

# Véhicules intelligents et aides à la conduite avancées

Ph. Bonnifait

Heudiasyc UMR7253 CNRS  
Université de Technologie de  
Compiègne

# Google autonomous car

## Autonomous Driving

Google's modified Toyota Prius uses an array of sensors to navigate public roads without a human driver. Other components, not shown, include a GPS receiver and an inertial motion sensor.

### LIDAR

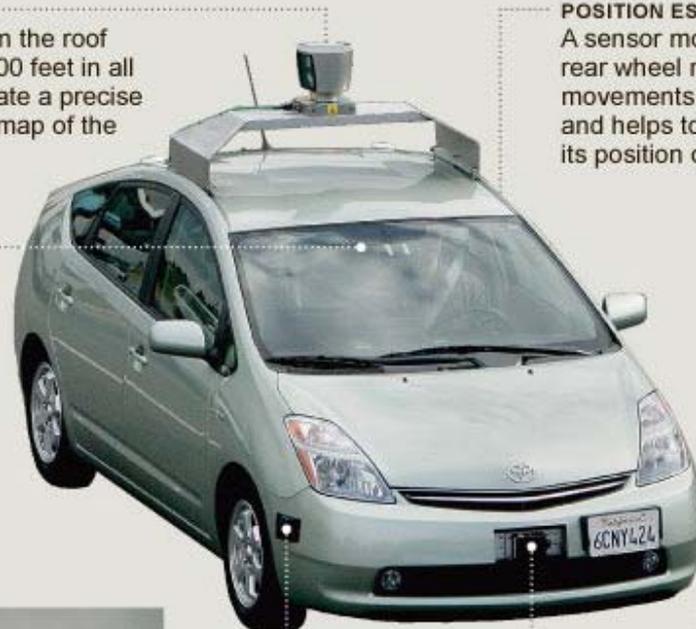
A rotating sensor on the roof scans more than 200 feet in all directions to generate a precise three-dimensional map of the car's surroundings.

### POSITION ESTIMATOR

A sensor mounted on the left rear wheel measures small movements made by the car and helps to accurately locate its position on the map.

### VIDEO CAMERA

A camera mounted near the rear-view mirror detects traffic lights and helps the car's onboard computers recognize moving obstacles like pedestrians and bicyclists.



### RADAR

Four standard automotive radar sensors, three in front and one in the rear, help determine the positions of distant objects.

Source: Google

THE NEW YORK TIMES; PHOTOGRAPHS BY RAMIN RAHMIAN FOR THE NEW YORK TIMES

450 000 Km en mode autonome.

Possibilité de rouler sur route au Nevada (USA) depuis juin 2009 <sup>2</sup>

# Bénéfices annoncés

- Fewer traffic collisions, increased reliability and decreased reaction time compared to human drivers.
- Increased roadway capacity and reduced traffic congestion due to reduced need for safety gaps and the ability to better manage traffic flow.
- Improved fuel efficiency.
- Higher speed limit for autonomous cars
- In an autonomous car, it would not matter if the occupants were under age, over age, blind, distracted etc
- Cars could drop off passengers, park far away where space is not scarce, and return as needed to pick up passengers.
- Reduction of space required for vehicle parking.
- Reduction of physical road signage – autonomous cars could receive necessary communication electronically (although physical signs may still be required for any human drivers).
- Elimination of redundant passengers (taxi driver)
- Reduction in the need for traffic police and vehicle insurance.

# Plan de l'exposé

- Le Véhicule intelligent
- Les systèmes ADAS
- Navigation robotique
  - Localisation
  - Localisation sur carte
  - Perception de l'environnement

# Les recherches en véhicule intelligent à l'UTC

- First European project Prometheus (1990).
- Since then: regular collaborations and projects with National and European laboratories.



# Expérimentations avec des véhicules intelligents

- Etude de systèmes ADAS ou de véhicules autonomes en coopération
  - Avec un conducteur derrière le volant
  - En mode autonome pour la recharge du véhicule
- Sur
  - Circuit ouvert avec pilote certifié pour expérimenter de nouveaux modes de conduite
  - Circuit propre

# Carmen



# Dyna



Test-bed vehicle



Simulator

# IRIS

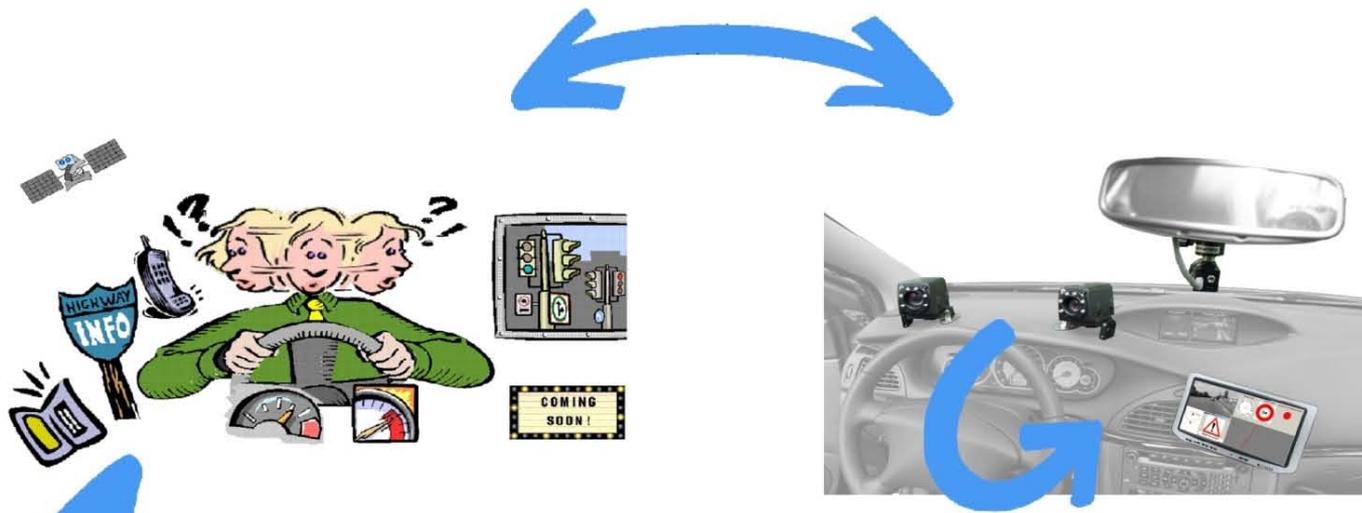


- Achat Janvier 2012
- Motorisation électrique avec batterie modulaire

# Véhicules intelligents

## Automatique et systèmes

- Les véhicules intelligents sont des véhicules qui peuvent accomplir des tâches d'aide à la conduite ou de navigation autonome dans un environnement contraint et dynamique.



### **An Intelligent vehicle**

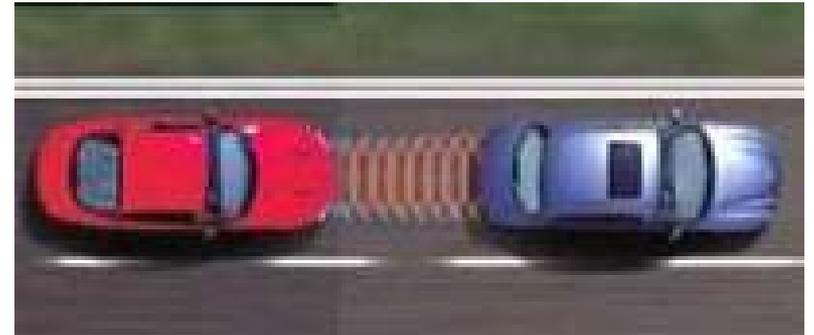
- *Observes the environment and the driver behaviour*
- *Monitors itself*
- *Controls itself autonomously*
- *Informs the driver*
- *Cooperates with other vehicles*



# ADAS

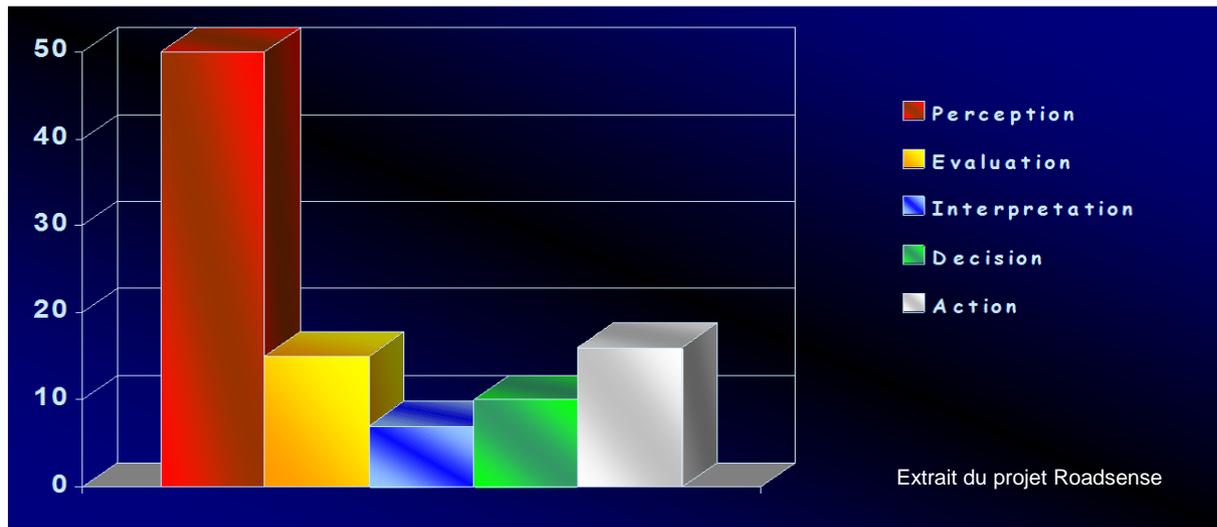
## Advanced Driver Assistance Systems

# ADAS



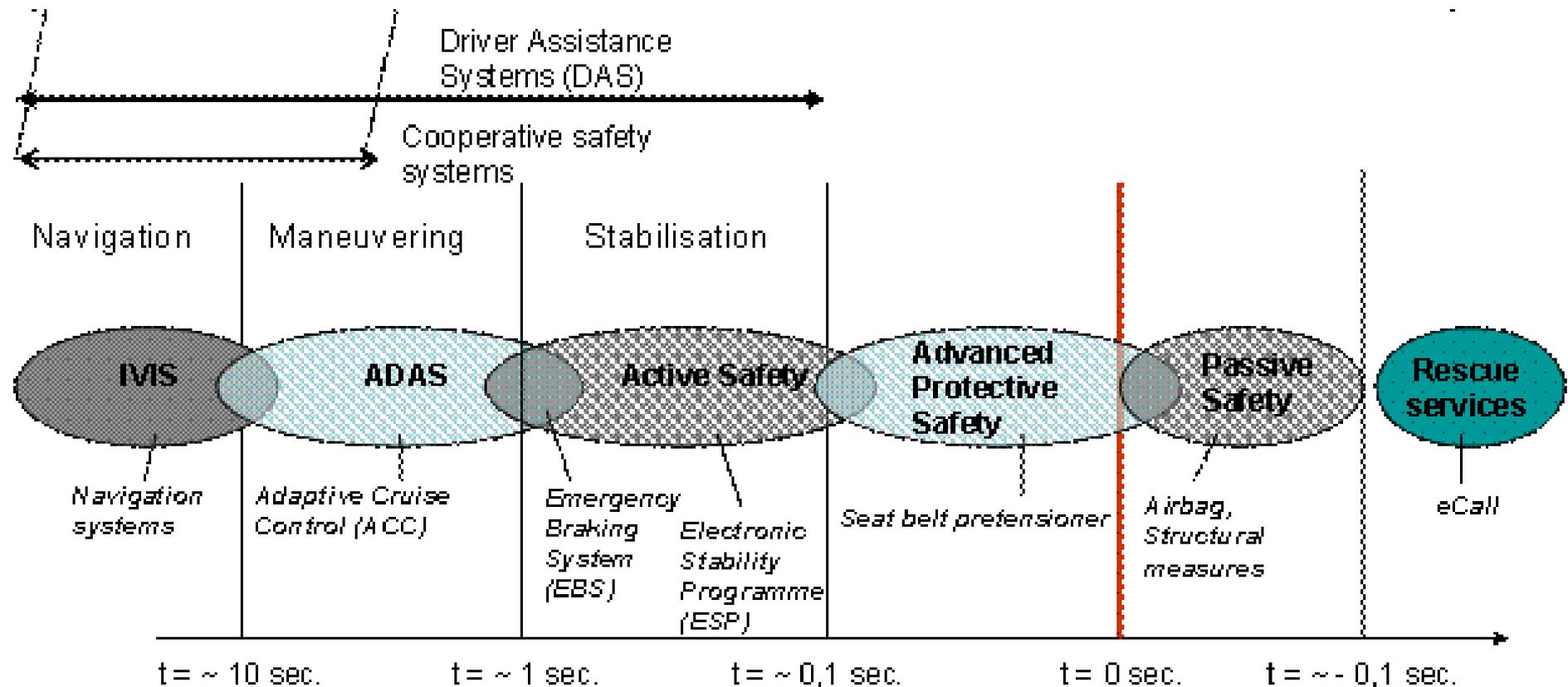
# Activité de conduite

- Navigation
- Perception/évaluation
- Interprétation
- Décision
- Actions (régulation longitudinale, latérale)



