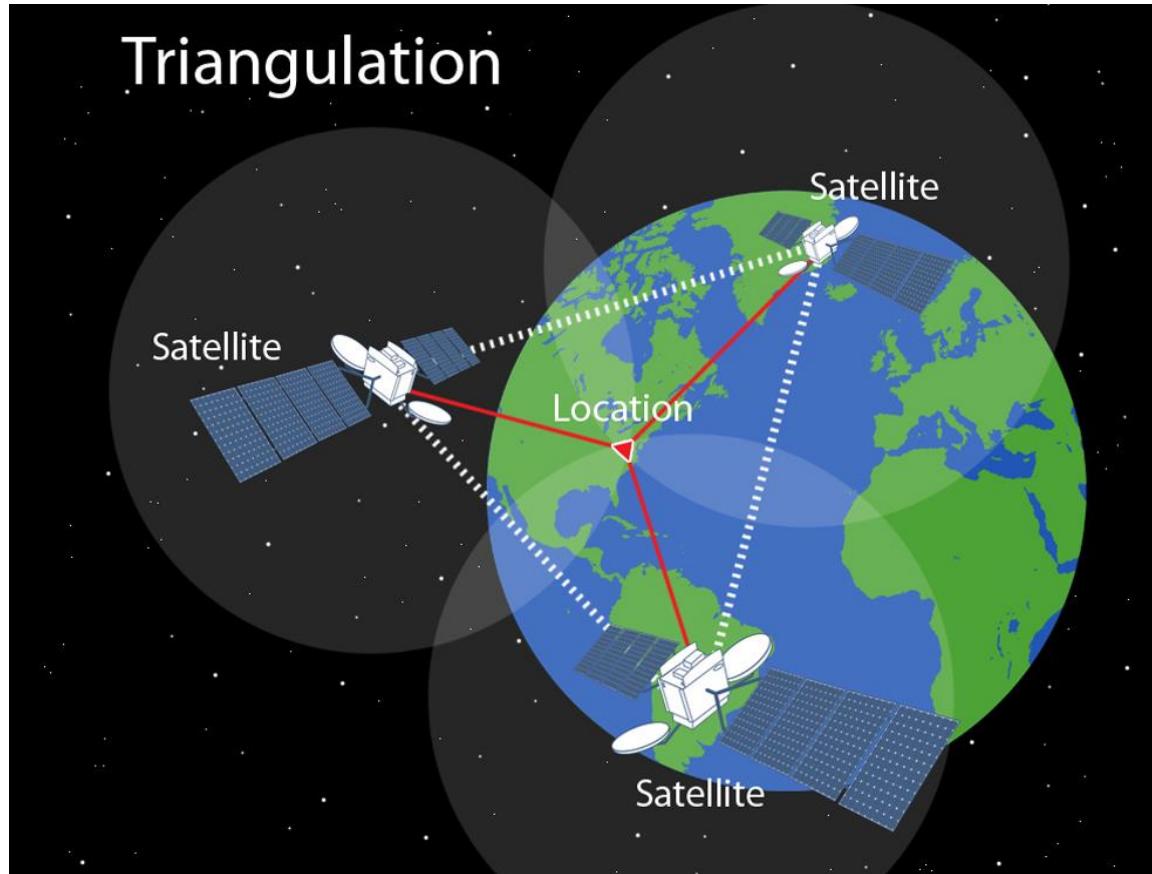
Localisation

Localisation

- ▶ Quel(s) capteur(s) choisir :



Localisation GPS



Localisation GPS

Constellation	Nombre de satellites	Origine
GPS	31	Américain
GLONAS	24	Russe
GALILEO	22	Européen
BEIDOU	39	Chinois
QZSS	4	Japonais
IRNSS	6	indien

► GPS:

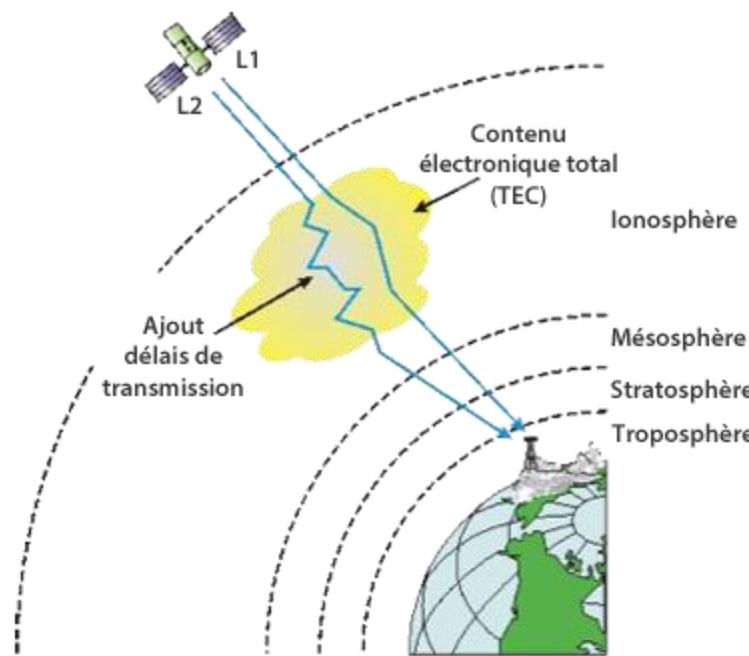
- Avantages :
 - Coût abordable.
 - Fonctionne « presque » de partout dans le monde.

Localisation GPS

► GPS:

- Inconvénients:

- Temps de propagation dans l'atmosphère variant en fonction des données météos.



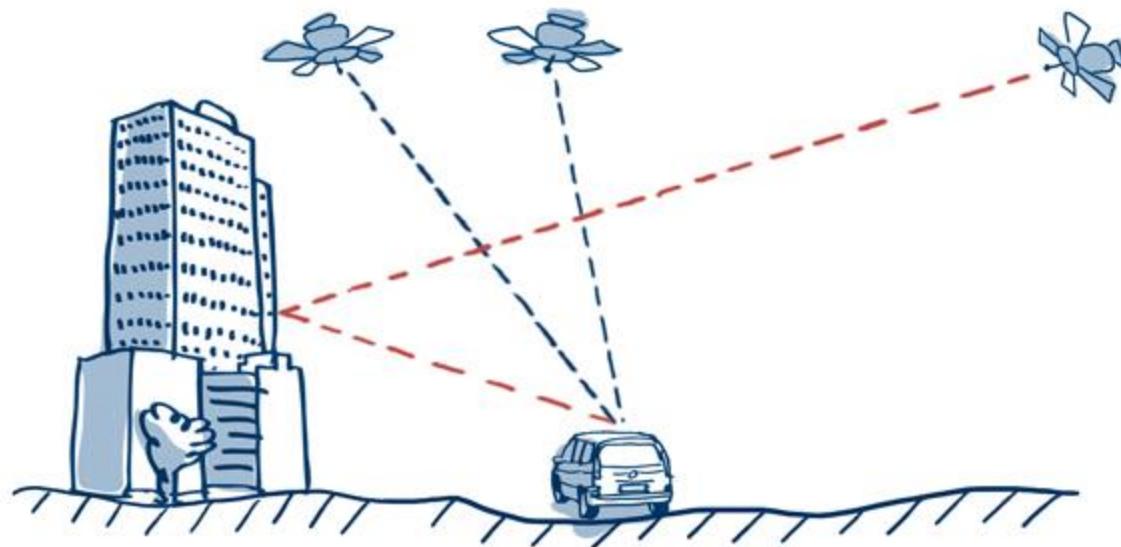
Effet de la réfraction ionosphérique. Les signaux GPS sont affectés de différentes manières, selon qu'il s'agisse de codes ou de phases.

Localisation GPS

▶ GPS:

- Inconvénients:

- Réflexion sur les bâtiments => trajet plus long => erreurs de positionnement appelées « saut gps »

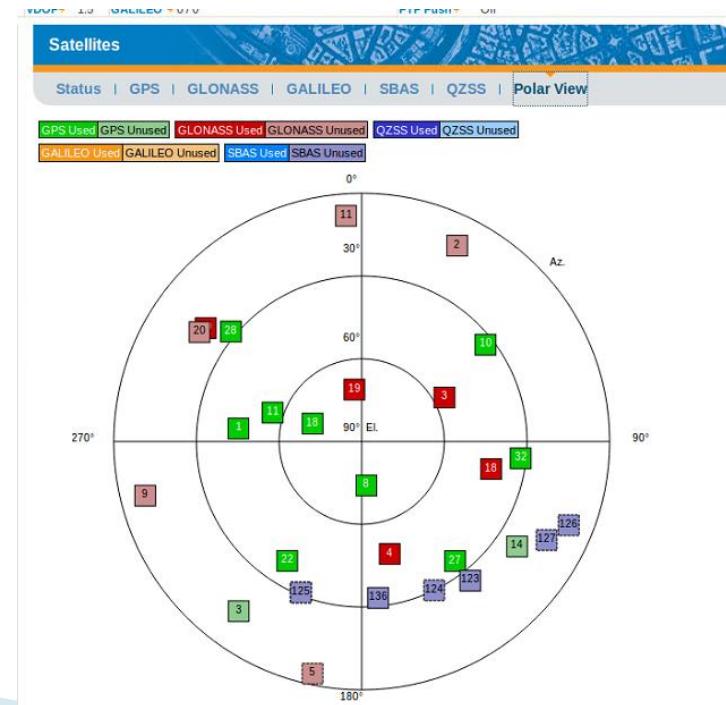
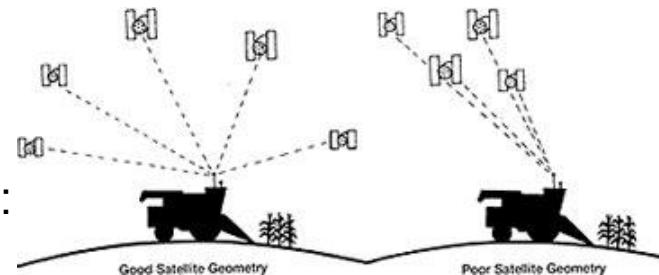


Localisation GPS

▶ GPS:

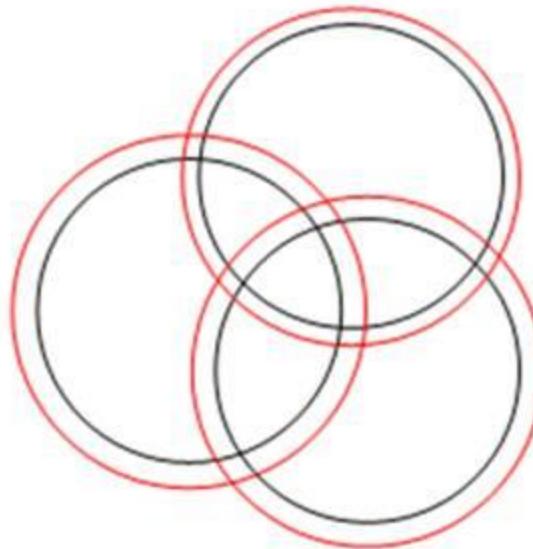
- Inconvénients:

- Angle entre les satellites:
 - Si tous les satellites sont dans le même secteur angulaire, il est difficile de faire une triangulation. (mauvais GDOP : Geometric Dilution Of Precision)
 - Si les satellites ne sont pas assez au dessus du véhicule, le passage dans la stratosphère peut perturber fortement le signal.



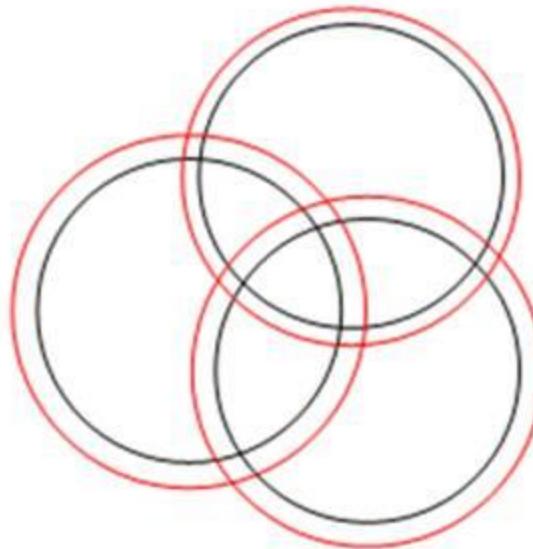
Localisation GPS

- ▶ GPS:
 - Inconvénients:
 - Nombre de satellites (de 4 à 12).



Localisation GPS

- ▶ GPS:
 - Inconvénients:
 - Nombre de satellites (de 4 à 12).



Mais pourquoi 4 au minimum et pas 3 ?

Localisation GPS

► GPS:

- Inconvénients:

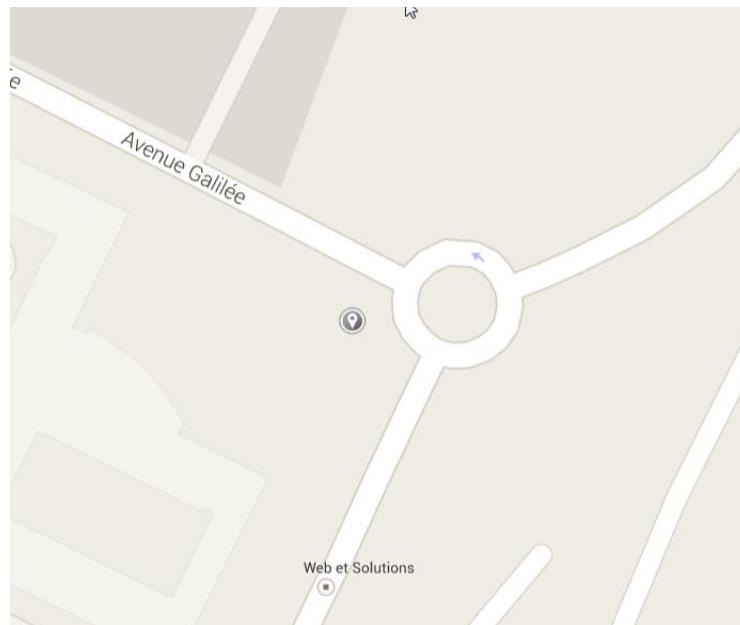
- L'horloge du récepteur est moins précise que les horloges atomiques à bord des satellites (horloges atomiques).
- Erreurs de positionnement du satellite.
- Dégradation du signal satellite volontaire.
- Données de positionnement disponibles à une fréquence de 1Hz (sur un véhicule à 50km/h cela donne une erreur minimale de 13,88m).
- Très mauvais en Z (de manière générale il faut considérer que la précision en Z est le double de celle en latitude et longitude).