Constat

# Classification des systèmes



IVIS = In-vehicle Information Systems, ADAS = Advanced Driver Assistance Systems

# Exemples de technologies avancées d'aide à la conduite

ADAS

Sortie de  
voie

Prévention  
de virage

Conseil de  
vitesse

ACC

Vision de nuit

Phares  
intelligents

Alertes inter-  
véhicules

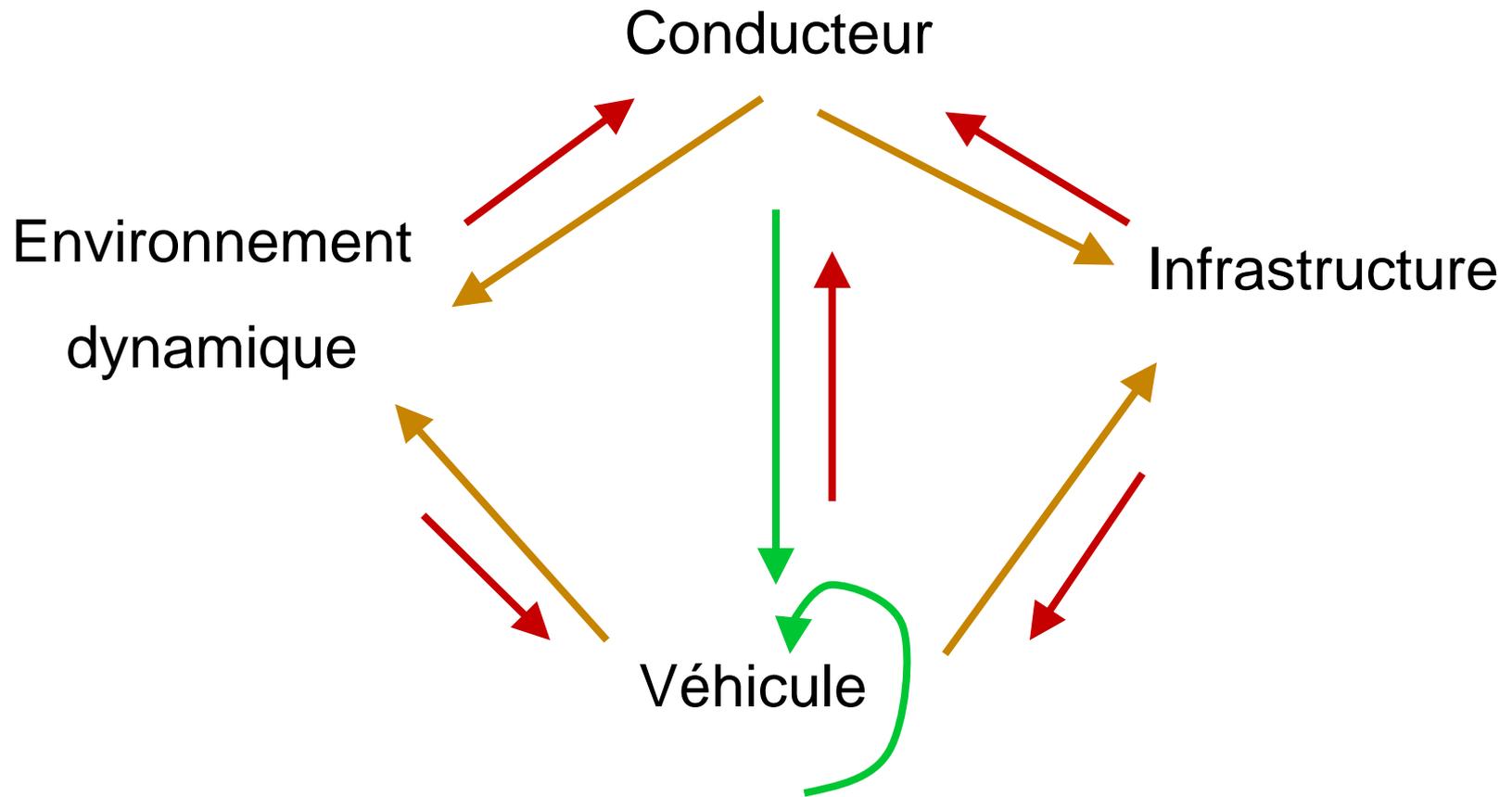
Détection  
de piéton

Info

Navigation  
guidage

Info trafic

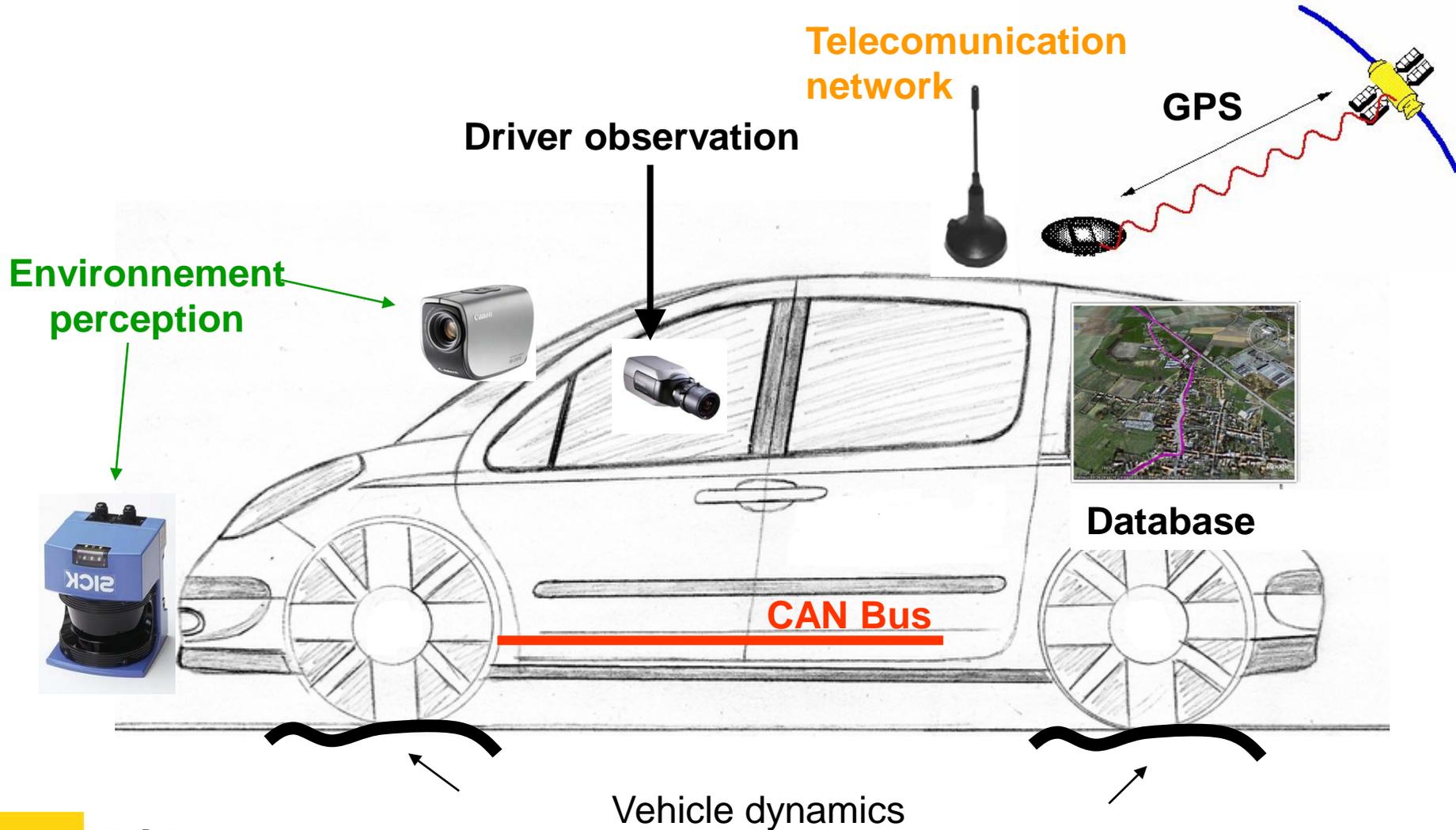
# Assistance à la conduite



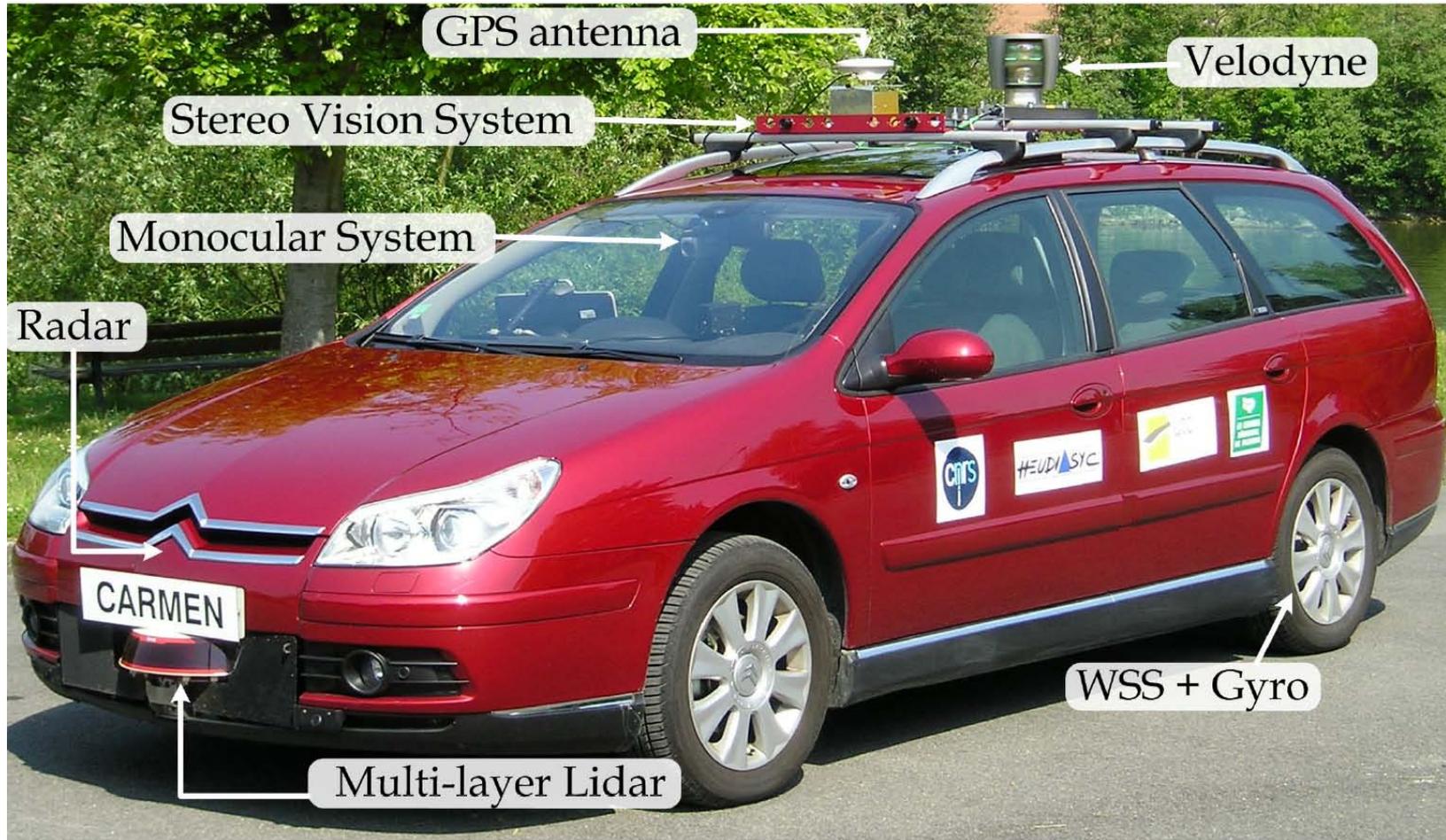
# Problématique

- Parmi les nombreuses fonctionnalités nécessaires à la navigation, les fonctions de perception et de localisation sont des étapes clefs qui doivent notamment faire face à de nombreuses sources d'incertitude.
- Fonctions élémentaires. Le véhicule doit
  - se localiser sur une carte
  - localiser les autres objets (véhicules, vulnérables)
  - caractériser son environnement et améliorer sa carte le cas échéant.

# Information sources



# Instrumentation Carmen

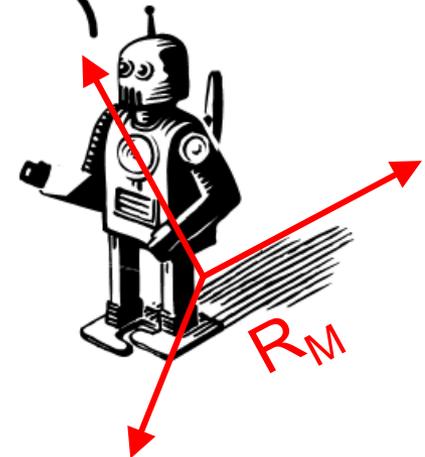
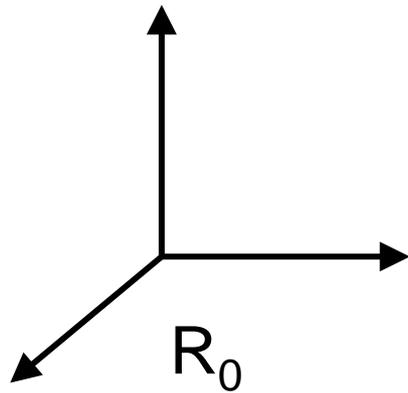


# Localisation absolue

Objectif

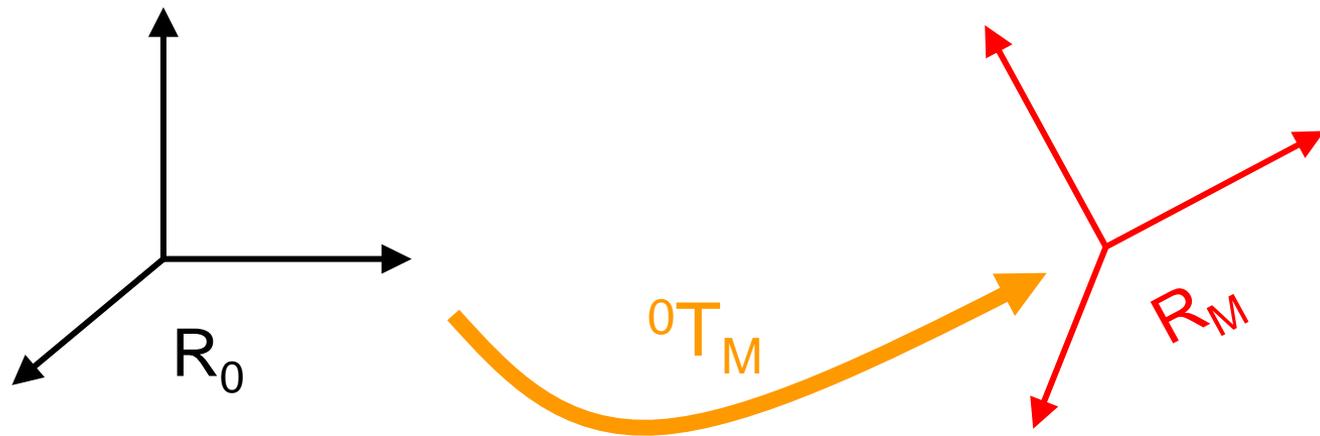


Oui suis-je ?



# Localisation absolue

- Action de positionner par rapport à une référence



Localisation dynamique : localiser à un instant discret un mobile en mouvement

# Pose

- Appelée aussi “posture”
- Position et attitude
- Exemple en 2D,
  - Deux coordonnées (x,y)
  - Un angle de cap ( $\theta$ )

# Systeme de Référence Géodésique

- 3 éléments
  - repère géodésique cartésien attaché au globe terrestre,
  - ellipsoïde géodésique représentant « au mieux » la surface terrestre,
  - système de coordonnées et d'unités.

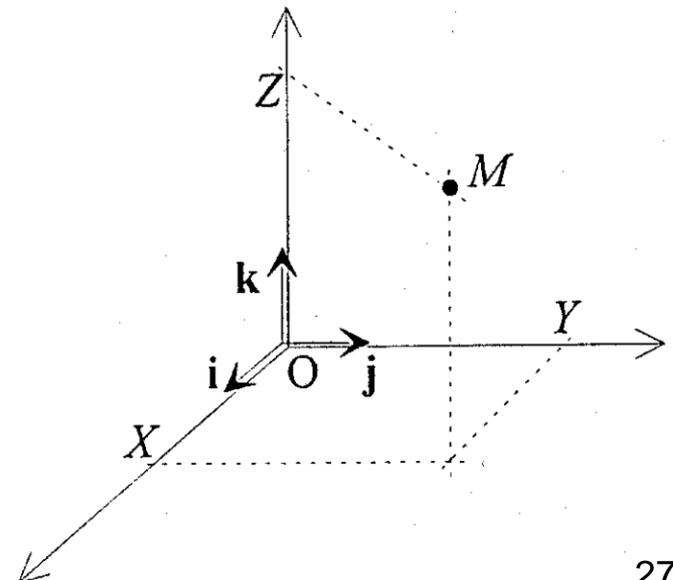


# Repère géodésique cartésien

- $O$  proche du centre des masses de la terre,
- $(i, j, k)$  base orthogonale,
- $(O; k)$  proche de l'axe des pôles,
- $(O; i, k)$  proche du méridien de Greenwich
- $j$  tel que  $(i, j, k)$  directe

On appelle généralement ce repère ECEF

Earth Centered, Earth Fixed

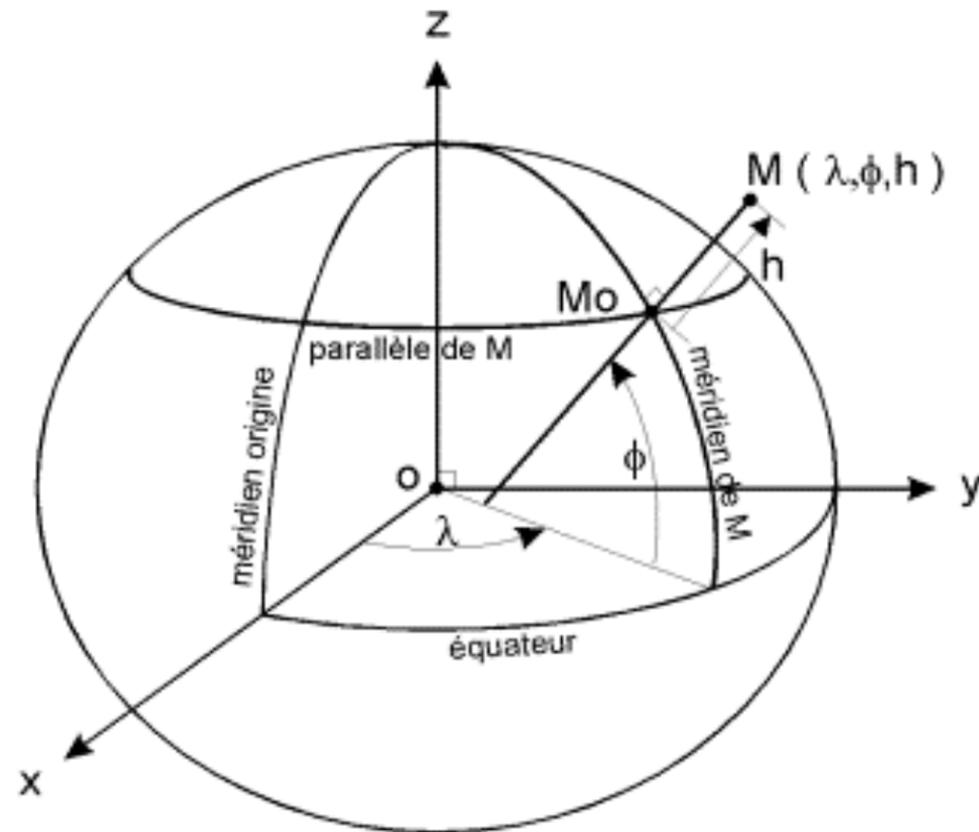


# Ellipsoïde géodésique

- Surface mathématique approchant au mieux la surface de la terre
- Ellipsoïde de révolution aplati centré sur l'origine du repère et défini par
  - ses demi-axes  $a$  et  $b$
  - ou  $a$  et son aplatissement  $(1/f)$
  - ou par  $a$  et son excentricité.

# Coordonnées géographiques

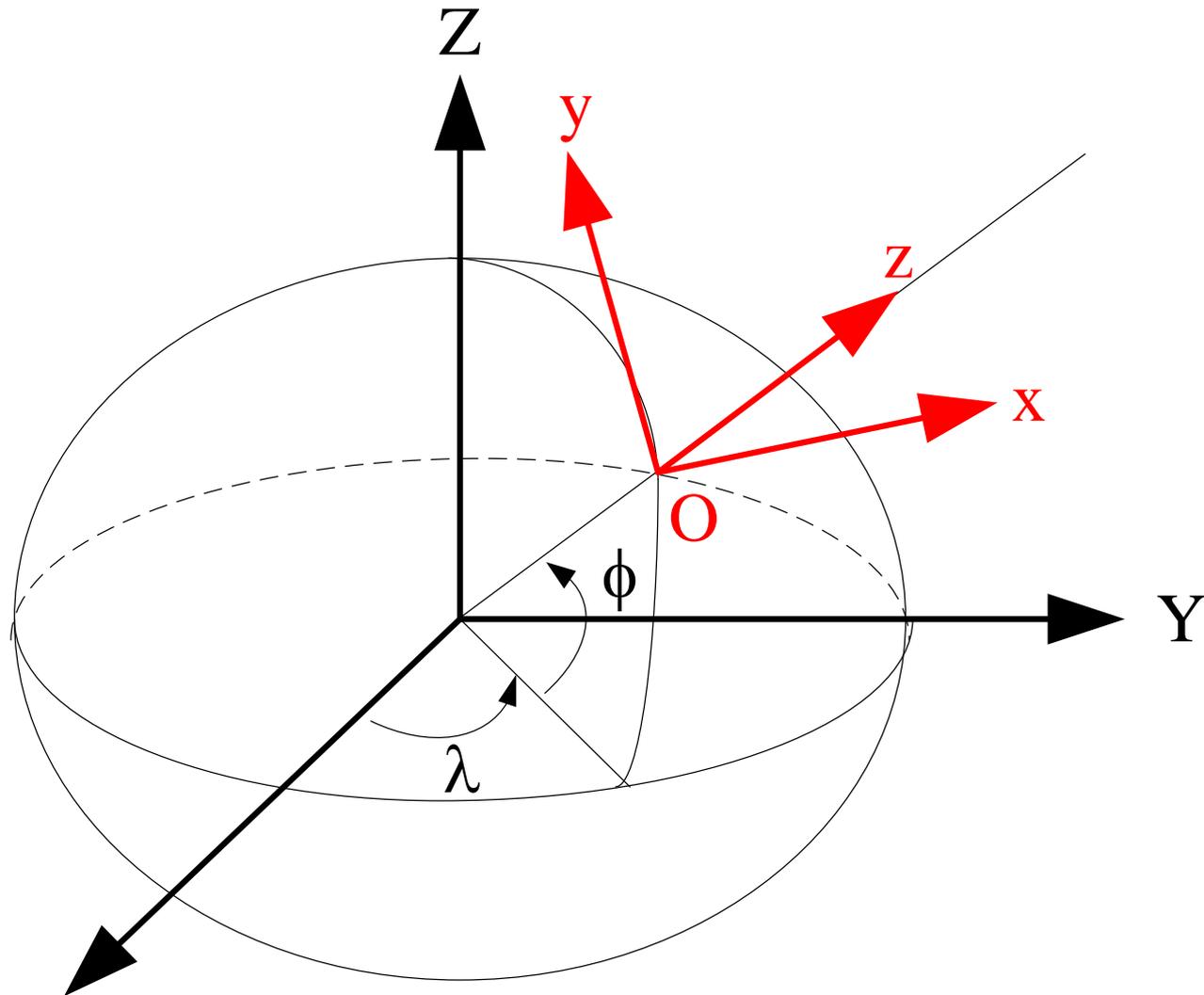
- longitude, latitude
  - (en degrés)
- hauteur ellipsoïdale
  - (en mètres)



# Définition d'un repère local par rapport à l'ellipsoïde

- On considère un véhicule se déplaçant à la surface de la terre.
- Pour faciliter les calculs de localisation et de navigation, on définit le repère navigation tangent à la terre
  - Origine proche de la zone de travail avec une altitude idéalement nulle pour que le point se trouve au sol.
  - Son axe des abscisses est parallèle à l'est (East)
  - Son axe des ordonnées est parallèle au nord géographique (North)
  - Son axe z est orienté vers le haut (Up).

# Repère de navigation $R_0$



# Composants pour la localisation d'automobile

- Carte navigable
- GPS
- Capteurs de localisation à l'estime
- Capteurs extéroceptifs

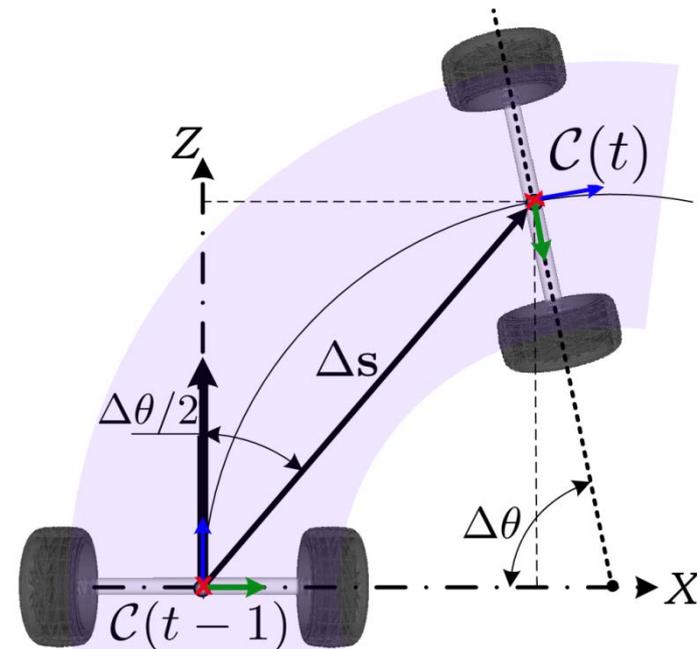
# Capteurs proprioceptifs

# Capteurs proprioceptifs

- Odomètres,
- Gyromètre,
- Accéléromètres,
- Centrales inertielle,
- Compas.