Localisation GPS

▶ GPS:

- Inconvénients:

- Contrairement à ce que l'on peut voir dans un gps de voiture, le gps ne donne pas une position sur une route, il s'agit de « map matching » avec les erreurs géométriques entraînées par ce mécanisme.



Localisation GPS

- ▶ Données de sorties généralement sous formes de trames NMEA :
- ▶ Exemple:

\$GP_{GGA},064036.289,4836.5375,N,00740.9373,E,1,04,3.2,200.2,M,,,0000*0E\n

- Une trame nmea commence par « \$ », les champs sont séparés par des « , ». La fin des champs de données est marqué par « * » puis d'un checksum (xor sur les données) fini par un \n ou \r\n

\$GP_{GGA} :

-Type de positionnement (BD ou GB beidou, GA Galiléo, GP GPS, GL GLONASS)

-Type de trames GGA (position), GST (Erreurs de positionnement) , RMC (données minimale de positionnement), ZDA
(date)

064036.289 : Trame envoyée à 06 h 40 min 36 s 289 (heure UTC)

4836.5375,N : Latitude 48,608958° Nord = 48° 36' 32.25" Nord

00740.9373,E : Longitude 7,682288° Est = 7° 40' 56.238" Est

1 : Type de positionnement (le 1 est un positionnement GPS)

04 : Nombre de satellites utilisés pour calculer les coordonnées

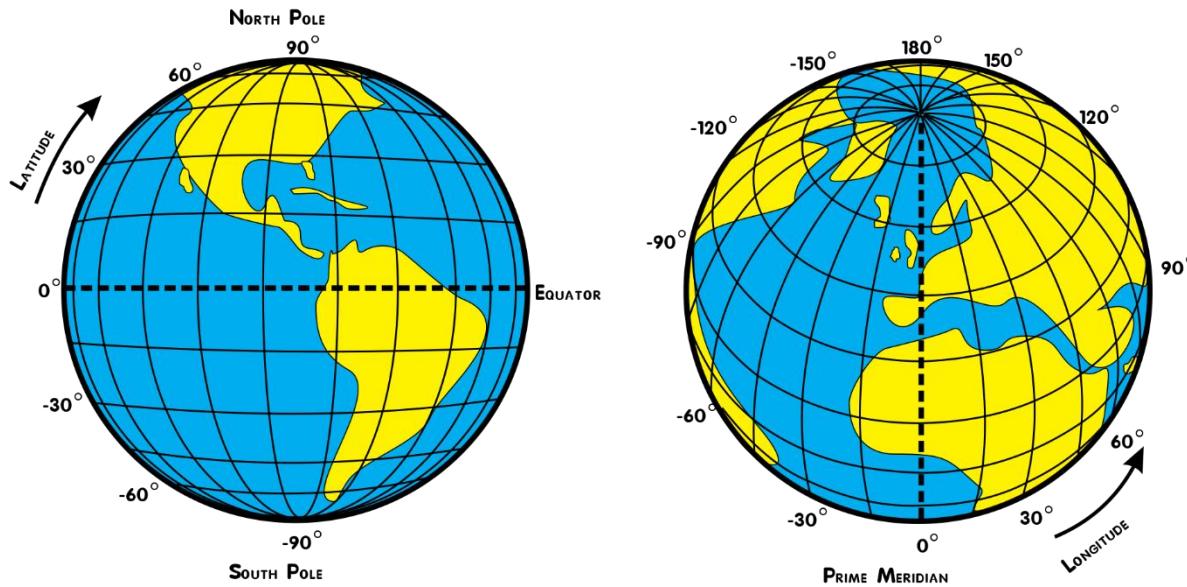
3.2 : Précision horizontale ou HDOP (Horizontal dilution of precision)

200.2,M : Altitude 200,2, en mètres

,,,0000 : D'autres informations peuvent être inscrites dans ces champs

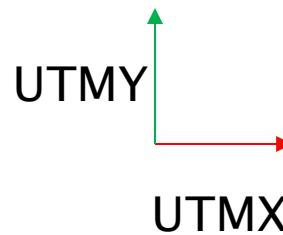
Localisation GPS

- ▶ Les positions sont données en mode **angle latitude et longitude** sur la terre :



Coordonées UTM : Transverse universelle de Mercator

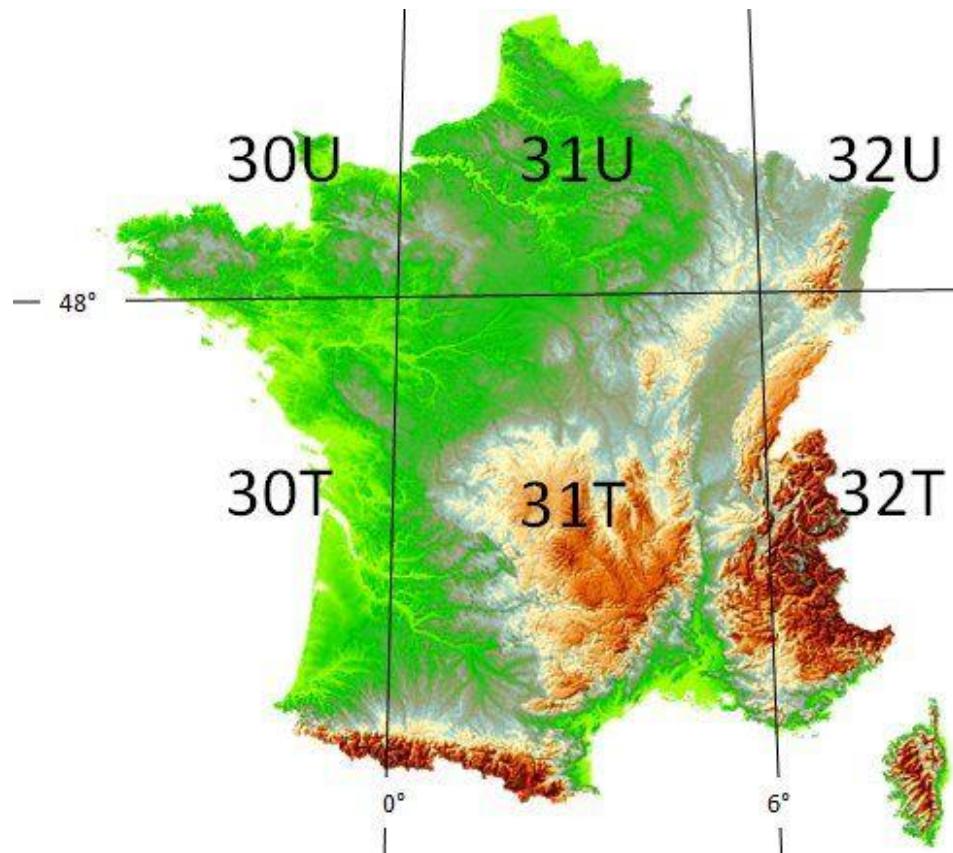
- ▶ Il est difficile d'utiliser les coordonnées latitude (orientée Nord) et longitude (orientée Est) directement, pour cela il est nécessaire d'avoir un système de coordonné localement cartésien:
- ▶ Les coordonnées cartésiennes sont un ensemble de tuiles considérés localement planes et orienté X vers l'Est et Y vers le Nord



Le module python UTM pourra vous aider à faire les conversions

Coordonées UTM : Transverse universelle de Mercator

- ▶ Liste des tuiles en France métropolitaines :



Localisation GPS plus précise

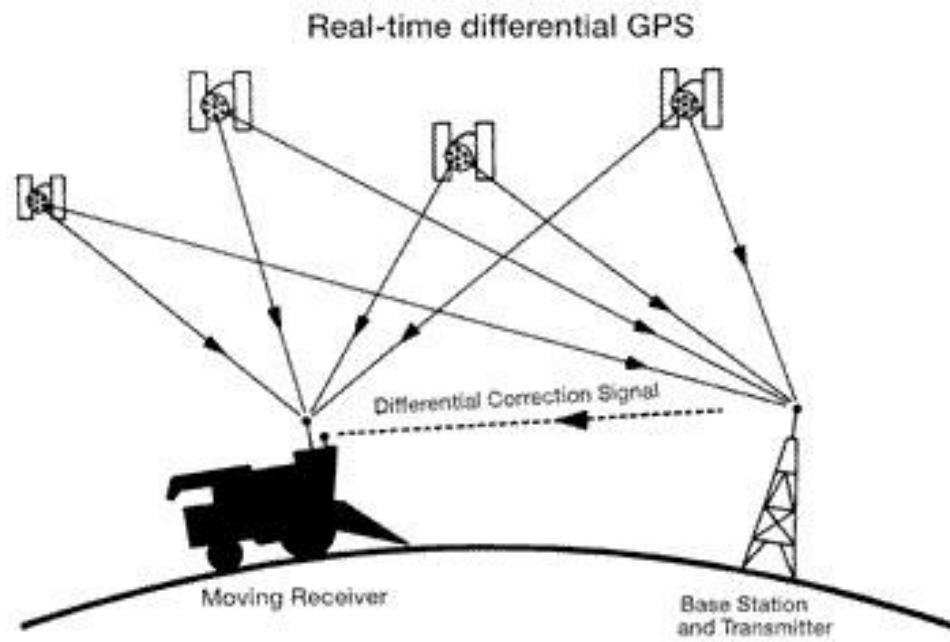
- ▶ Comment faire en sorte d'améliorer la précision de mon positionnement GPS, sachant que mon signal satellite est principalement perturber par le passage dans l'atmosphère (pressions, nuage, ...) ?

Localisation GPS plus précise

- ▶ Comment faire en sorte d'améliorer la précision de mon positionnement GPS, sachant que mon signal satellite est principalement perturber par le passage dans l'atmosphère (pressions, nuage, ...) ?
 - Indice : Ce système est installé sur le toit du CISE.

Localisation DGPS

- ▶ Differential GPS (DGPS):
 - Des balises géo référencées renvoient l'erreur de positionnement au véhicule.



Localisation DGPS

- ▶ Précision :

- Pouvant atteindre les 2–3 voir moins.

- ▶ Données de corrections disponibles :

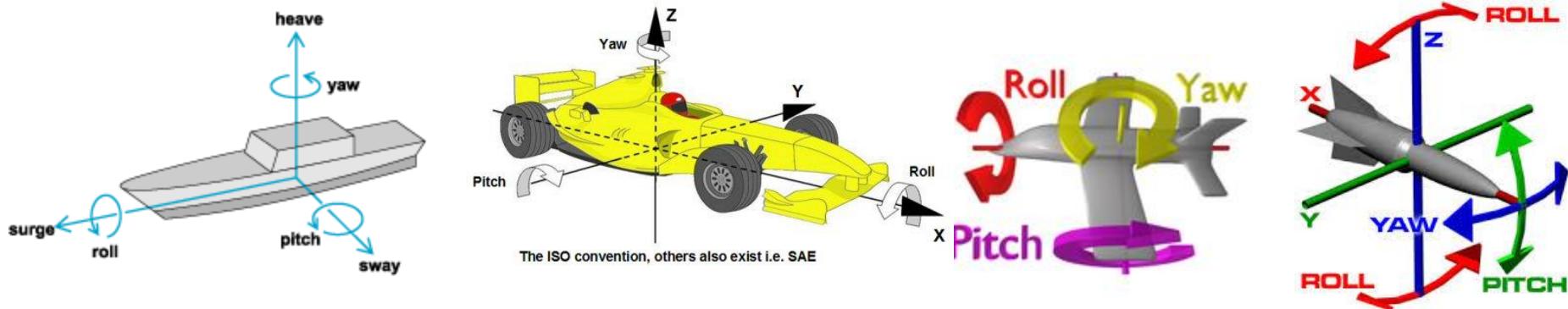
En temps réel via liaison radio ou 3G par exemple via le réseau **teria** (Principalement utile pour de la localisation temps réel).

En post traitement (pour de la cartographie).

- ▶ Prix de l'ordre de quelques milliers d'Euros à quelques dizaines de milliers d'euros.

Localisation DGPS

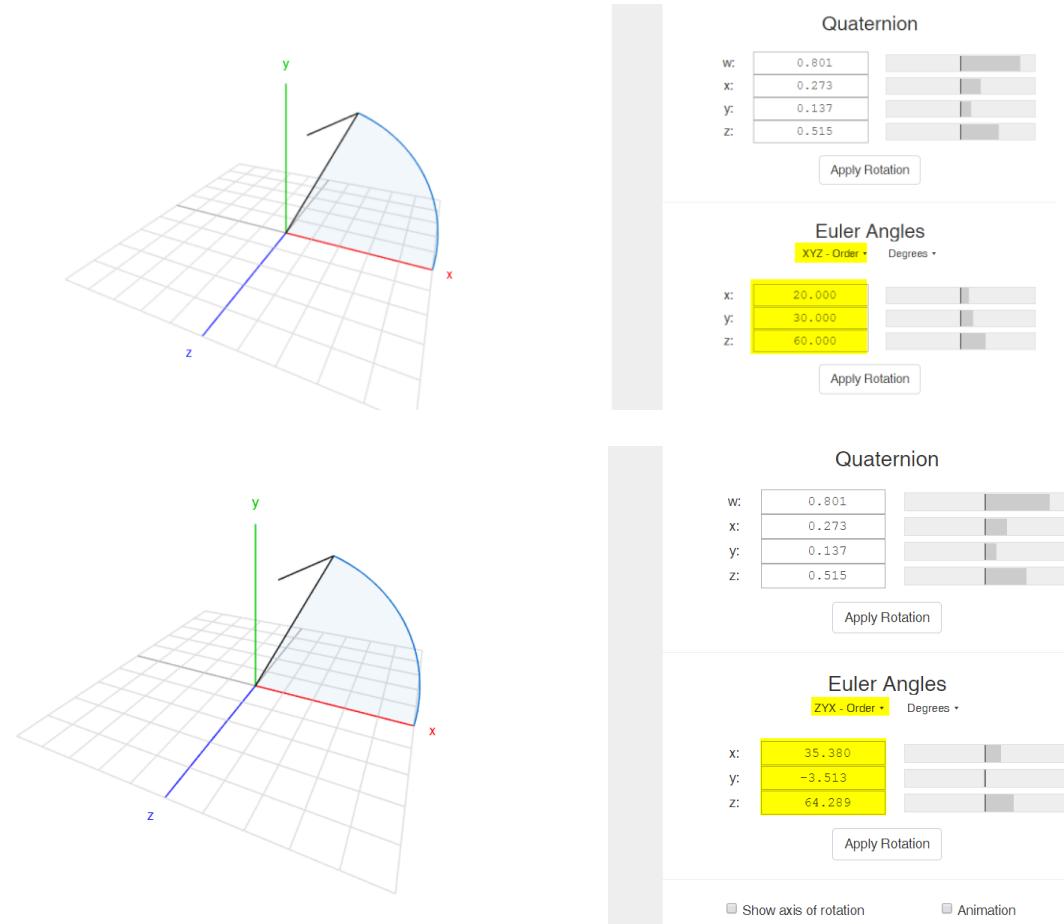
- ▶ Une position précise n'est pas suffisant pour de la navigation :



- ▶ L'orientation est également extrêmement importante => nécessité d'avoir d'autres capteurs

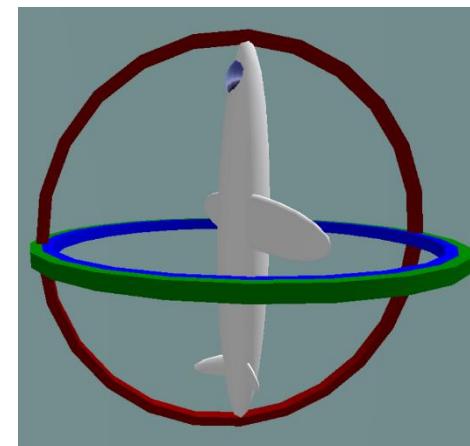
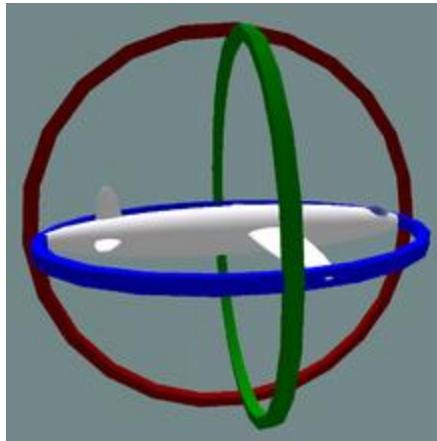
Expressions des angles: Angles d'Euler

- L'ordres des rotations est important XYZ, ZYX ou autres



Expressions des angles: Angles d'Euler

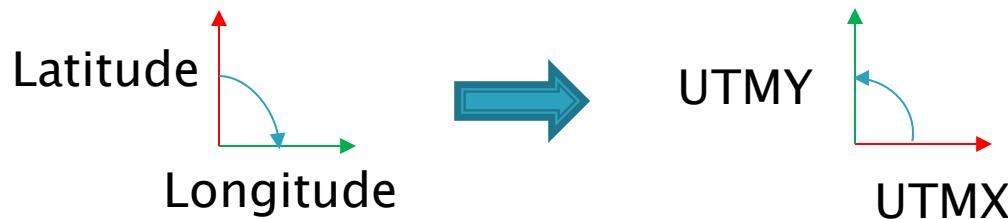
- ▶ Problème de Blocage de cardan (Gimbal lock)



- ▶ Tous ce qui est interpolation d'angles d'Euler, ou moyenne d'angles d'Euler est inexact.
 - – Il est nécessaire de passer par la géométrie des quaternion

Conversions angle yaw IMU vers yaw UTM

- ▶ Attention, des angles exprimés dans le repère monde Lat/Long vers le nord ont besoin d'être tournés en mode coordonnées UTM (orienté vers l'EST) $\text{angleUtm} = 90 - \text{angleIMU}$



Mesure du déplacement

- ▶ 3 Types de capteurs possibles (présents dans les téléphones)
 - Accéléromètres
 - Gyromètres
 - Magnétomètres

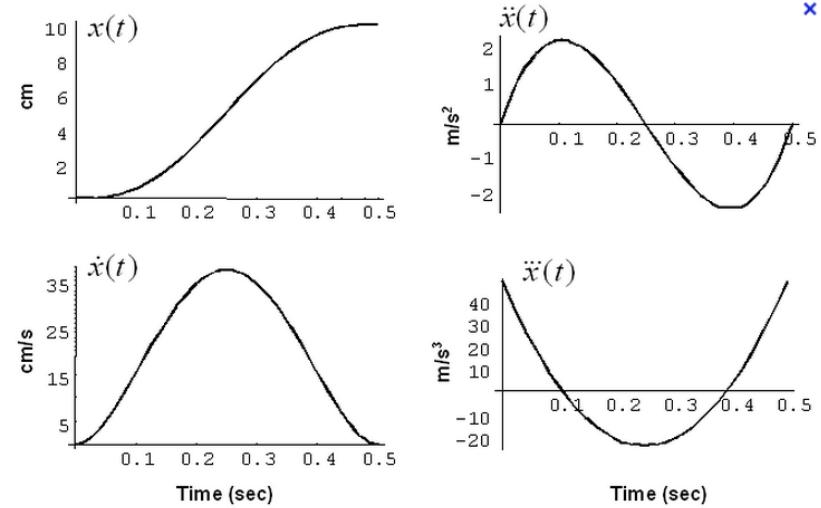
Mesure du déplacement

- ▶ Accéléromètres
 - Donne l'accélération.

Mesure du déplacement

▶ Accéléromètres

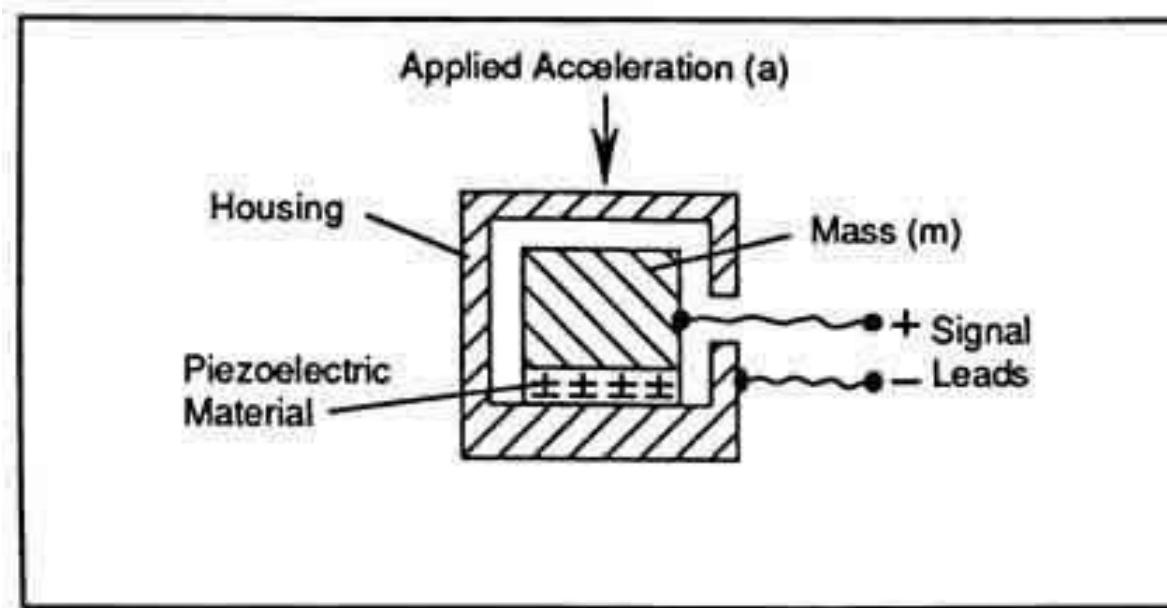
- Donne l'accélération.
- Sur un Véhicule, les valeurs d'accélération dépendent de la position du capteur (besoin de calibrage).
- Possibilité théorique de retrouver la position (translation) via une double intégration.
- => **Avec des vrais capteurs bruités, ça ne fonctionne pas**



Mesure du déplacement

▶ Accéléromètres

- Piezo (génère une tension en fonction d'une force):

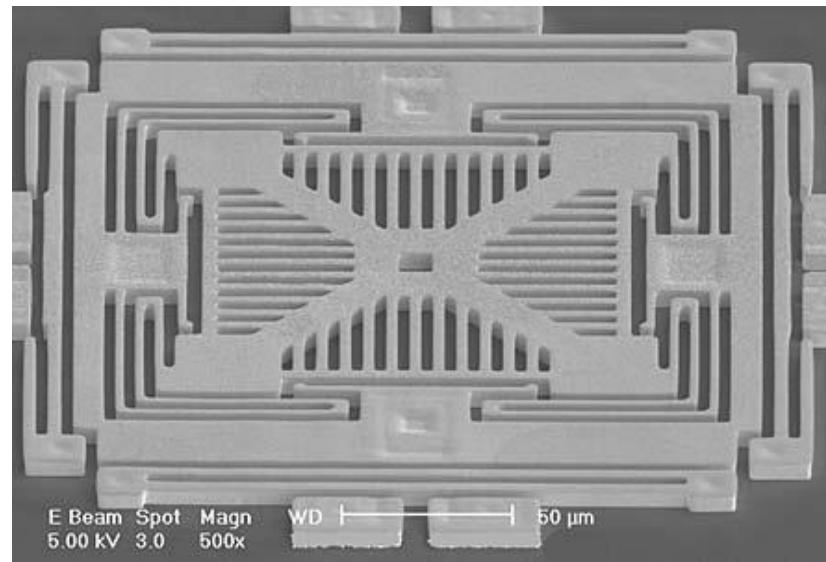
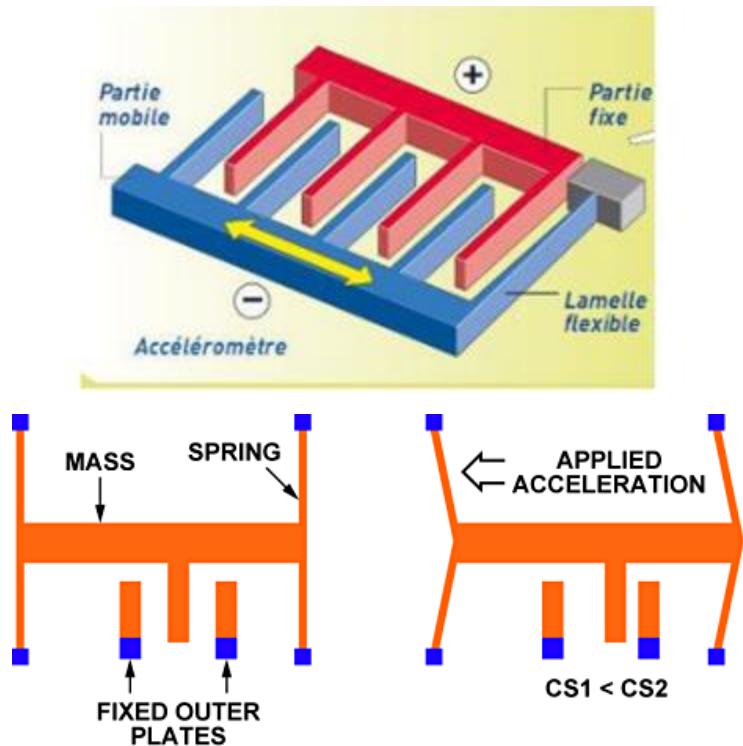


Mesure du déplacement

▶ Accéléromètres



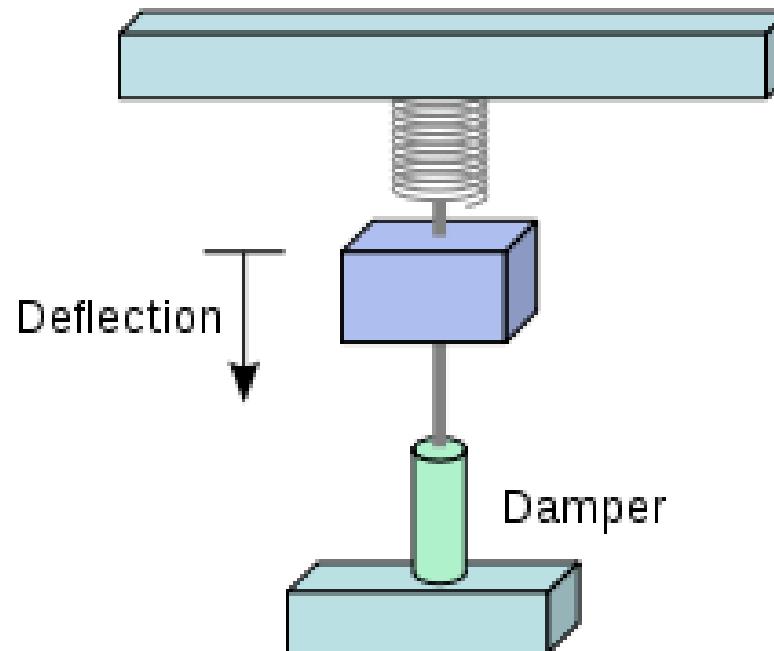
- Microelectromechanical systems (MEMS) :



Mesure du déplacement

▶ Accéléromètres

- Lasers :



Mesure des rotations

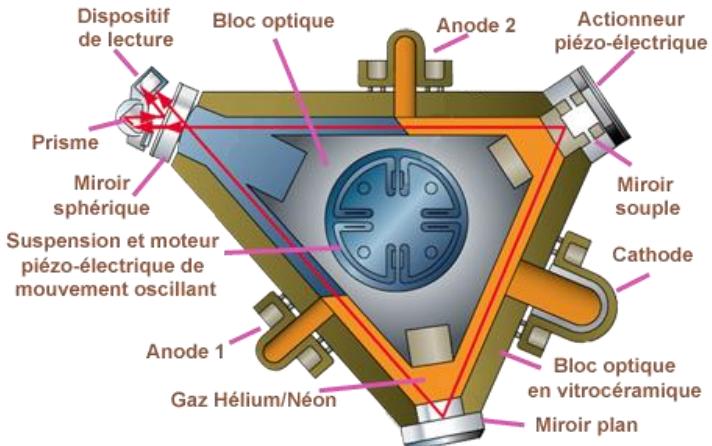
▶ Gyromètres

- Donne les vitesses de rotations.
- Le taux de rotation ne dépend pas de la position dans le véhicule.
- Possibilité théorique de retrouver angle via une intégration du signal.