# Localisation à l'estime

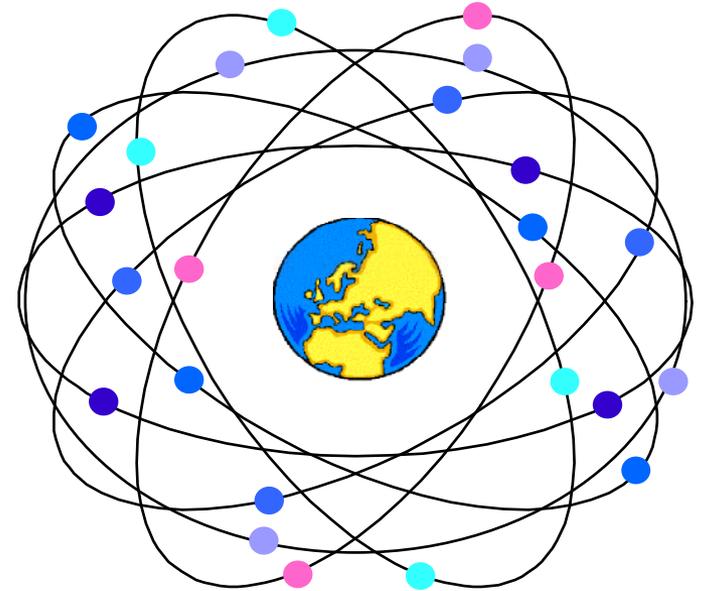
- Utilisation de modèles pour intégrer des données proprioceptives depuis une pose connue
- 👍 Bonne dynamique
- 👎 Dérive



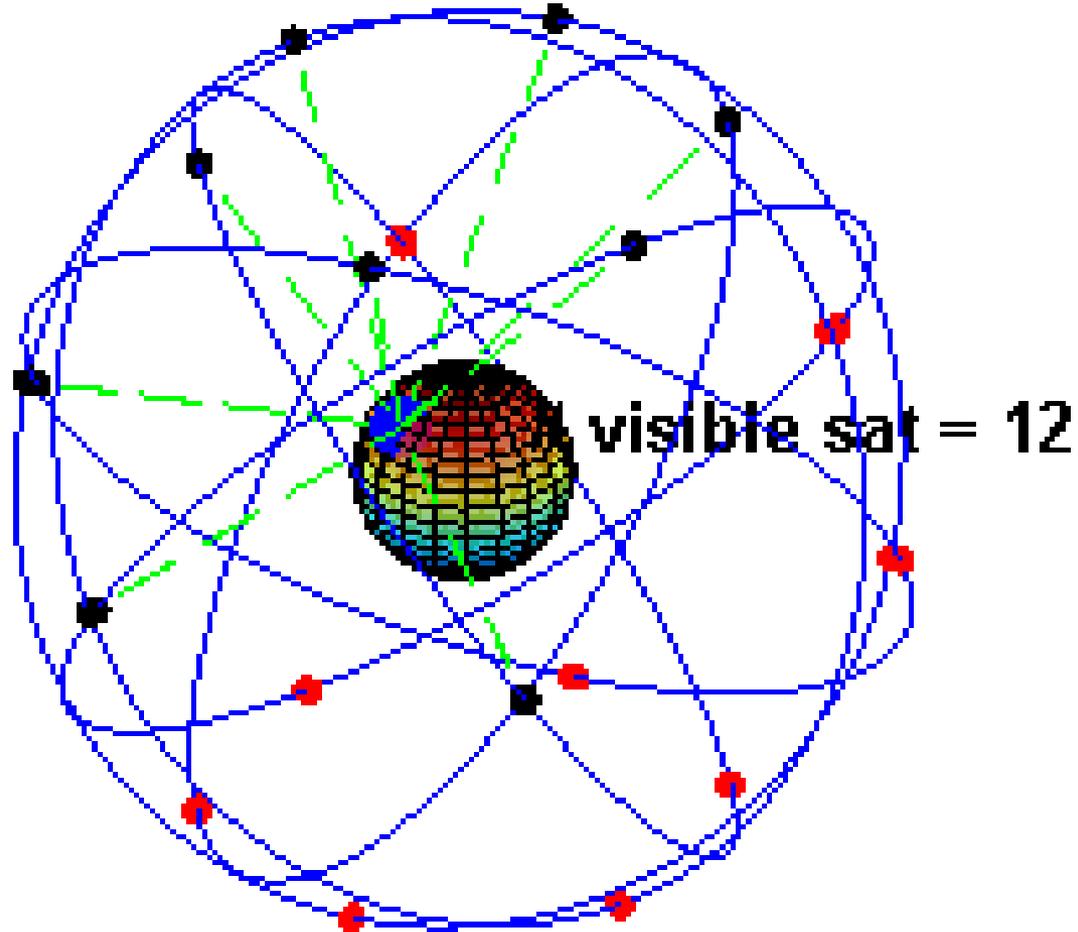
# Technologie GPS

# Le GPS

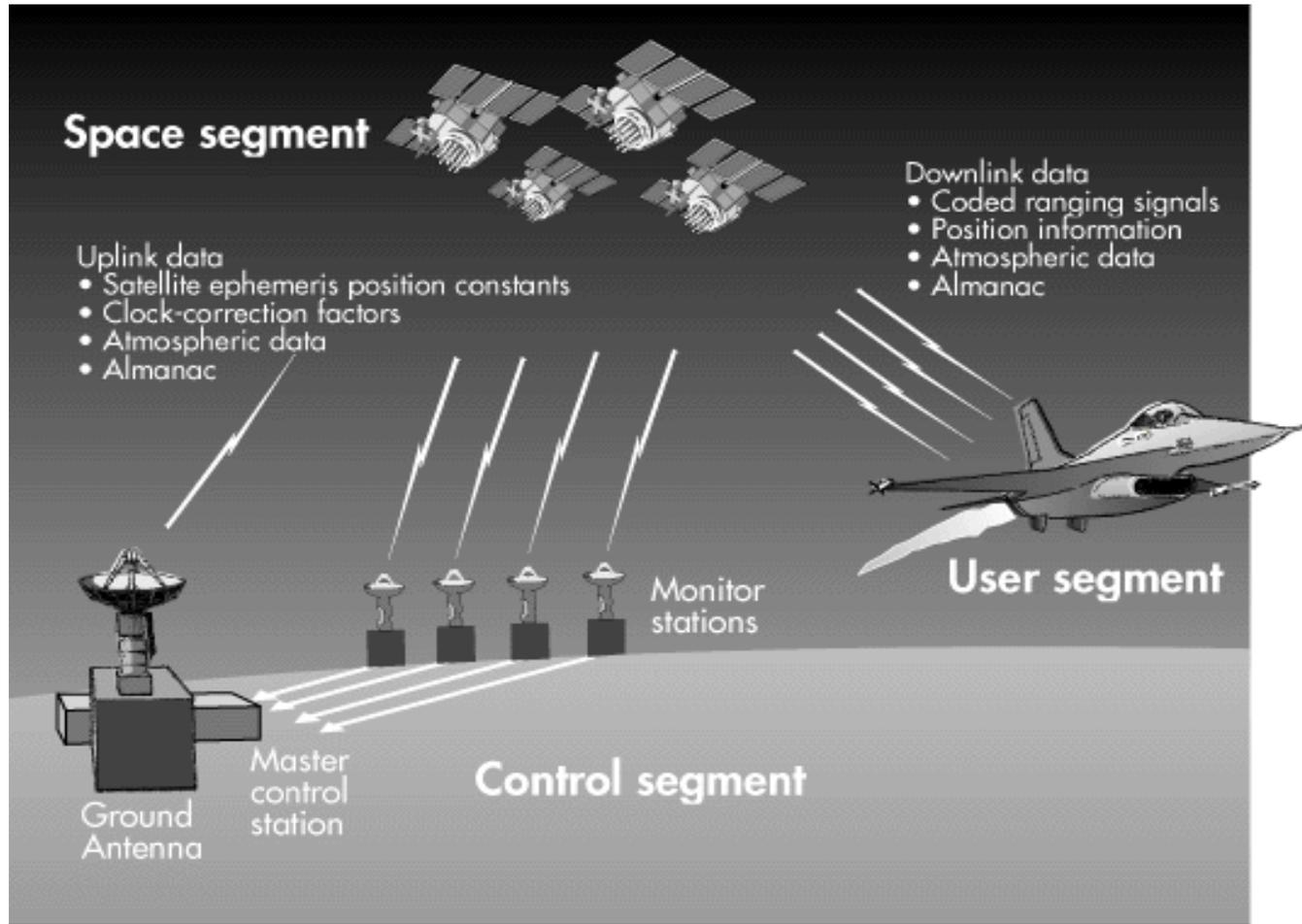
- Capteur de temps
- Capteur de position
  - Il faut au moins 4 satellites visibles
    - bonne configuration géométrique (DOP)
    - Bon rapport signal/bruit



# Une petite animation



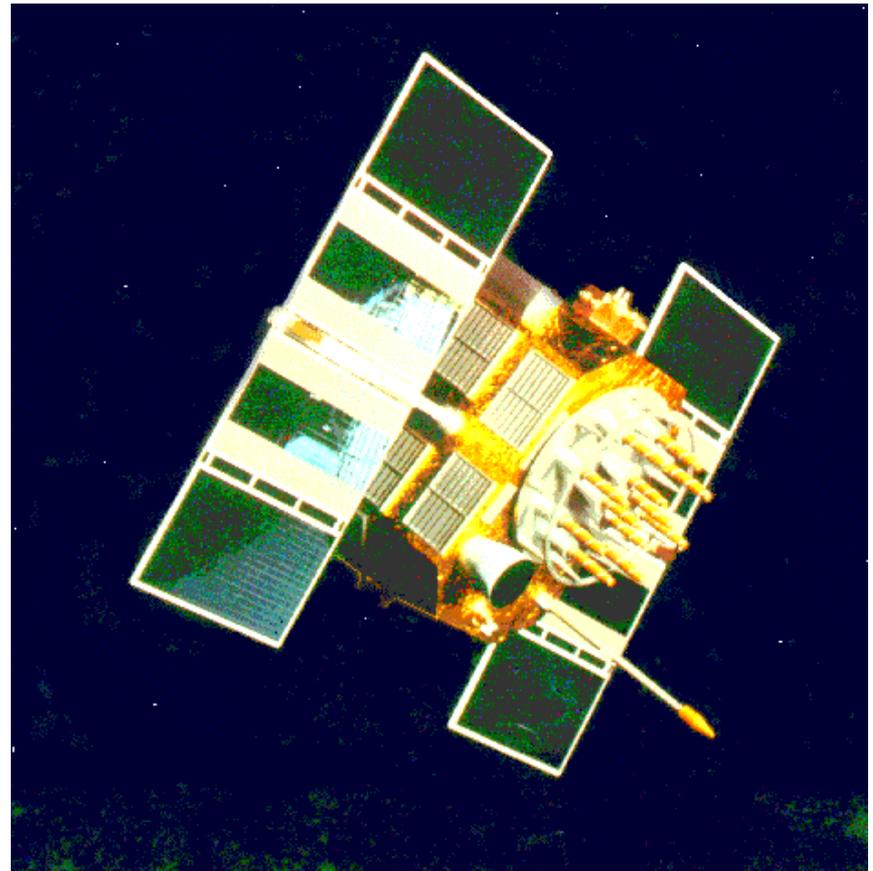
# Les 3 segments du GPS



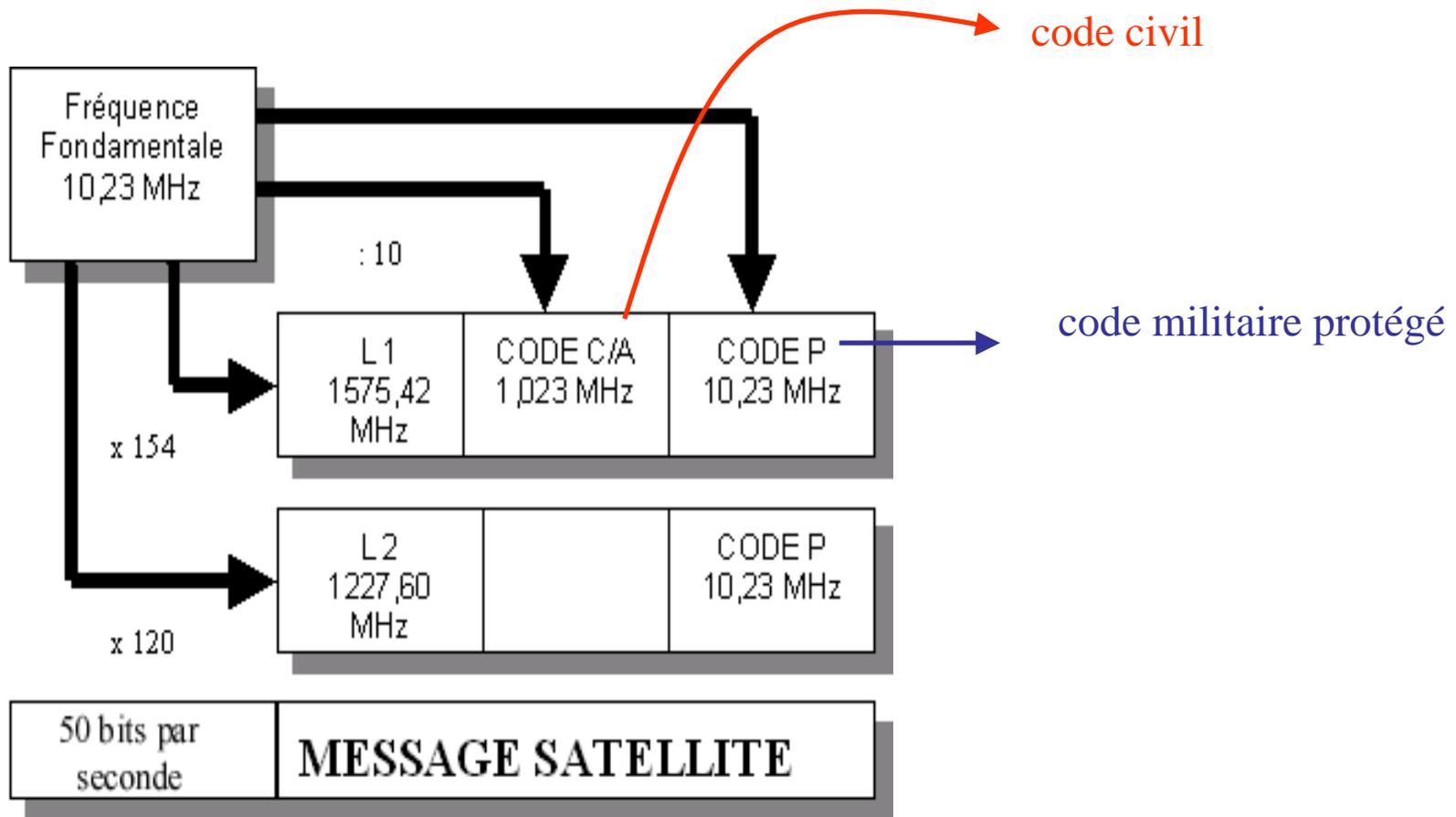
# Les satellites

- 24 satellites
- 20 200 km d'altitude
- Révolution en 12h
- durée de vie : ~~8 ans~~

10-12!



# Codes et données GPS

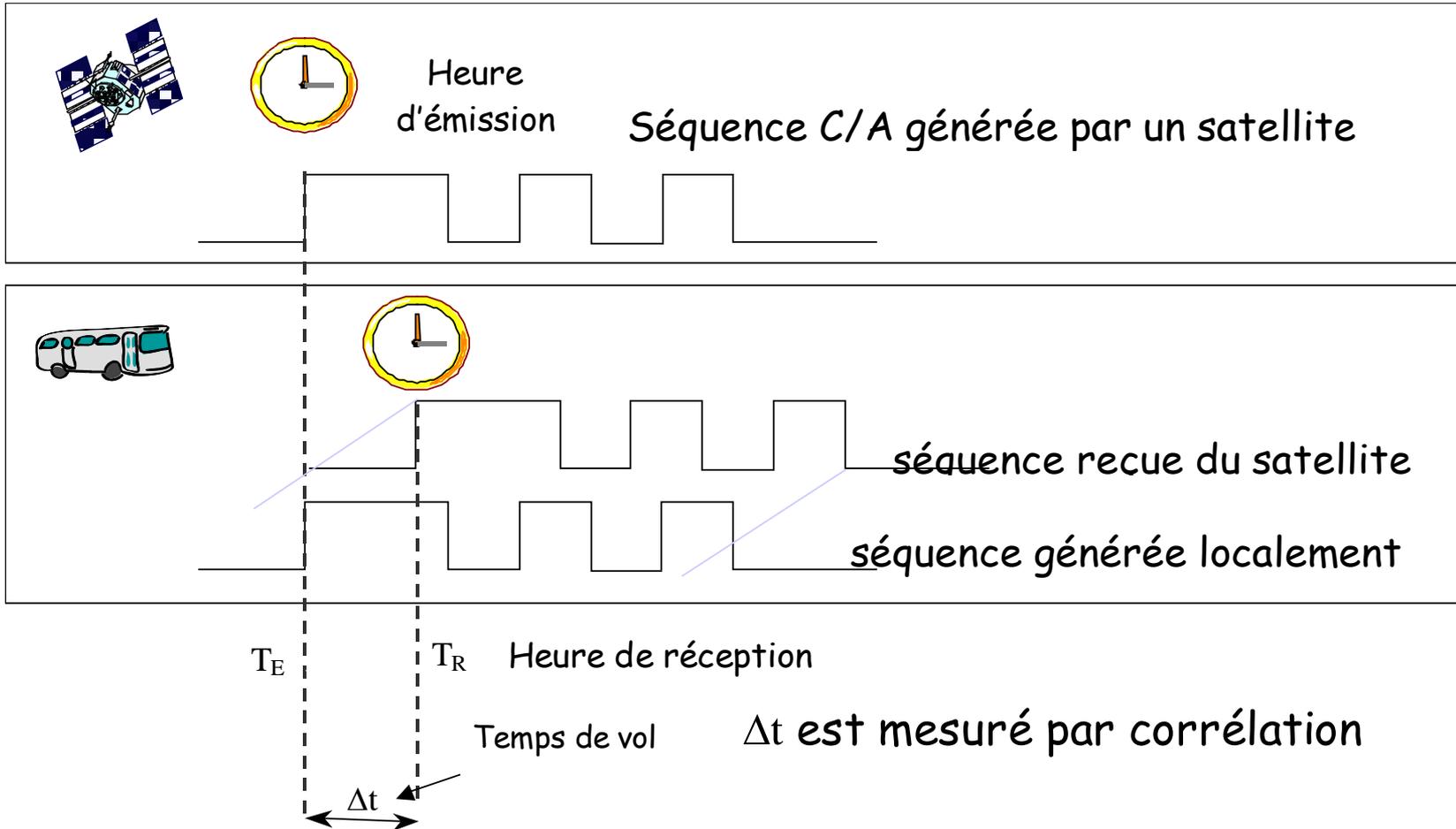


# Observables GPS

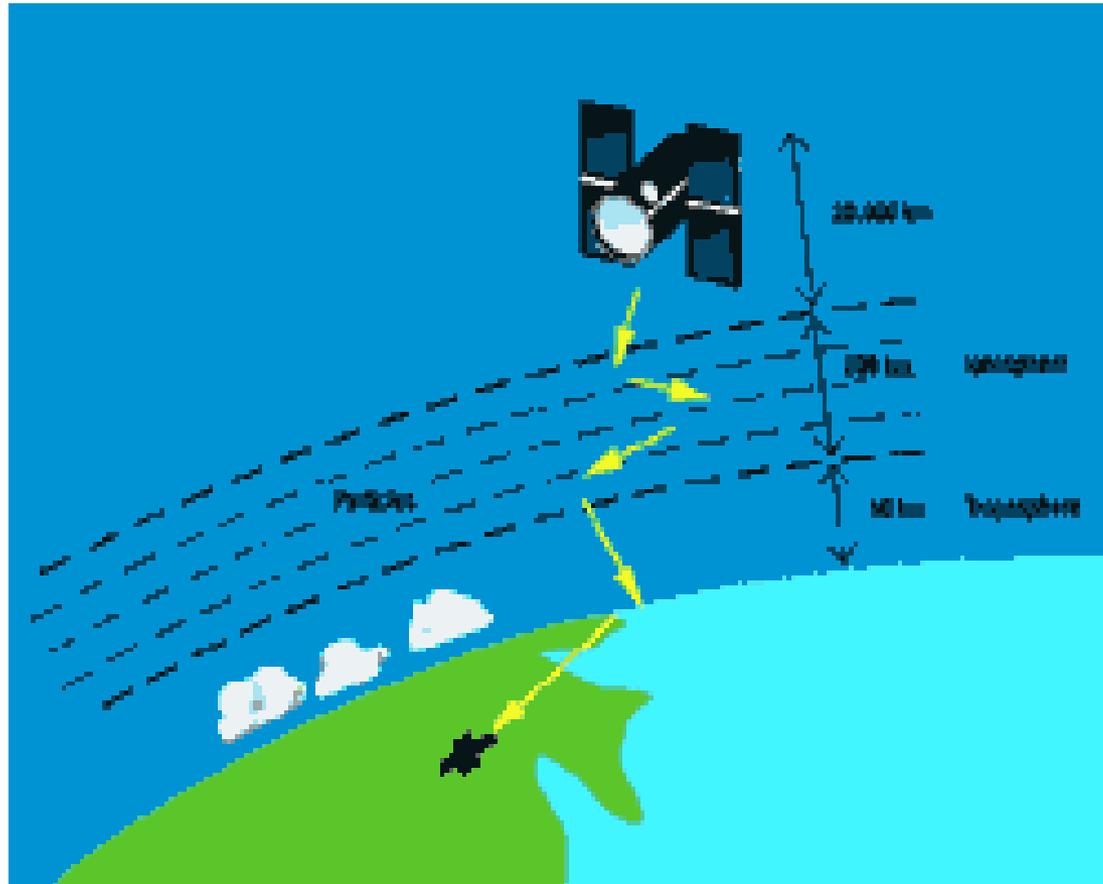
Les récepteurs font des

- mesures de temps de vol
- mesures de Doppler
- mesures de phase des porteuses

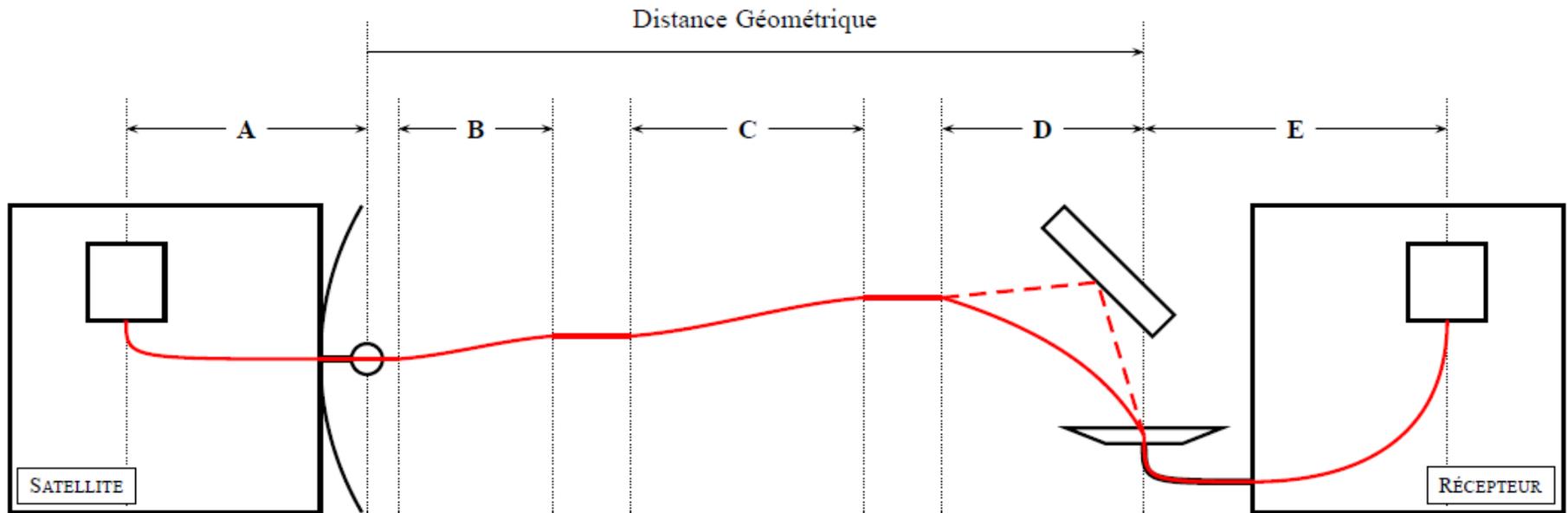
# Mesures de temps de vol



# Sources d'erreurs naturelles traversée de l'atmosphère



# Principaux allongements



**A** : Retards électroniques liés au satellite et variation du centre de phase de l'antenne.

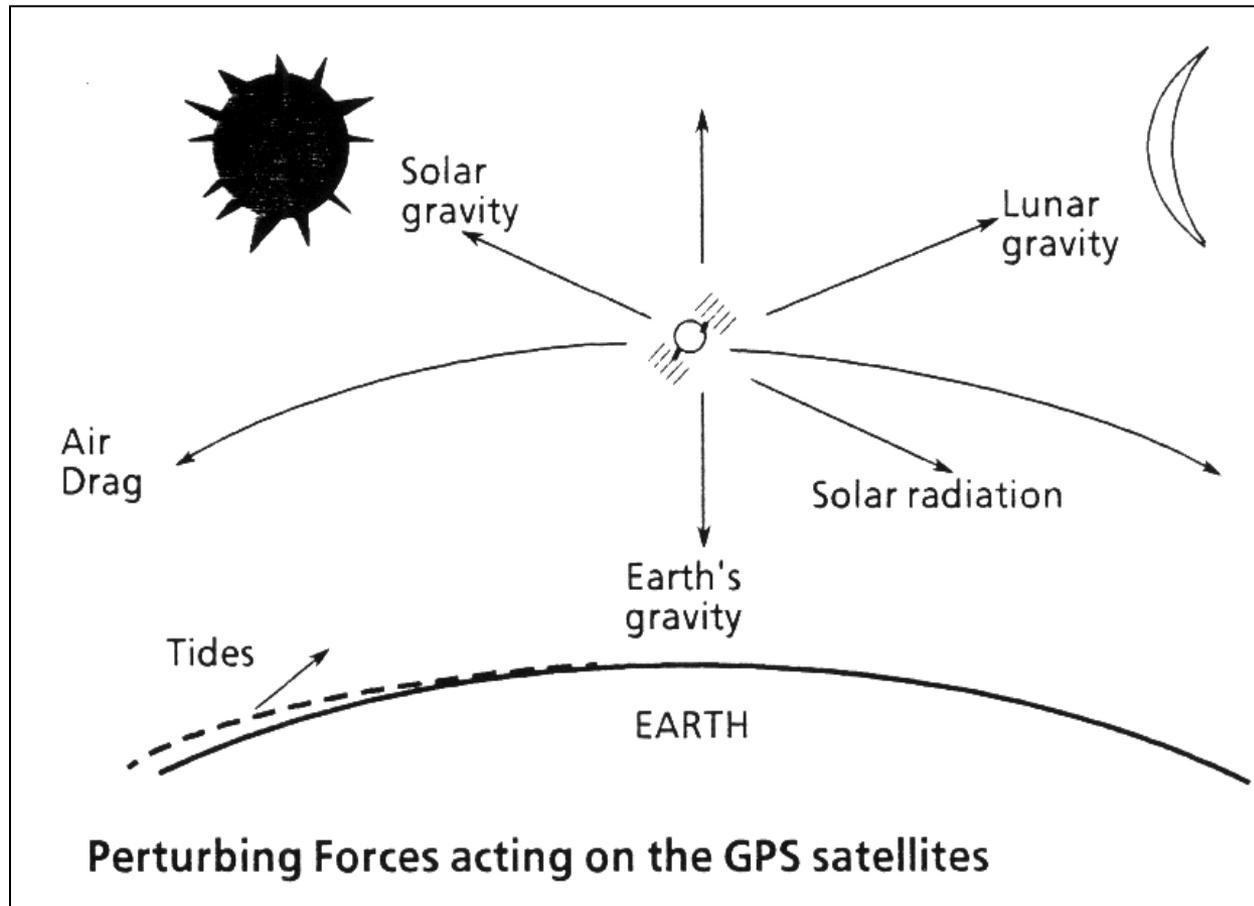
**B** : Allongement dû aux effets relativistes.