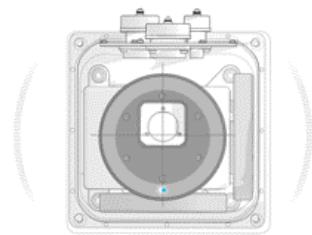
- En pratique il y a un offset lié à la température à compenser ainsi que le bruit du capteur qui pose problème.

Mesure des rotations

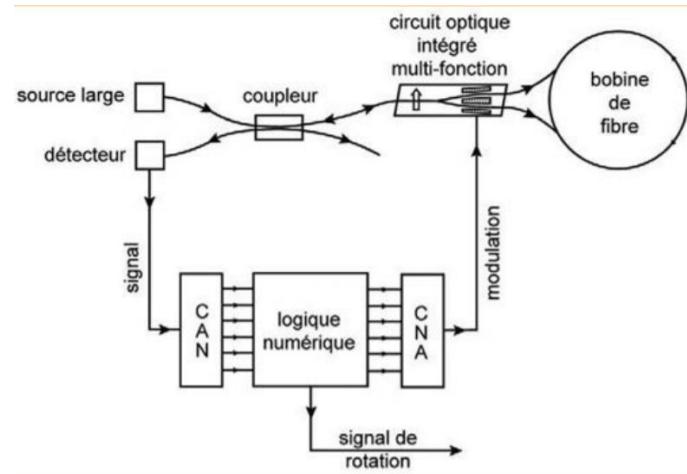
- ▶ Gyromètres
 - Laser :
 - Fibre-optic-interferometer (FOG)



Source: www.faa.gov/handbooks_manuals/media

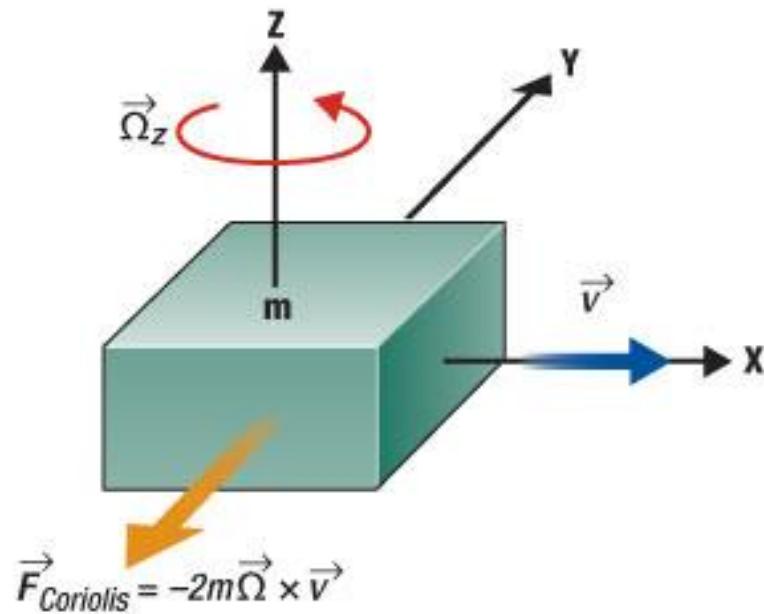


iXblue



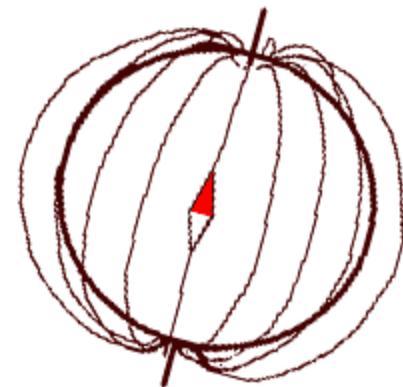
Mesure des rotations

- ▶ Gyromètres
 - Microelectromechanical systems (MEMS) :



Mesure du cap

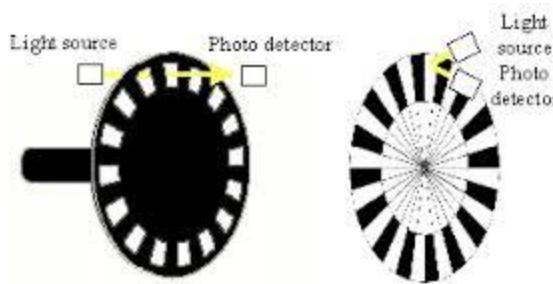
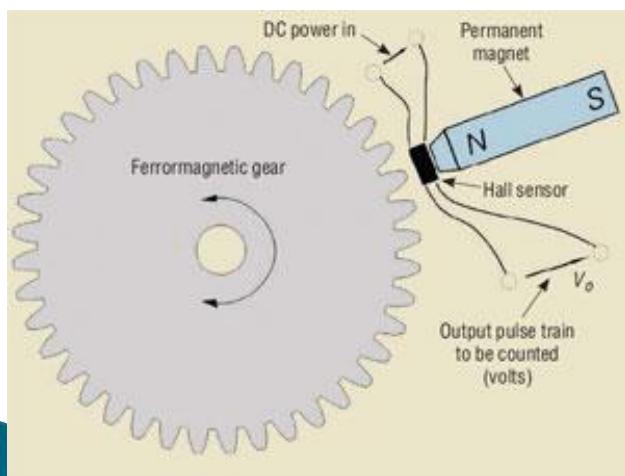
- ▶ Magnétomètres
 - Déetecte le nord magnétique.
 - Sensible à l'environnement métallique et électrique.
 - Besoins d'une calibration via rotation sur tous les axes
=> calibration à refaire en cas de changement de l'environnement métallique.



Mesure d'odométrie

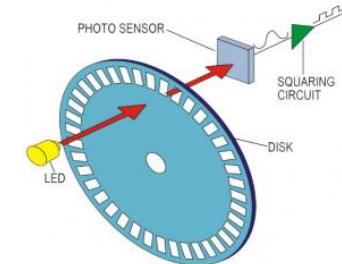
▶ Odomètres :

- Mesure des « crans » sur un disque.
- Très utile pour piloter un moteur en boucle fermée.
- Très mauvais sur véhicule en rotation.
- Ne prend pas en compte les glissements d'un véhicule.
- Souvent disponible sur le bus CAN des véhicules.

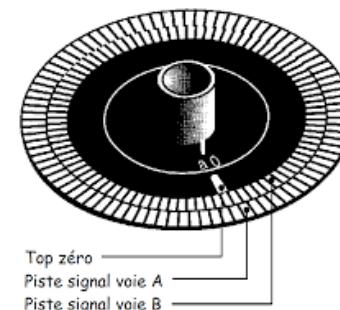
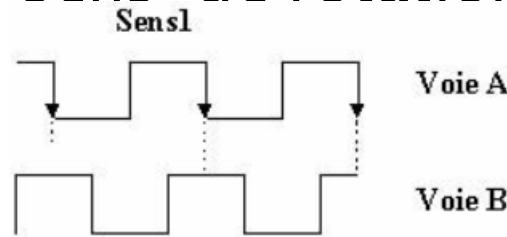


Mesure d'odométrie

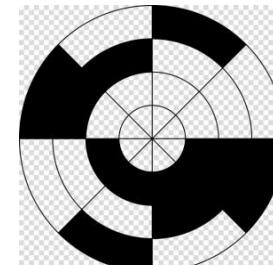
- ▶ Odomètres :
 - Il existe des encodeurs incrémentiels simple :



- Il existe des encodeurs incrémentiels permettant de connaître le sens de rotation :



- Il existe des encodeurs absolus (sur un tour):



Mesure d'odométrie

- ▶ Odomètres :
 - Si j'ai une roue d'un diamètre de 55cm avec un odomètre contenant 1000 clics par tours, comment calculer la distance parcourue si j'ai 2345 clics ?

Mesure d'odométrie

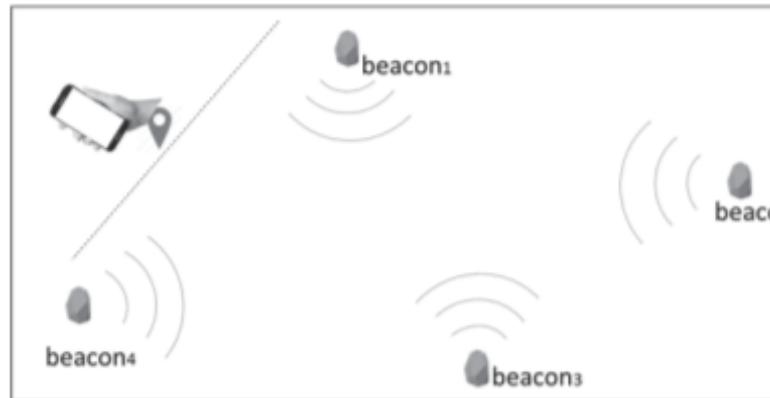
▶ Odomètres :

- Si j'ai une roue d'un diamètre de 55cm avec un odomètre contenant 1000 clics par tours, comment calculer la distance parcourue si j'ai 2345 clics:
- Distance = (nombre de clics) * 2 * PI * (diamètre / 2) / (nombre de clics par tours)
- Distance $\sim= 4,05\text{m}$

Localisation Indoor RADIO (wifi ou autre)

Localisation Indoor Radio

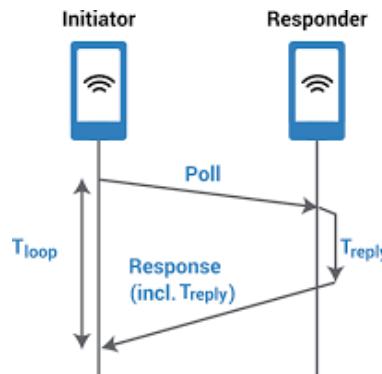
- ▶ Basée sur la puissance reçue (RSSI), le problème c'est que c'est très sensible à la puissance réelle émise et aux problèmes de couverture du signal.



- ▶ Utilisé par exemple par certains magasins pour de la publicité ciblée.
- ▶ Précisions de l'ordre de plusieurs mètres.

Localisation Indoor Radio

- ▶ Basé sur le temps de vol TOF:Time Of Fly (mesure du temps allé retour d'un message) .

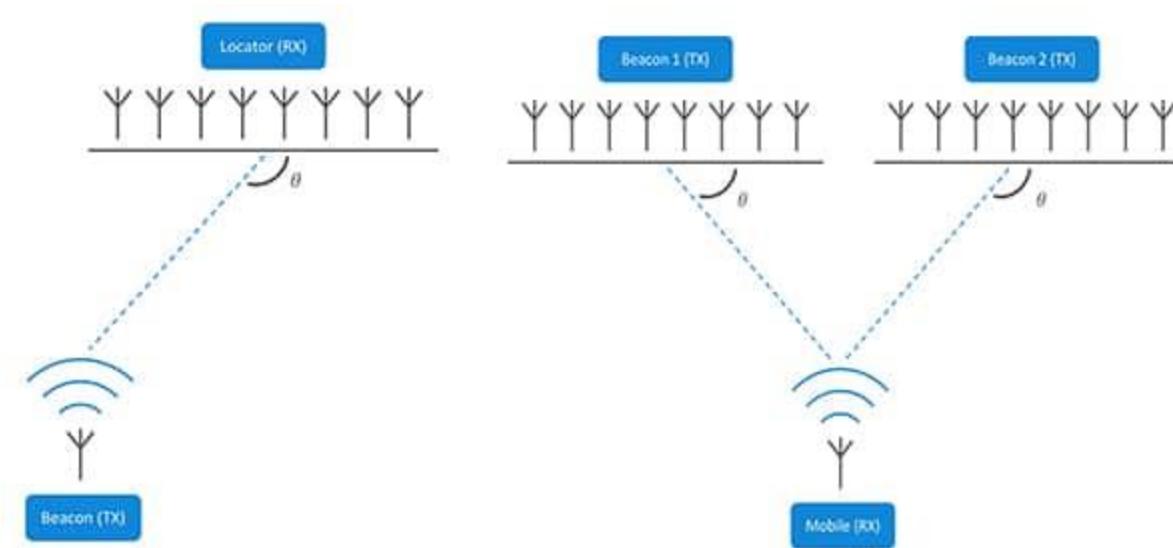


$$ToF = \frac{T_{loop} - T_{reply}}{2}$$

- ▶ Besoins d'avoir des système bien synchronisés.
- ▶ Sensible aux rebond, donc utilisation de pulse très court sur un spectre large pour limiter cet effet (Ultra wide band)
- ▶ Une cinquantaines de cm, voir 10 cm au mieux dans de très bonnes conditions

Localisation Indoor Radio

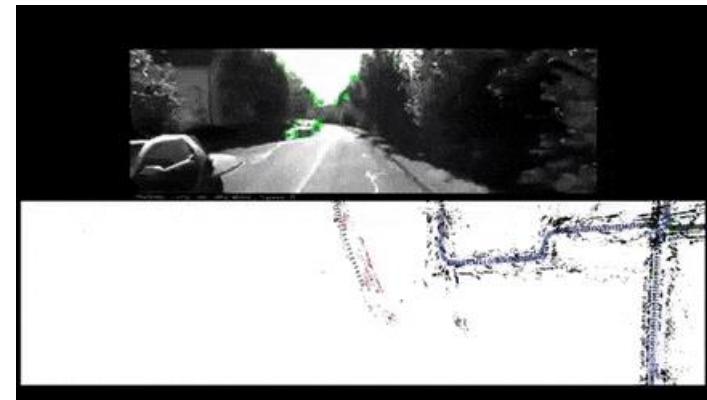
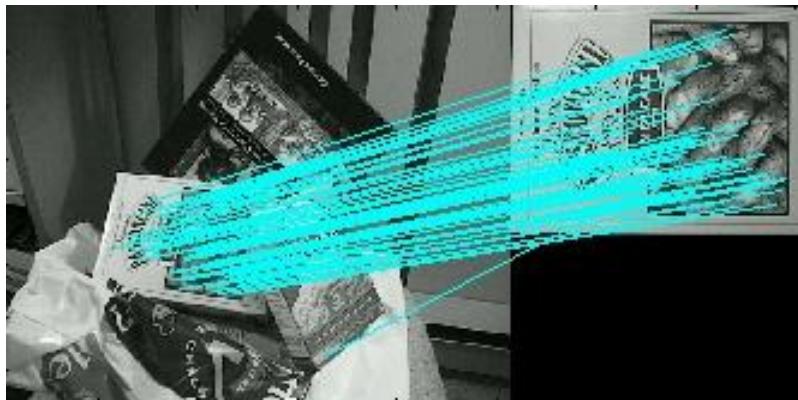
- ▶ Mesure de la position angulaire via un déphasage sur un réseau d'antenne (Bluetooth 5.1) :



- ▶ La précision dépend de l'erreur lié au réseau d'antenne

Localisation Indoor Vision

- ▶ Localisation visuelle (recherche de points caractéristiques dans une image):
 - ▶ Différents types de détecteur ORB,SIFT,SURF



- ▶ Appareillage des images soit entre elle pour connaître la trajectoire effectuée, soit par rapport à un passage précédent pour de la relocalisation.

Localisation Indoor Vision

- ▶ Cas spécifique de ORB SLAM:
 - ▶ Le détecteur ORB est relativement rapide par rapport aux autres détecteurs.
 - ▶ L'image est découpée en différant secteurs afin d'ajuster les seuils du détecteur au mieux en fonction des zones de l'images et avoir le maximum de points caractéristique sur toute l'image (amères).
- ▶ Caméra Intel T265 intégrant ORB SLAM :
 - ▶ <https://dev.intelrealsense.com/docs/intel-realsensetm-visual-slam-and-the-t265-tracking-camera>



Localisation Indoor

- ▶ Localisation Infra rouge:
 - ▶ D'une manière générale la localisation infra rouge est sensible à la lumière du soleil.

Localisation Indoor

- ▶ Localisation Infra rouge:
 - ▶ Kinect, occam vision, leap Motion



Localisation Indoor

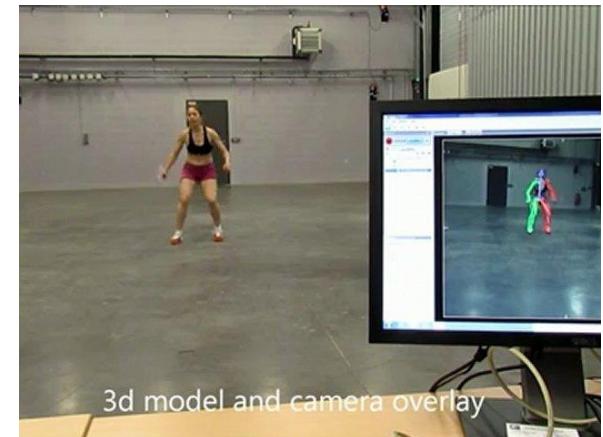
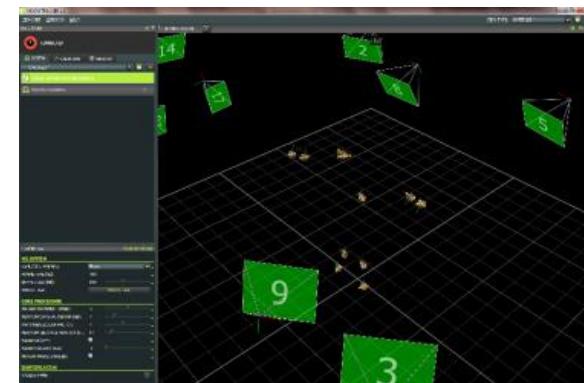
▶ Localisation Infra rouge:

- ▶ Caméra Time Of Fly
- ▶ Les caméras TOF illuminent la scène et les objets mesurés par un éclair de lumière, et calculent le temps que cet éclair prend pour effectuer le trajet entre l'objet et la caméra.



Localisation Indoor

- ▶ Localisation Infra rouge:
 - ▶ VICON

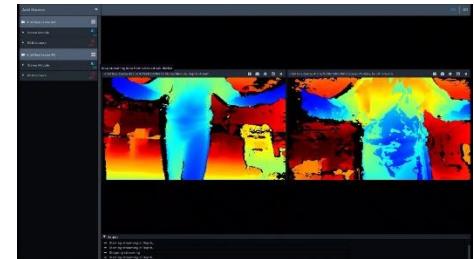


Localisation Indoor

- ▶ Localisation Infra rouge:
 - ▶ VICON
 - ▶ https://www.youtube.com/watch?v=PW5F1ly_gw4

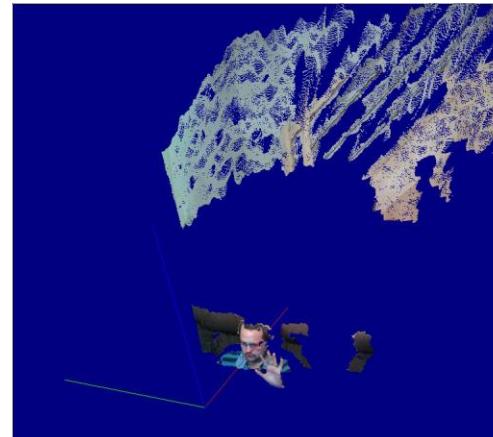


Caméras stéréos



▶ Caméras stéréos:

- ▶ Principe du différentiel d'image œil droit œil gauche pour avoir la profondeur.
- ▶ Bruit de profondeur important et une absence de mesure si peu de textures.

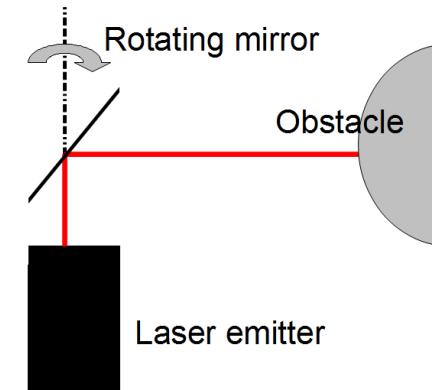


- ▶ Émission de points infra rouges en intérieur pour augmenter la texture :



Capteur Lidar

Hokuyo UTM-30lx



Caractéristiques

Angle de vue (270°)

Résolution angulaire (0,25° → 1081 raies)

Range max (30m, valeur -1 renvoyé en cas de distance trop importante)

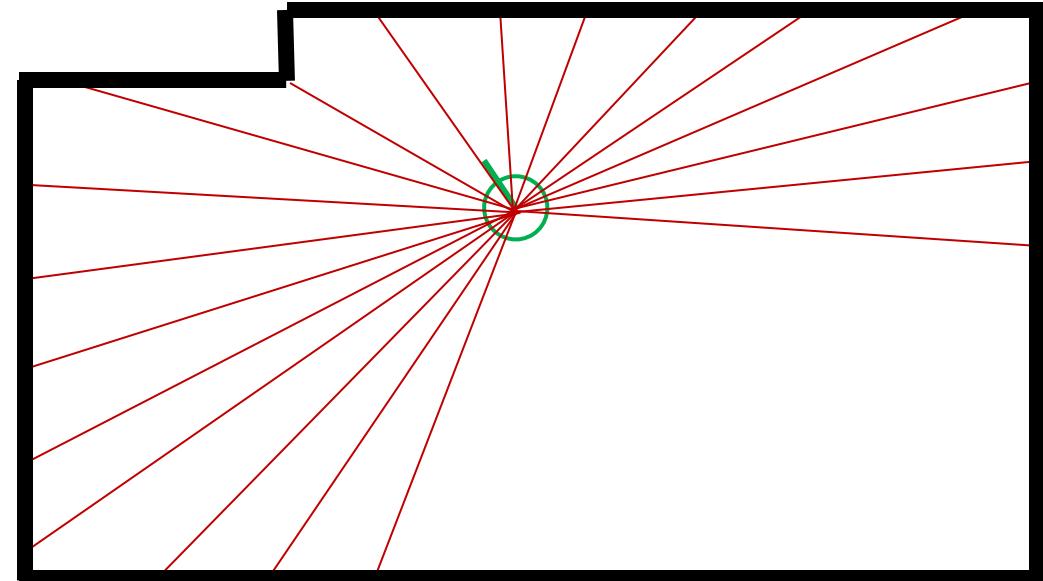
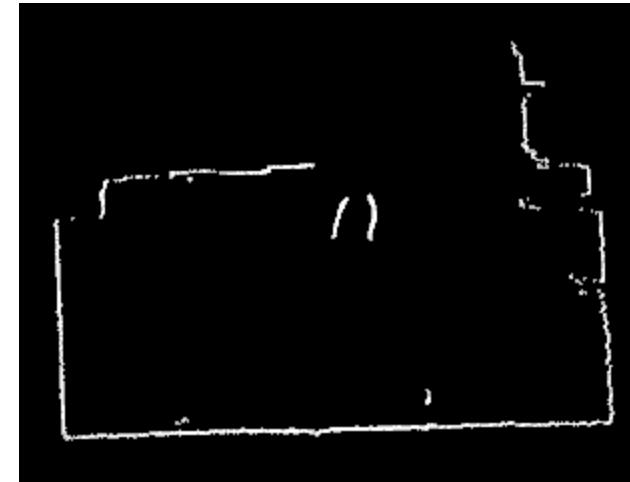
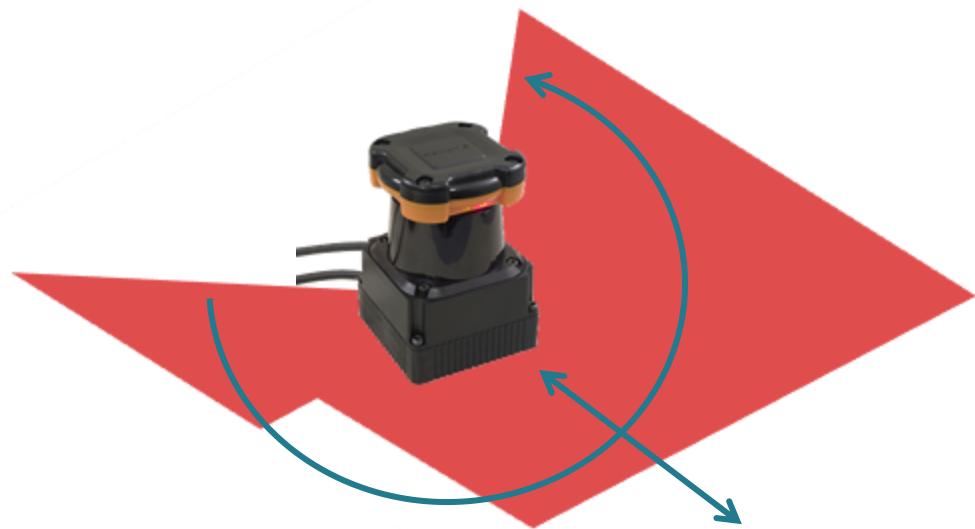
Précision distance (0,1 à 50mm en fct de la distance)

Fréquence rafraîchissement (40Hz)