**C** : Allongement dû à la traversée de la ionosphère.

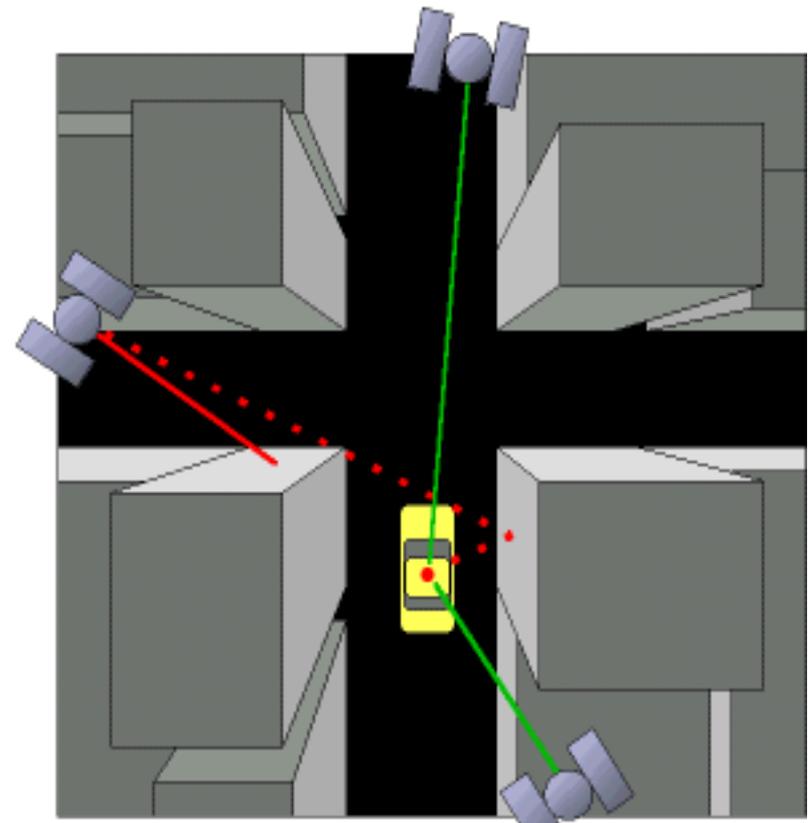
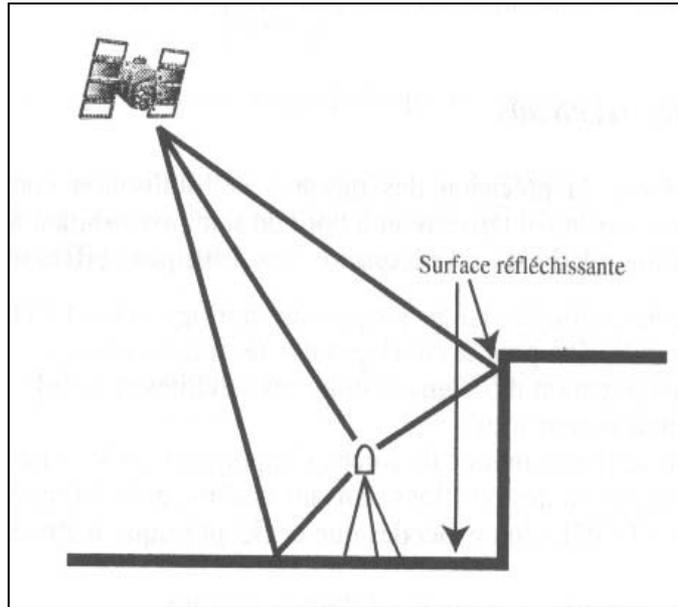
**D** : Allongement dû à la traversée de la troposphère et à la présence d'un multi-trajet.