Capteur Lidar

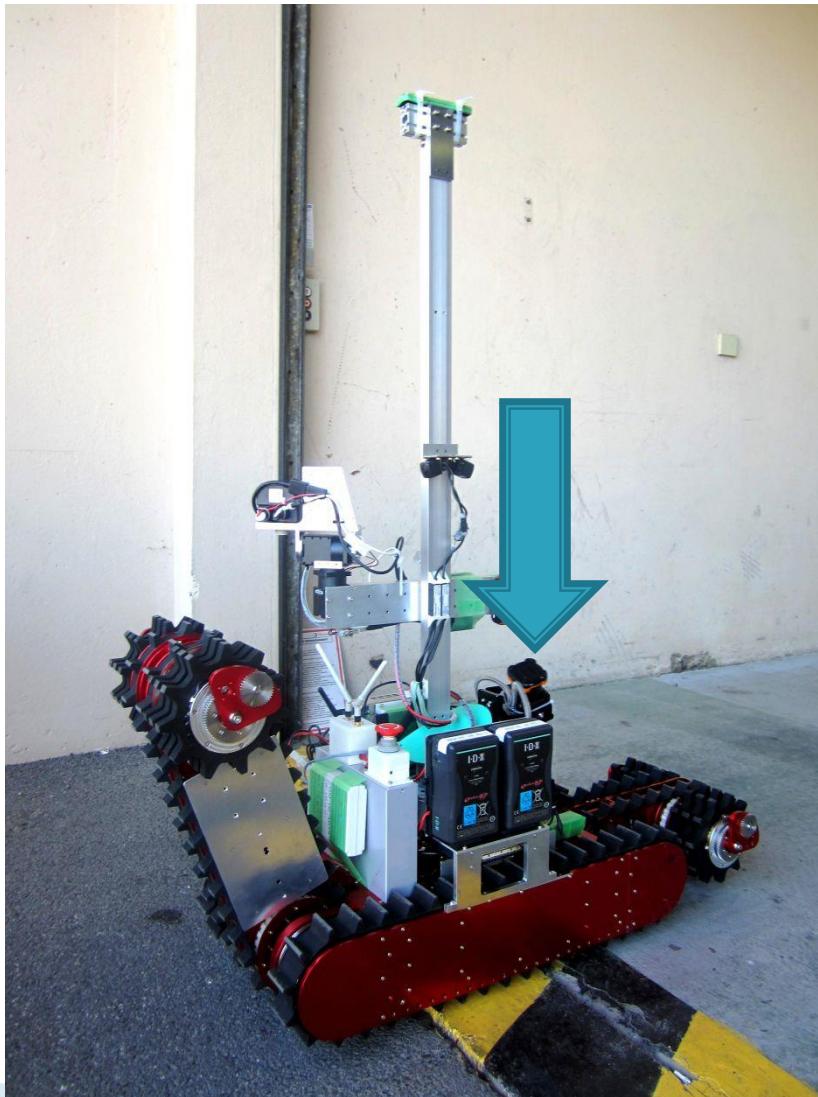
Hokuyo UTM-30lx



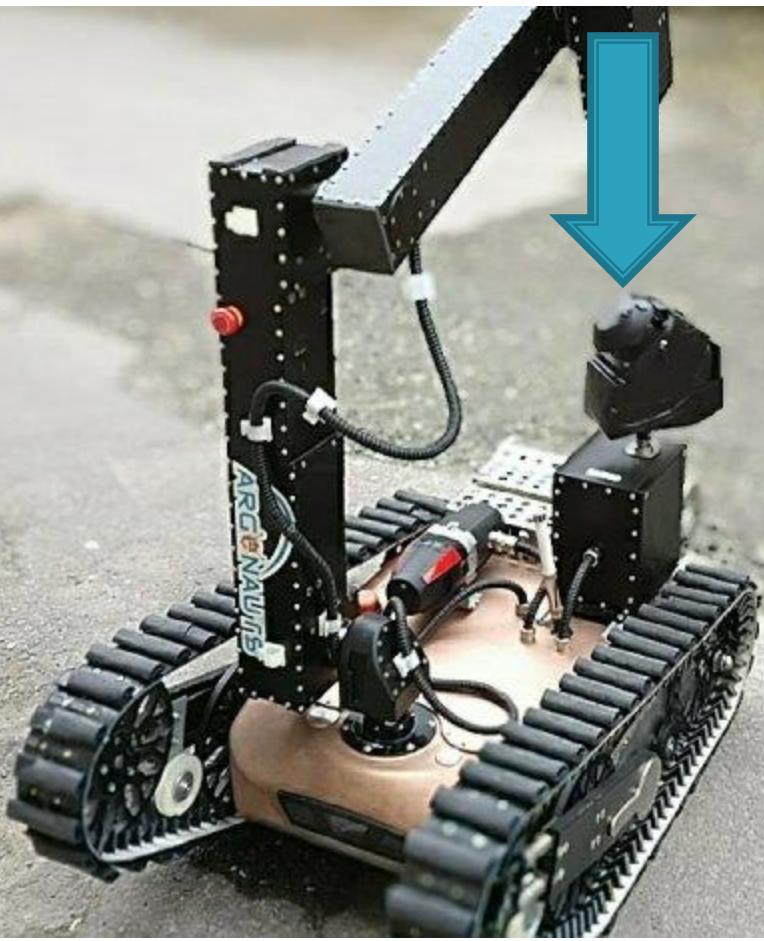
Capteur Lidar (FOXIRIS)



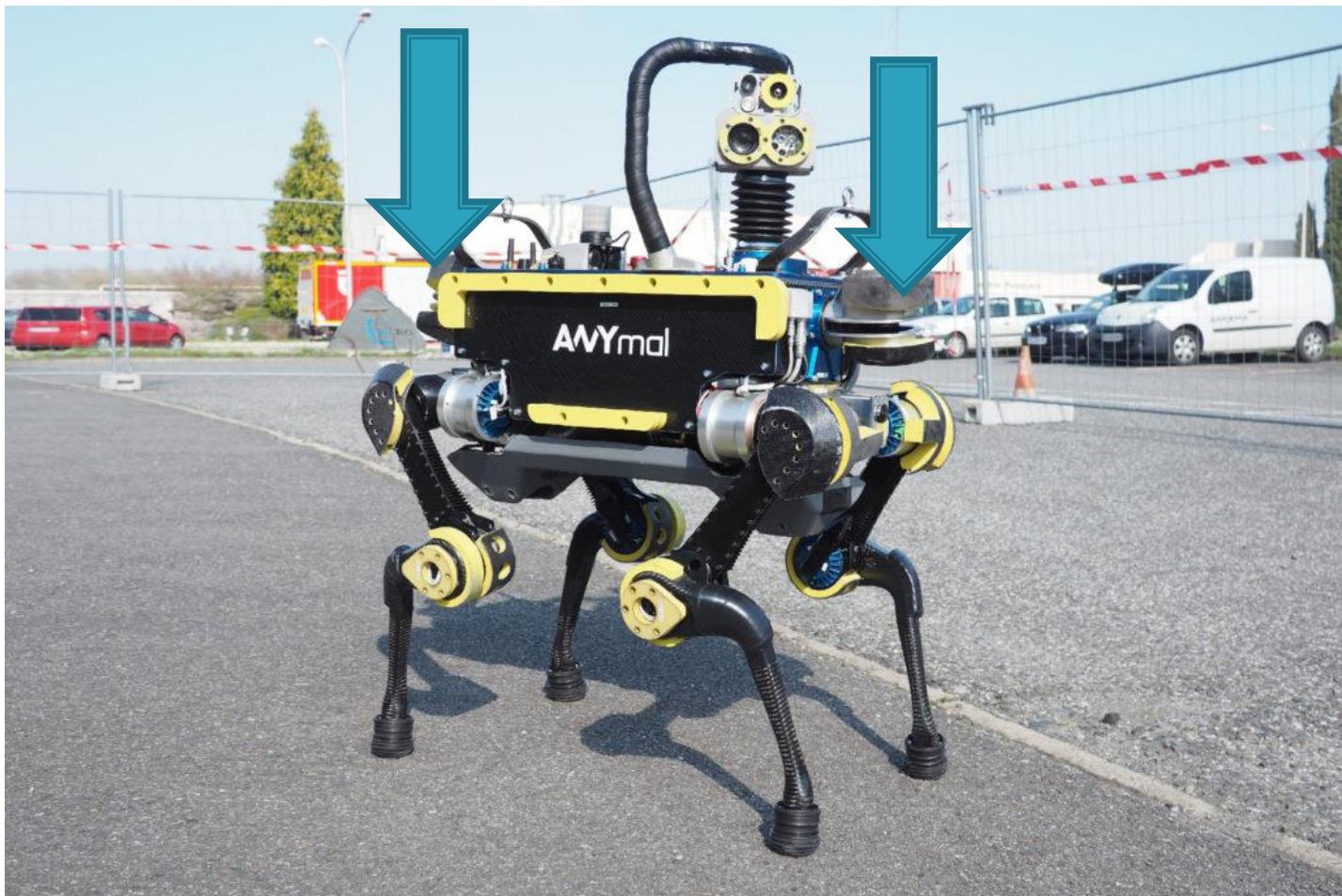
Capteur Lidar (AIR-K)



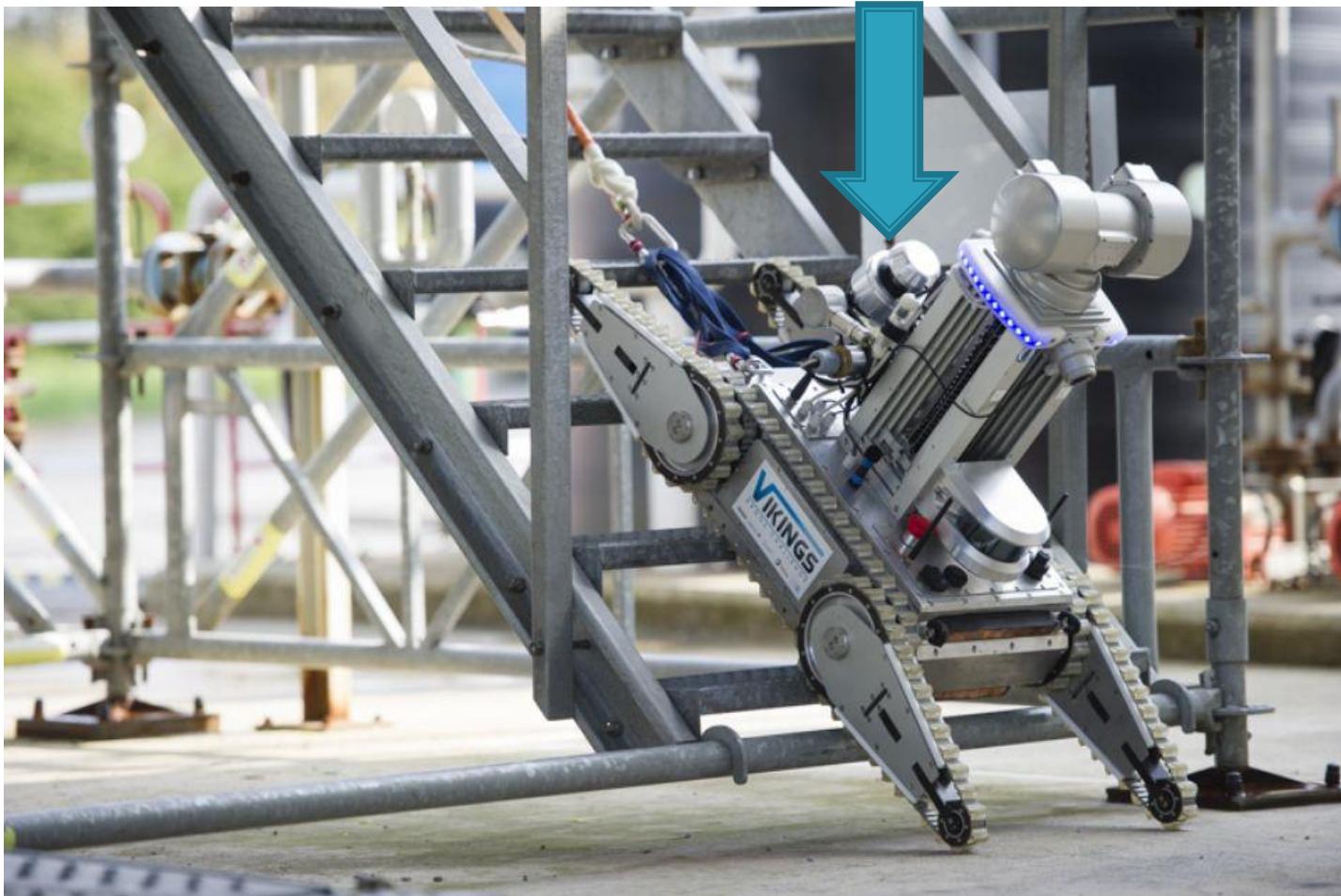
Capteur Lidar (ARGONAUTS)



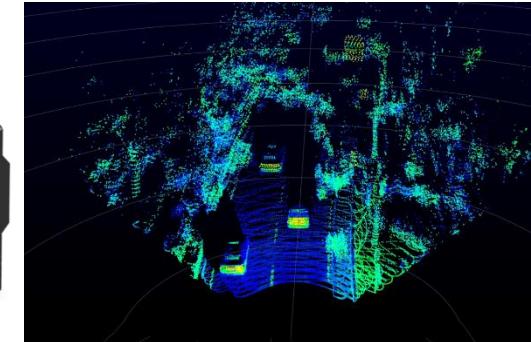
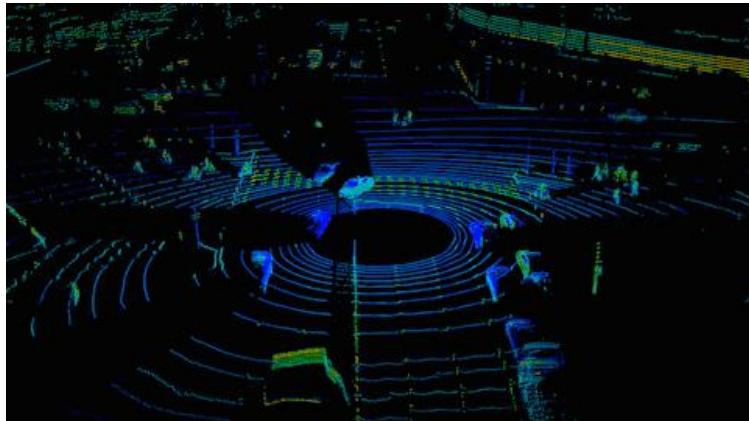
Capteur Lidar (LIO)