**E** : Retards électroniques liés au récepteur et variation du centre de phase de l'antenne.

# Méconnaissance de la position exacte des satellites

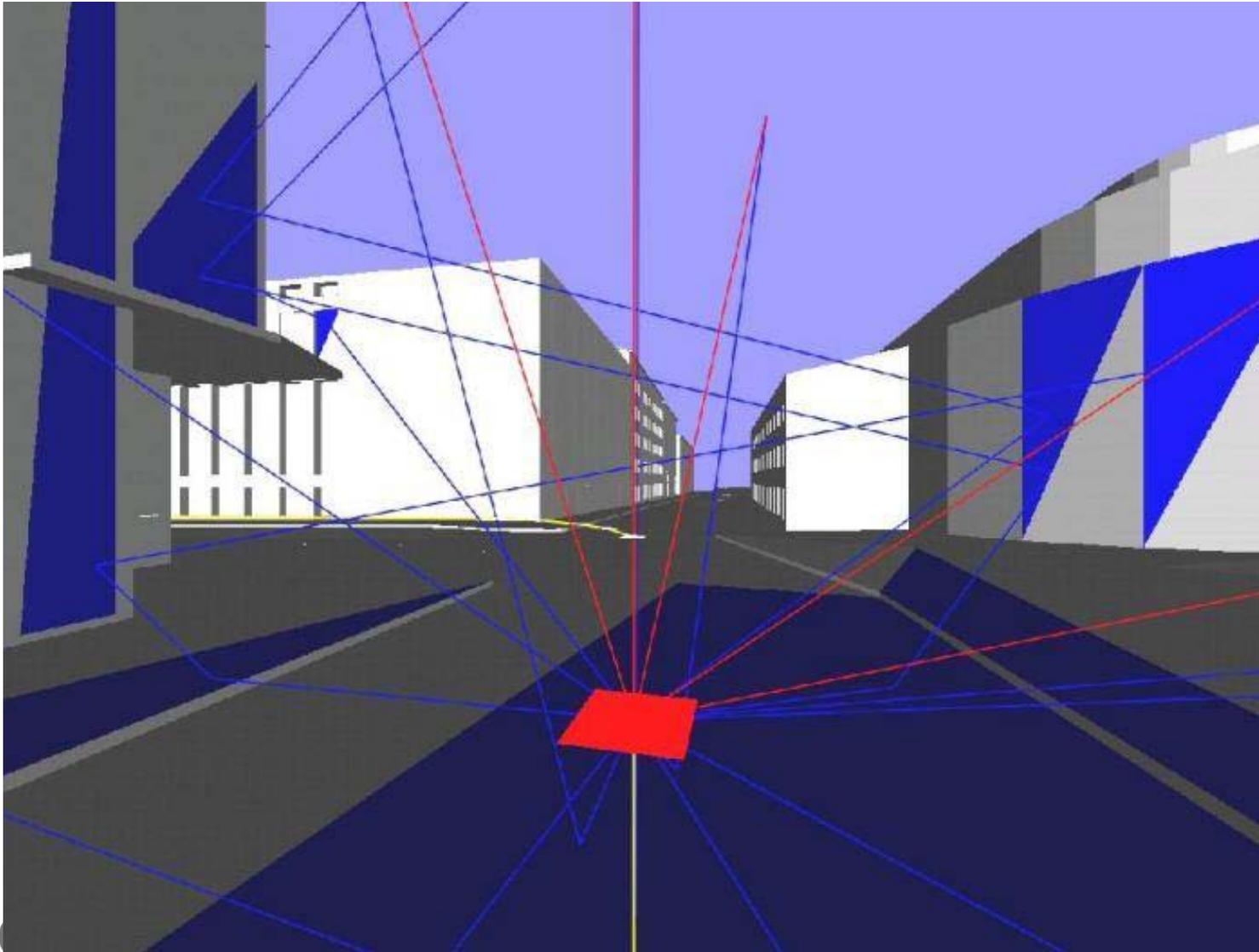


# Multi-trajets

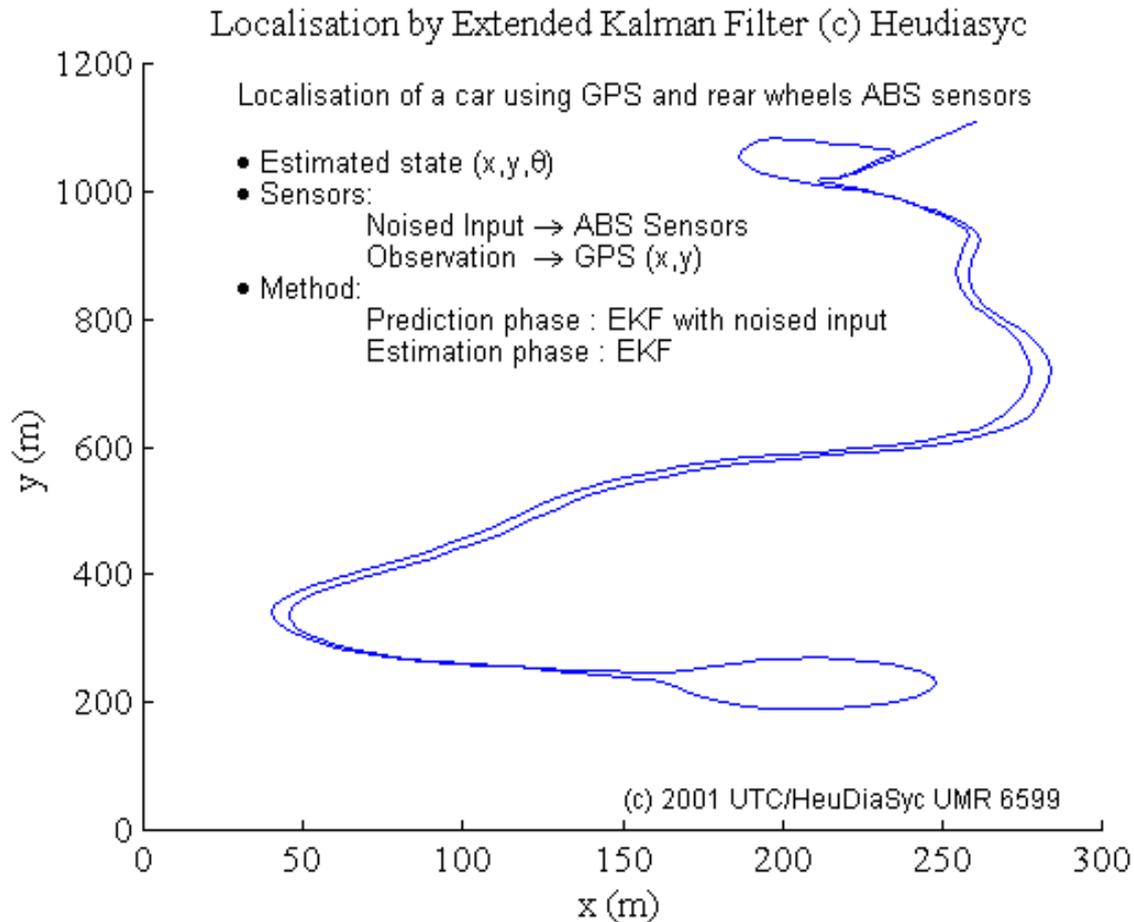


- Blocked GPS signal
- Multipath error

# Multitrajets

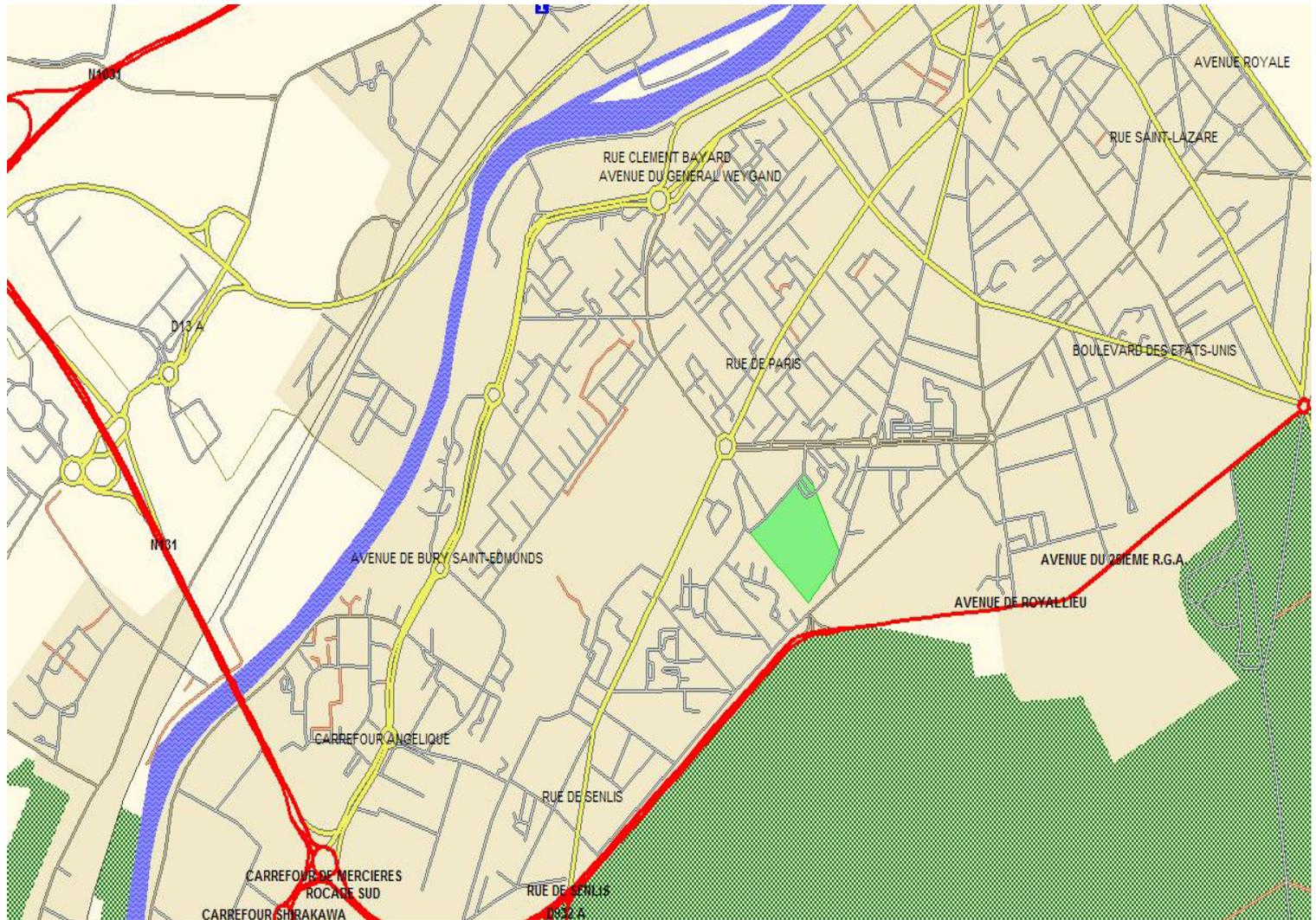


# Odométrie avec les capteurs ABS pendant les masquages

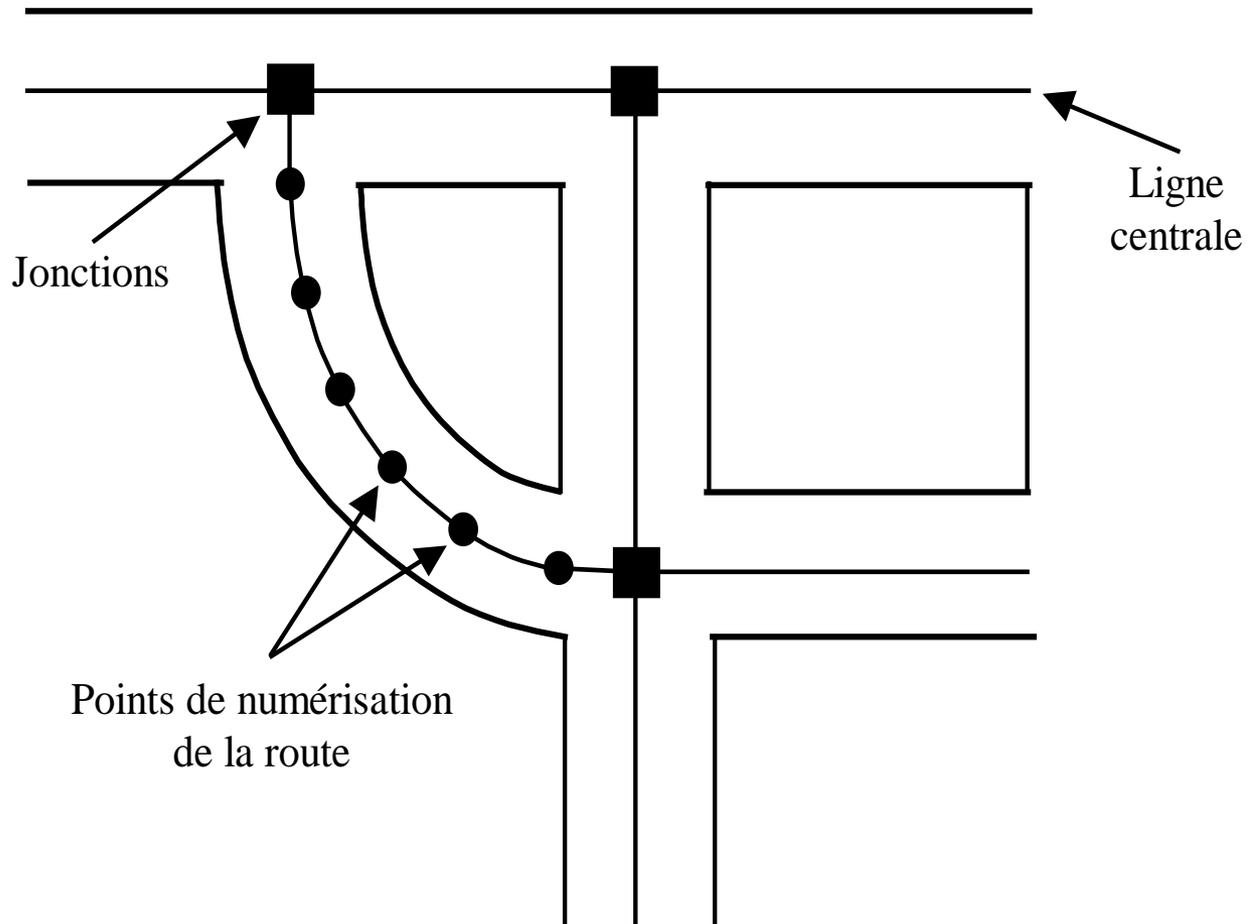


# Cartes et Map-Matching

# Cartes routières navigables

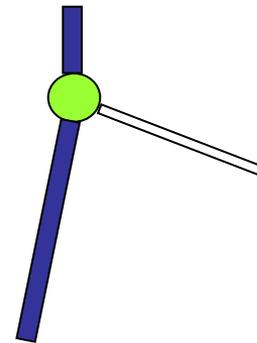
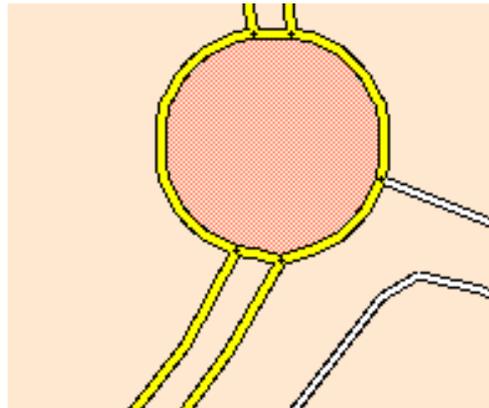


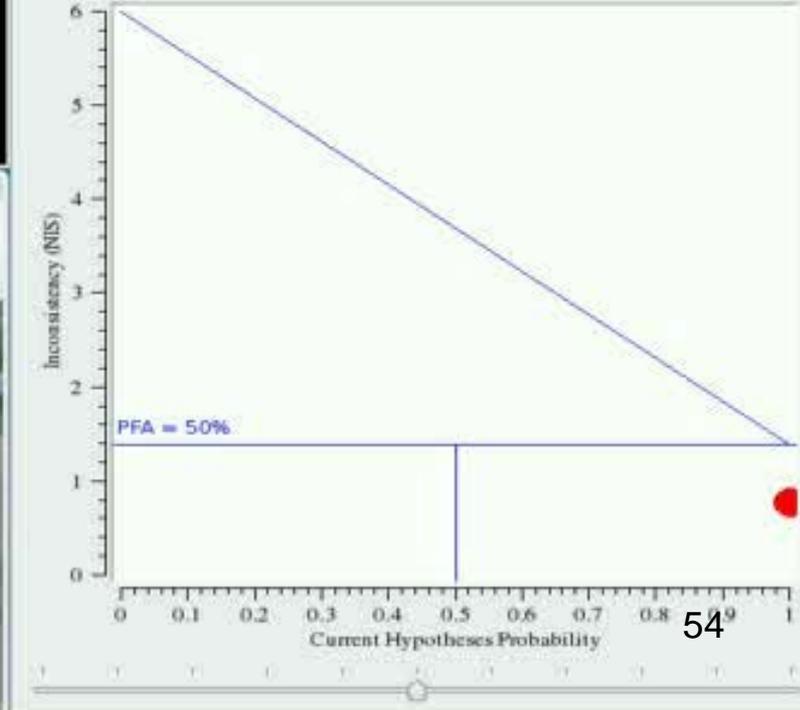
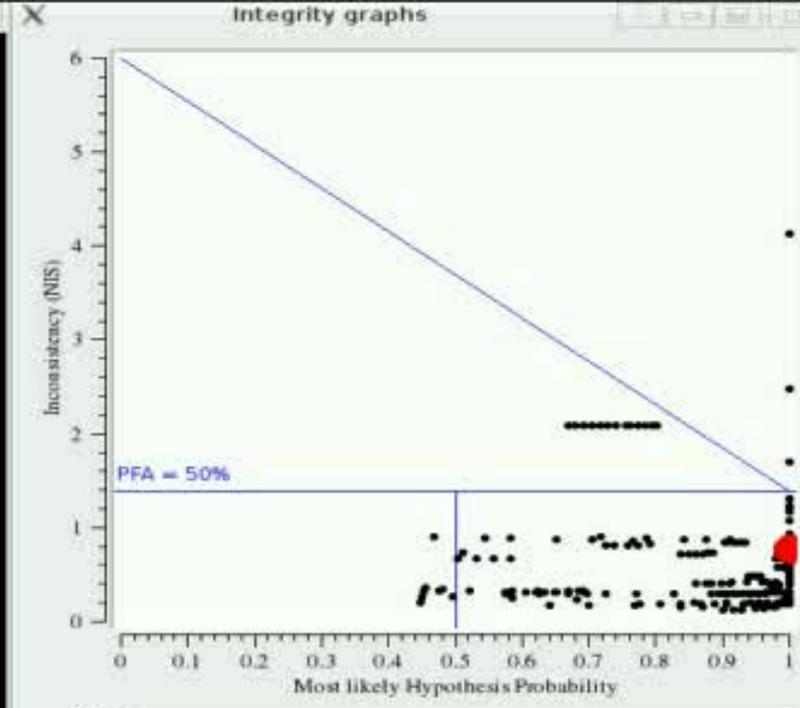
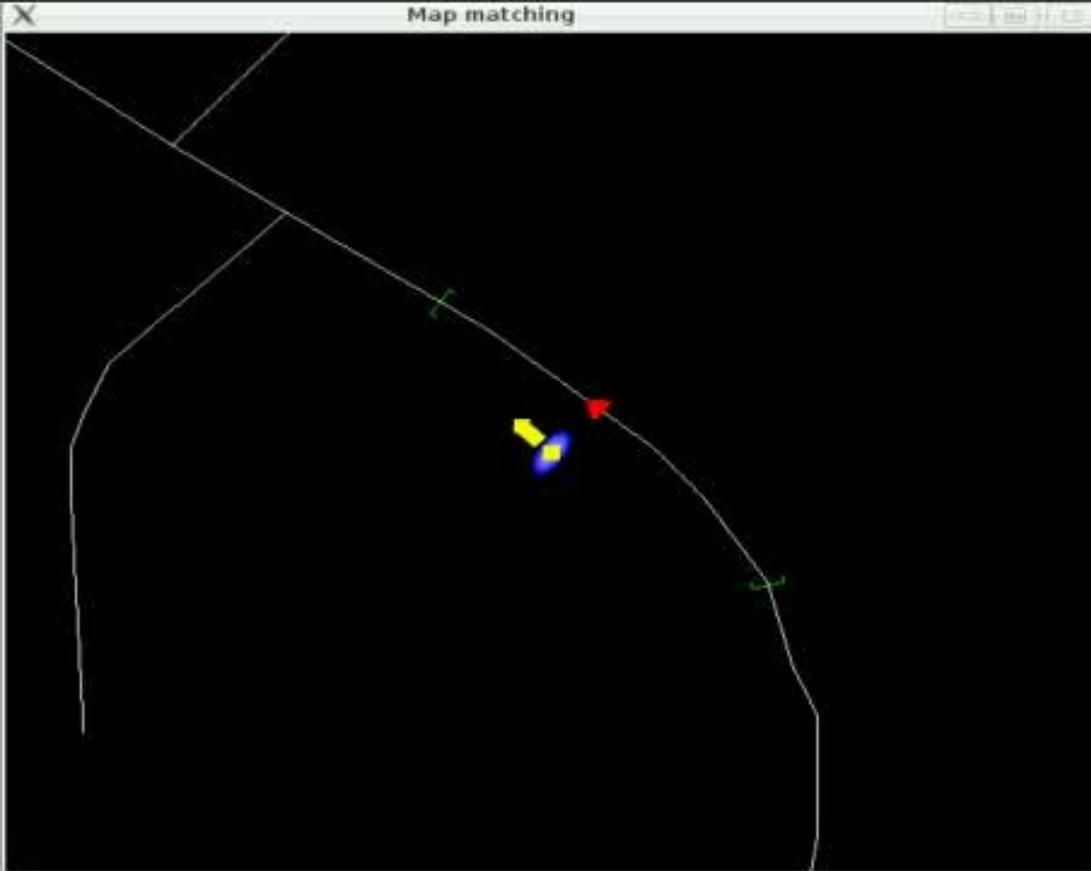
# Représentation des routes



# La carte : une vue déformée du monde !

- Le réseau routier de la base n'est pas toujours en accord avec la réalité
- Le fond de carte ne contient pas tous les détails des routes





# Couplage serré GPS/odo/carte



# Domaines de confiance

C/N0 threshold: 25 dBHz

Middle ECEF XYZ : mid(x)=4201937.6 mid(y)=166866.1 mid(z)=4779488.8

Radius ECEF XYZ : rad(x)=53.42 rad(y)=140.76 rad(z)=28.48

[+4.0 m;-4.0 m] PR error

1 outlier(s) tolerated



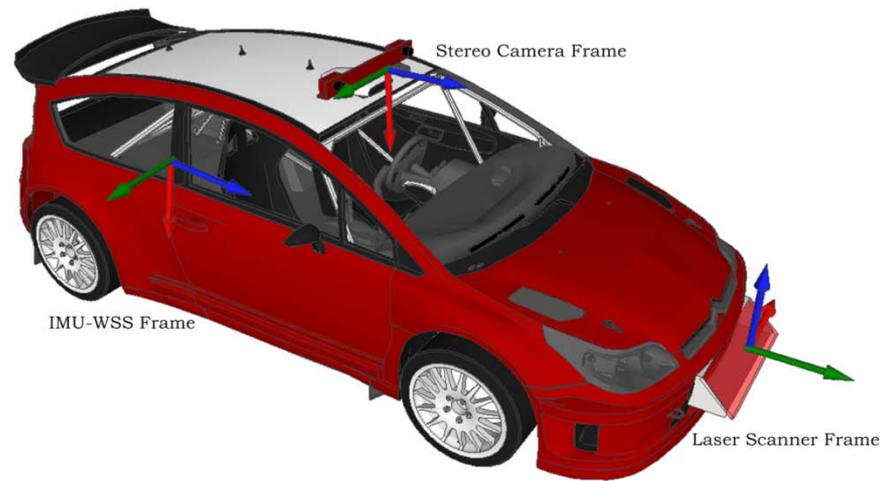
HeuDiaSyC [vincent.drevelle@hds.utc.fr] -- 5 sat. used / tracking 5 sat.