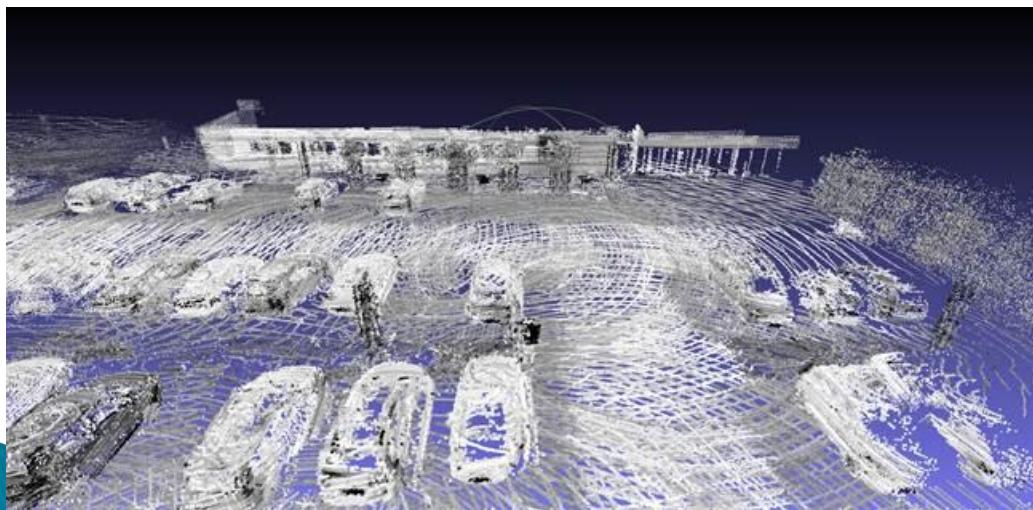
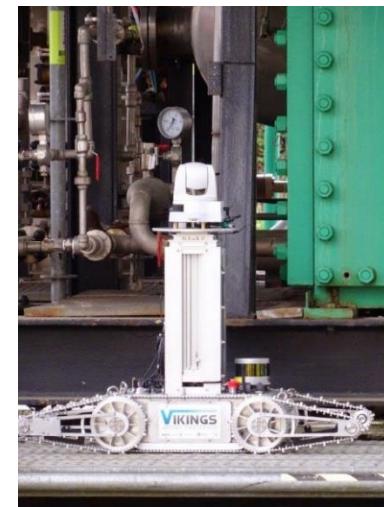
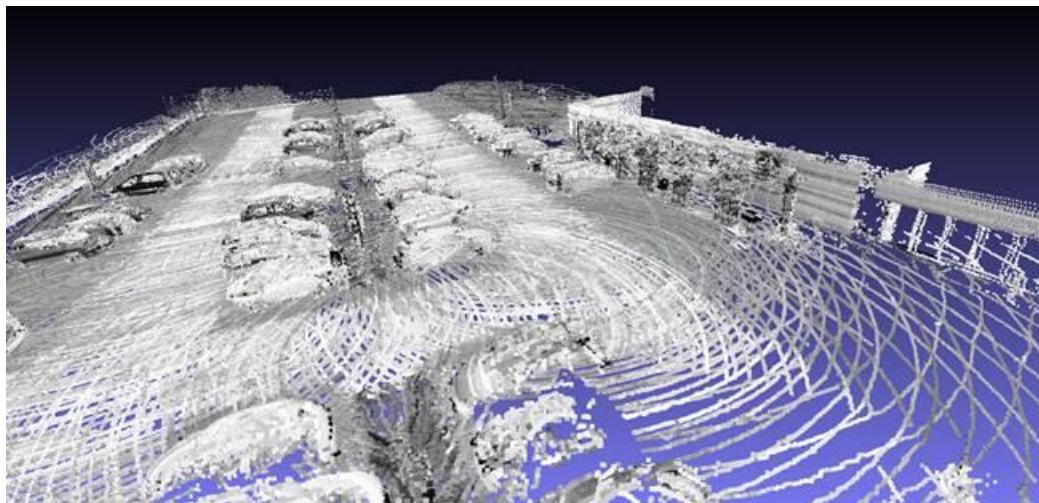
Capteur Lidar (VIKINGS)



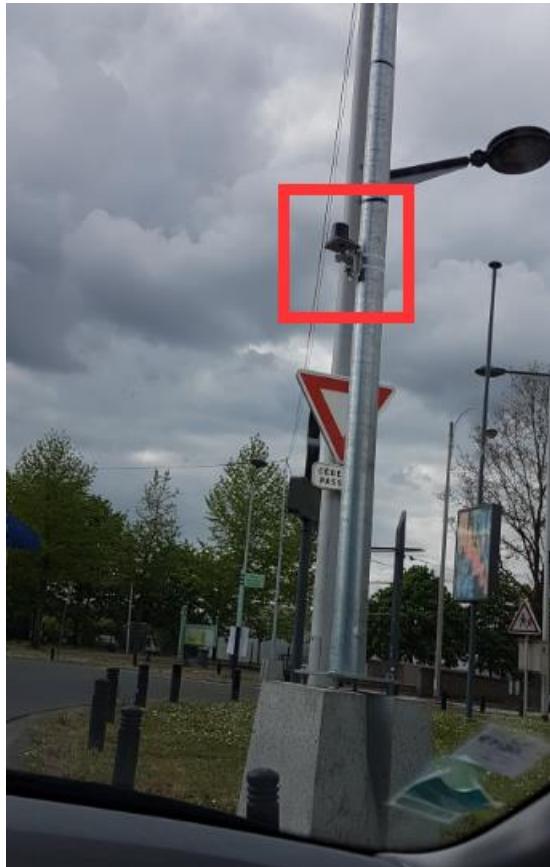
Capteur Lidar multi nappes



Capteur Lidar multi nappes



Capteur Lidar multi nappes



M8

Proven LiDAR powerhouse made and tested for 3D mapping, security and harsh industrial environments.

[Read more](#)



Capteur Lidar multi nappes

- ▶ Inconvénients:
 - Un volume de points important => temps de traitement important.
 - Absence d'information entre les nappes.
 - Besoin de compenser les mouvements du véhicule.

Capteur Lidar Flash (leddartech Pixell)

- ▶ Une matrice d'impact lidar (une couverture angulaire complète avec une ouverture de 2 degrés)



Capteur Lidar Flash (low cost)

- ▶ Intel realsense L515 (très sensible à la lumière ne fonctionne pas en extérieur):



- ▶ Sur certains téléphones (Iphone):



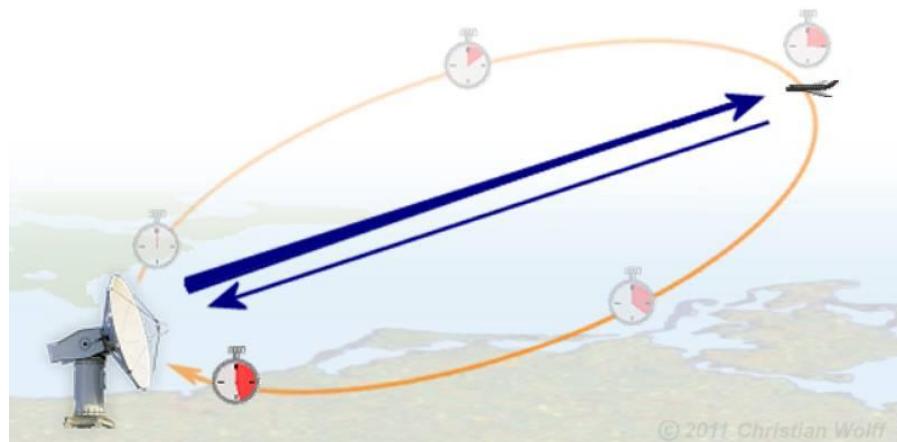
Capteur Radar

- ▶ Principe :

Capteur Radar

▶ Principe :

- Le **radar** émet une onde électromagnétique, sur une fréquence définie, et dans une direction prédefinie. Cette onde va rebondir sur un objet (sur la route, un véhicule). Ce reflet va alors revenir vers le **radar**, dans une fréquence légèrement différente.



Capteur Radar

- ▶ Peu sensible à la pluie et au brouillard, par contre sensible à environnement métalliques.
- ▶ Mauvaise résolution angulaire.



Localisation et fusion de données

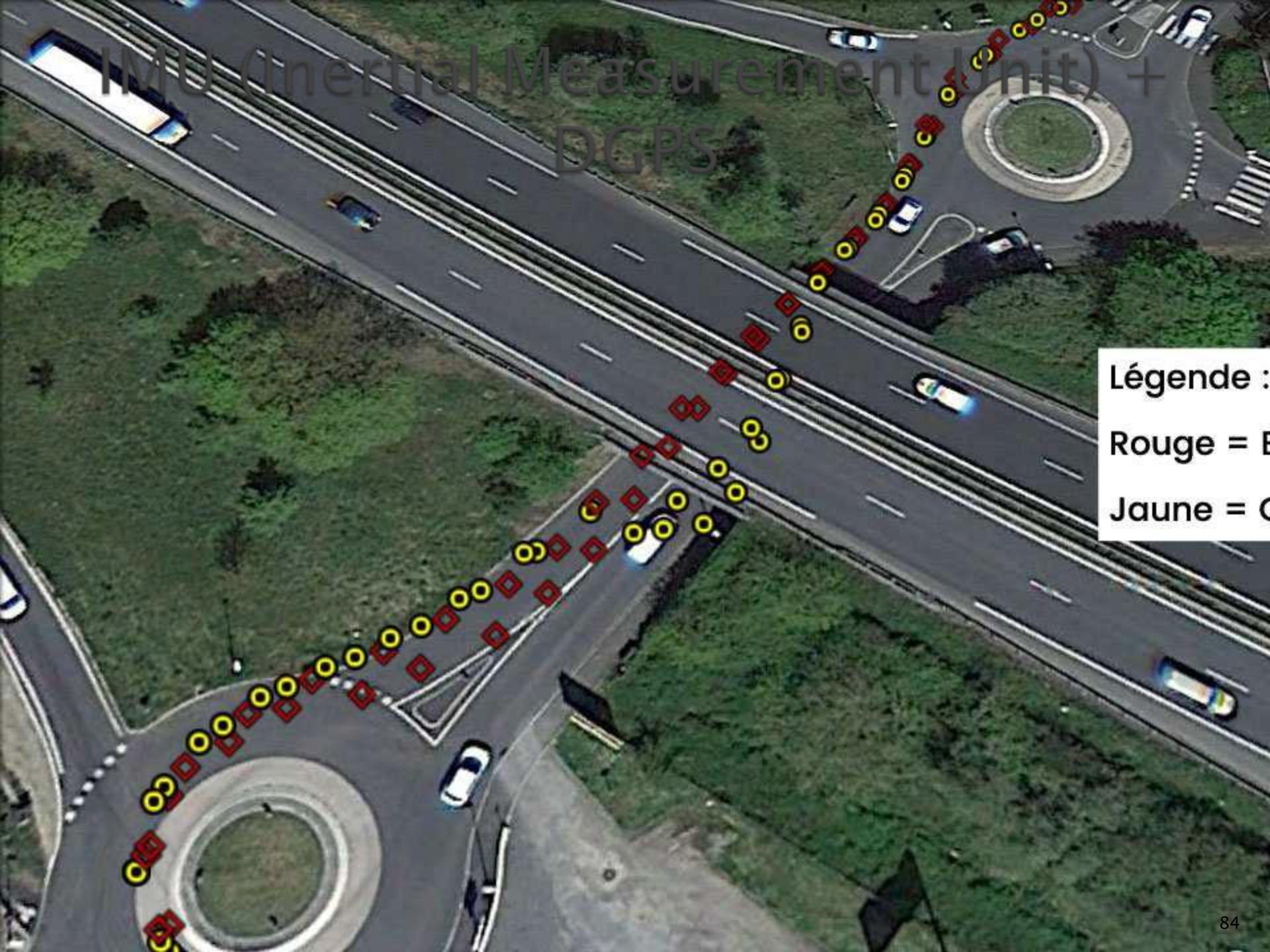
- ▶ Aucun capteur n'est parfait d'où l'intérêt de faire de la fusion de données.

IMU (Inertial Measurement Unit) + DGPS

- ▶ Fusion d'accéléromètres + gyromètres + magnétomètres + DGPS
 - ▶ Possibilité d'avoir les positions dans les 3 axes ainsi que les 3 rotations (angles d'Euler).
 - ▶ Le DGPS empêche la dérive de la centrale inertie.
 - ▶ La centrale inertie permet d'avoir des points à plus de 1Hz (20 m parcourue par seconde à 70km/h)
 - ▶ La centrale inertie permet également d'empêcher les sauts DGPS (basé sur un modèle de déplacement de véhicule)

IMU (Inertial Measurement Unit) +
DGPS

Légende :
Rouge = E
Jaune = O



IMU (Inertial Measurement Unit) + DGPS

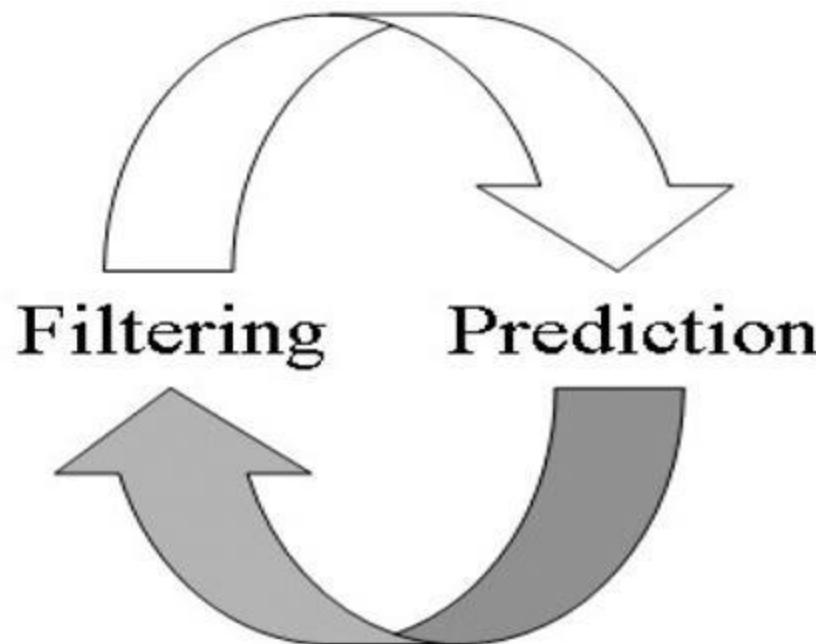
- ▶ Sur certaines IMU :
 - ▶ Possibilité d'avoir 2 antennes GPS pour avoir un cap sans bouger.
 - ▶ Possibilité d'utiliser de l'odométrie pour améliorer les déplacement et bien détecter que le véhicule ne bouge pas.
 - ▶ Possibilité d'utiliser un baromètre pour détecter les variations d'altitudes.

Fusion vision IR et accéléromètres

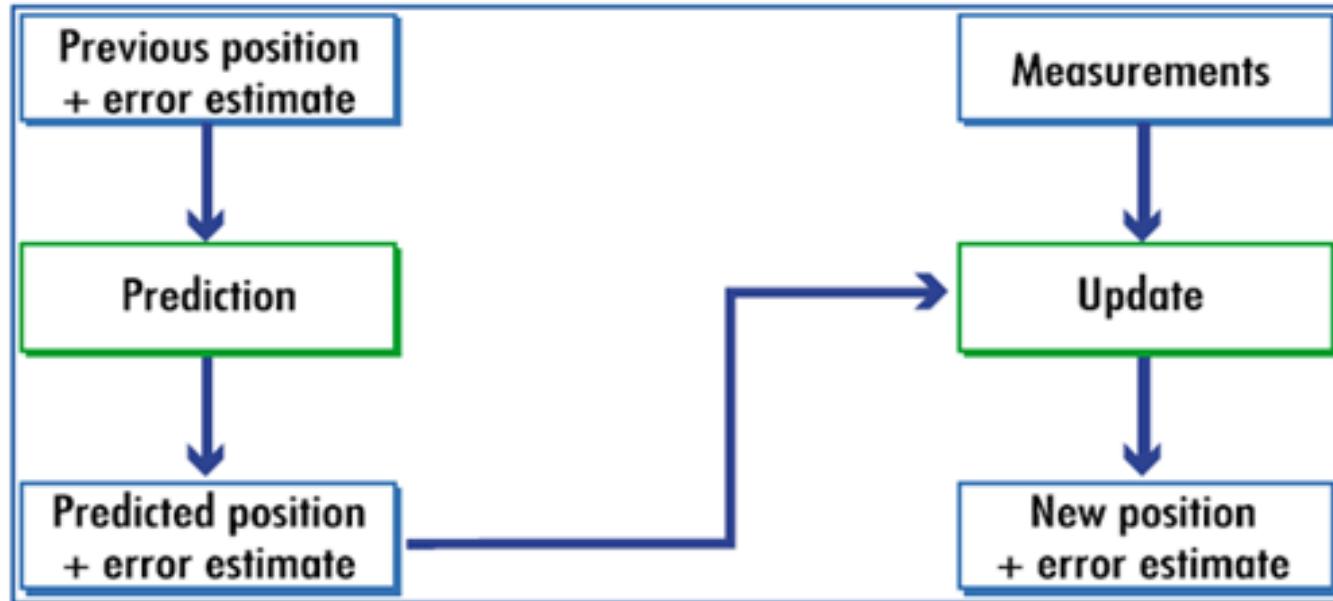
- ▶ Manette de la wii
- ▶ Fusion entre des accéléromètres, gyromètres et une caméra infra rouge



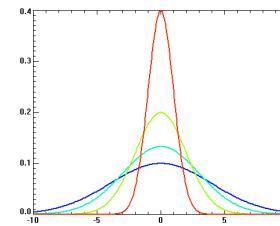
Filtre de Kallman



Filtre de Kallman



- ▶ Fonctionne bien sur des systèmes linéaires avec bruit gaussien.

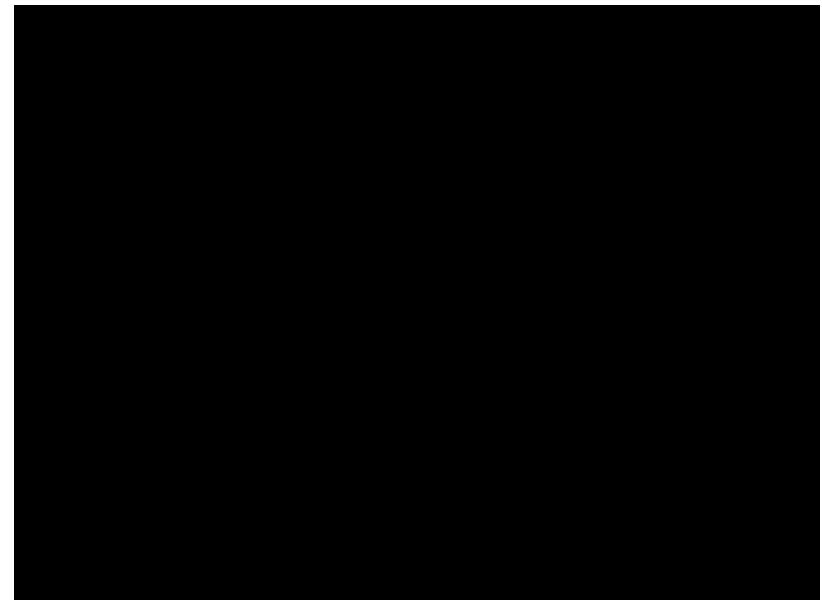
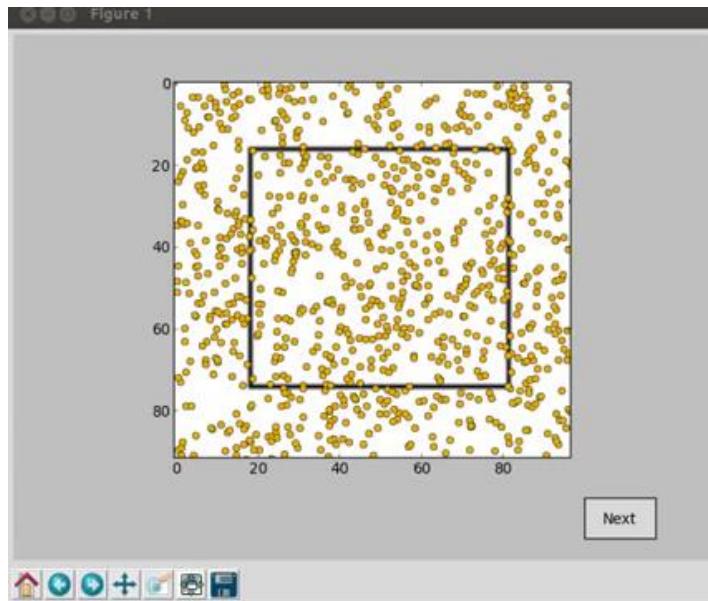


Filtre de Kallman étendu (EKF)

- ▶ Il s'agit d'une version non linéaire du filtre de Kallman qui fait de la linéarisation par morceaux.
- ▶ Site intéressant :
- ▶ <http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/04/exemple-utilisation-du-filtre-de-kalman/>

Filtrage particulaire

- ▶ Fonctionne sur des systèmes non linéaires.
- ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=Dge7GbQnael>
- ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=aUkBa1zMKv4>



Fusion = maitrise du temps

- ▶ Les retard des données capteurs varie en fonction du bus de communication (Sérié, CAN, Ethernet), il est donc nécessaire de synchroniser les données.

Fusion = maitrise du temps

- ▶ J'ai un véhicule tournant à 45 degrés/secondes avec un lidar ayant une erreur de synchronisation de 50ms et voyant un obstacle à 50m, qu'elle est l'erreur de positionnement possible pour l'objet ?

Objectif général du projet

- ▶ Piloter un véhicule pour suivre une trajectoire connue de la manière la plus souple possible tout en s'arrêtant et évitant les obstacles.

Comment faire un AD : Autonomous Driving

- ▶ Le but est de vous familiariser aux problématiques liées à la création d'un AD
- ▶ Sujet :
 - Vous êtes un opérateur de véhicule autonome chargé d'avoir des véhicules navigants de manière autonome sur des trajets connus autour de l'ESIGELEC

Comment faire un AD : Autonomous Driving

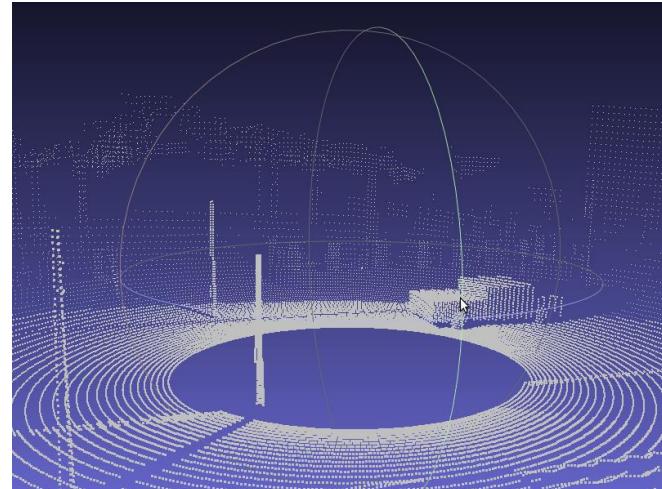
- ▶ Quels sont les paramètres qui vont influencer la vitesse longitudinale
 - La présence d'obstacle ou distance à l'obstacle
 - La vitesse maximale autorisée (dépend de la signalisation, des conditions météos, etc...).
 - L'agrément de conduite (accélération et décélération maximale autorisé)
 - La courbure de la trajectoire (on ralenti avant un virage pour éviter des accélérations latérales trop importantes)

Comment faire un AD : Autonomous Driving

- ▶ Quels sont les paramètres qui vont influencer la vitesse de rotations
 - La présence d'obstacle (vrai dans le cas d'un robot via un évitement d'obstacle type A*, mais difficile sur un véhicule)
 - L'erreur à la trajectoire :
 - L'angle d'erreur entre l'orientation du véhicule et le point à atteindre
 - La distance à la trajectoire également.

Matériel du projet

- ▶ Simulateur routier CARLA (0.9.11) avec Python

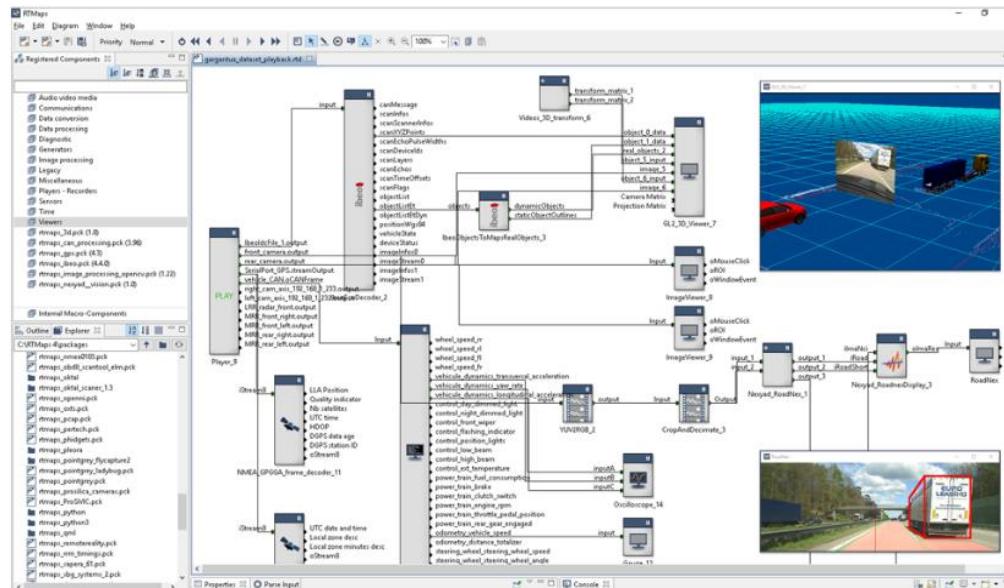


- ▶ Basé sur le moteur Unreal



Matériel du projet

RtMaps



Exercice 1 : convertir une trace GPS pour l'afficher sur une carte, puis la filtrer

- ▶ En python via anaconda
- ▶ Utiliser le module pynmea2 pour extraire les données GGA d'un fichier de position
- ▶ Utiliser le module python utm pour convertir en UTM
- ▶ Afficher la trajectoire.
- ▶ Faire la même chose pour une trajectoire IMU au format NMEA
- ▶ Expliquer les différences de trajectoires.
- ▶ Si vous avez le temps rajouter le décodage du temps.
- ▶ Calculer la fréquence des deux sources ainsi que les vitesses.

Fin de la première partie du cours

- ▶ Fichier d'installations :
- ▶ https://esigelec-my.sharepoint.com/:f/g/personal/vauchey_esigelec_fr/EqG0azrFG-JFsAmwr7A5bsEBjWiGxP3z7S6cBoCxWrWaTQ?e=unbADa
- ▶ Version courte :
 - shorturl.at/bAHT8