Time : 0:5:19.266 >> 10s >>

Time elapsed in SIOIA: 453 ms  
inliers counts: [0]1612 [1]1364 [2]1612 [3]1612 [4]248  
No outliers found



# Perception

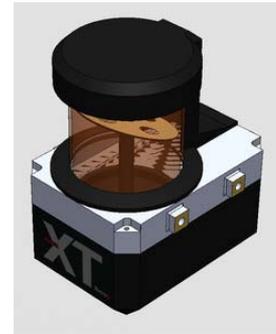


# Lidars

- Vélodyne



- Alaska XT



- Sick LMS



- Hokuyo



# Principe de fonctionnement

- Capteurs
  - Diode laser d'émission d'impulsions
  - Diode de réception
- Mesures
  - Temps de vol Aller-Retour
    - Vitesse de la lumière dans le vide
  - Intensité reçue
  - Pour certains capteurs
    - Plusieurs échos (Alaska, Hokuyo)

# Utilisation de Lidars



*Stanley, Stanford Team, 2005, DARPA Grand Challenge*



# DARPA Urban Challenge 2007



*Boss*, Tartan Team (CMU)



*Junior*, Stanford Team



*Odin*, Victor Tango, (Virginia Tech)



MIT Team

# Urban Challenge 2007

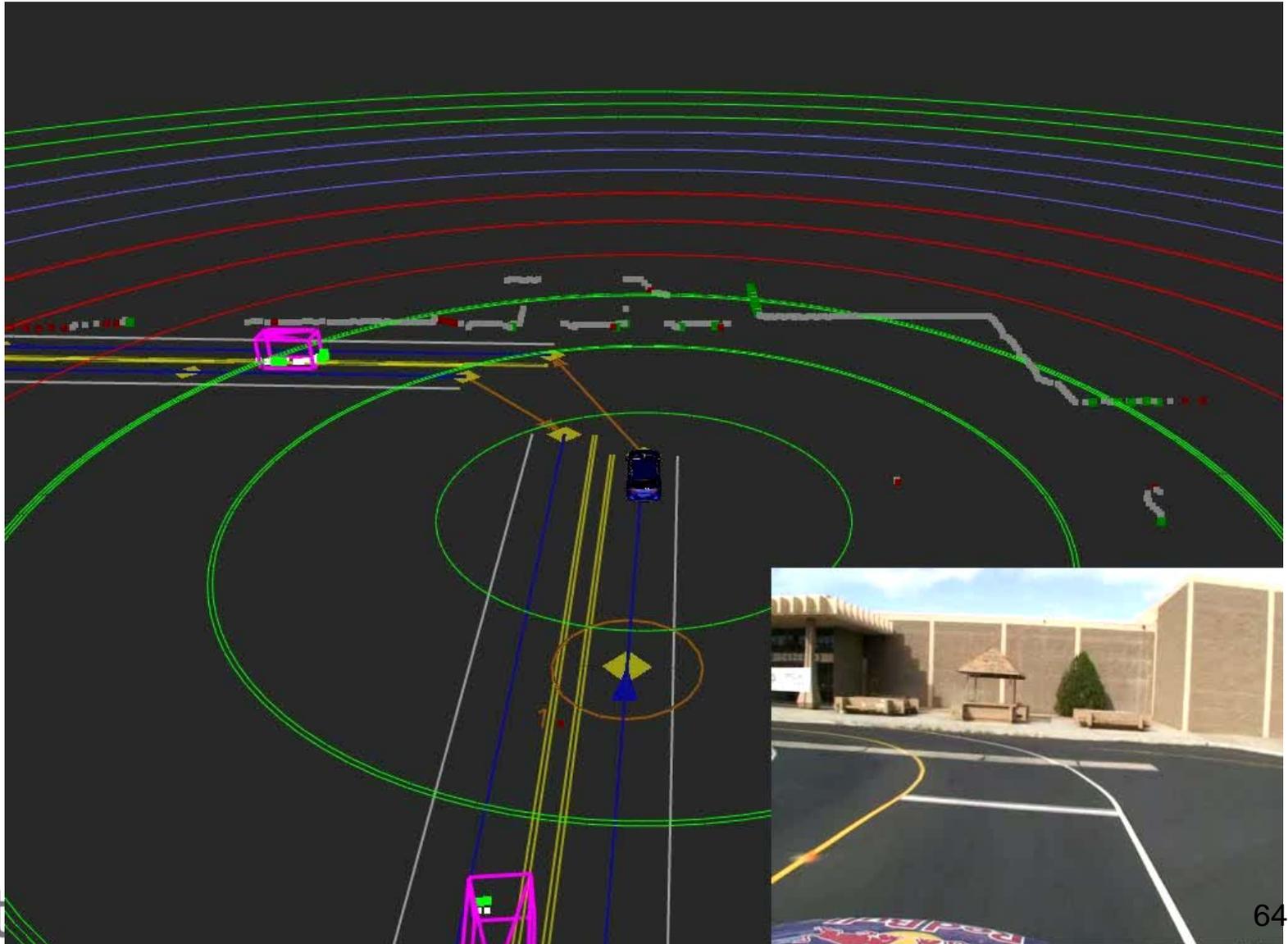
**Tartan Racing** is united to catalyze a technical, cultural and industrial revolution for a new class of robotics to advance the state-of-the-art in driver safety.



# Junior Univ Stanford



# Junior Univ Stanford



# Insertion dans le trafic



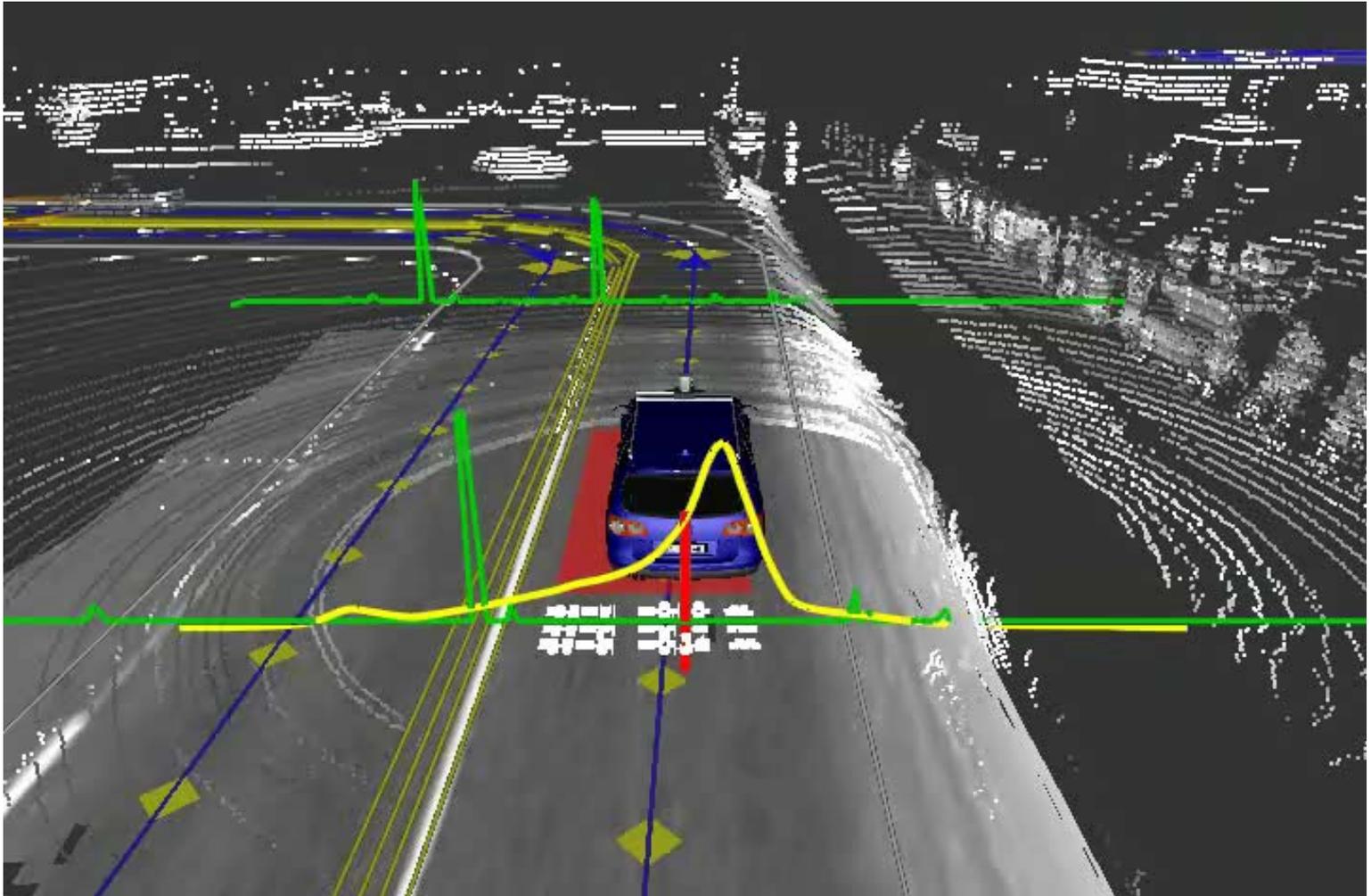
# Utilisation des capteurs de perception pour améliorer la localisation

# Localisation avec Vélodyne

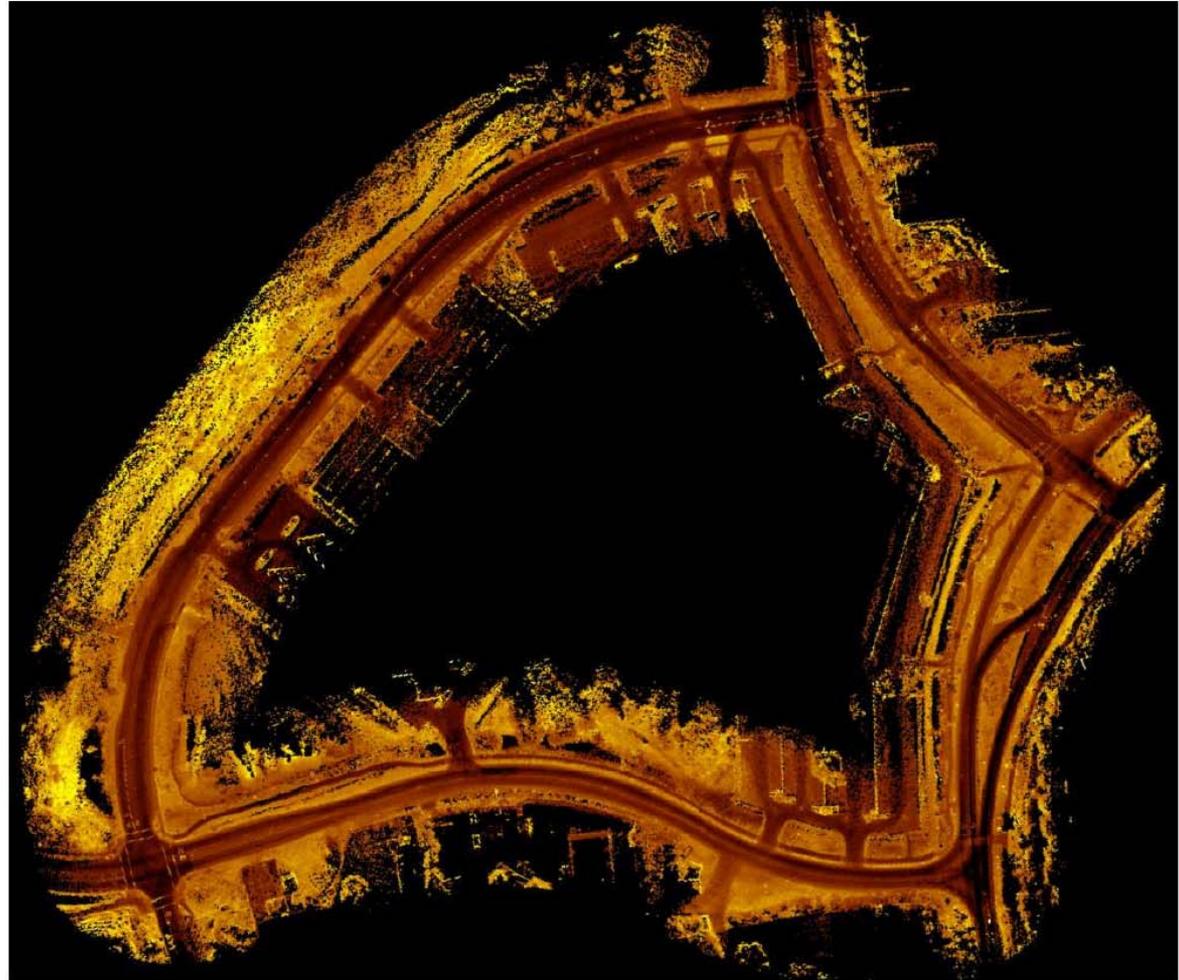


Stanford

# Junior Univ Stanford



# Grille 2D de réflexion infrarouge



# Comment réduire les coûts et intégrer les capteurs ?

# Perception dynamique en milieu urbain

- La perception embarquée permet au véhicule d'observer son environnement dans sa phase de navigation de façon à réagir aux événements imprévus.
- Difficultés
  - Les capteurs se déplacent et les données sont entachées d'erreur,
  - La scène à observer est complexe : autres véhicules, mobilier urbain, piétons, arbres, trottoirs...
  - Les éléments de la scène ont des dynamiques très différentes.
- Mais... le milieu urbain est fortement structuré et la connaissance de la carte peut être une aide à la perception

# Utilisation d'un lidar multi-faisceaux intégré dans le pare-choc avant

**Capteur LIDAR Alasca**  
Capteurs 4 nappes, 180  
° d'ouverture, ~800  
points/scan, 12Hz



# Détection piéton lidar seul

Laserscanner bird view

Image projection

DbitePlayer\_d

Control panel

Quit 95  Lidar layer display

utc  
Université de Technologie  
Compiègne

HEUDIASYC

CNRS  
CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

LOVe

Pause State - speed : 1/4  
Min time 1212419380910523  
Max time 1212420914739577  
Current time 232.342 - 1212419613252829

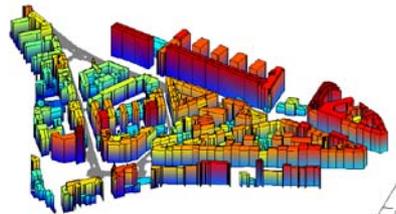
ID13452  
ID13614  
ID13615  
ID13568  
ID13553  
ID13373

# Détection piéton lidar et caméra



# Amélioration de la perception lidar avec une carte

**Capteur LIDAR Alasca**  
Capteurs 4 nappes, 180  
° d'ouverture, ~800  
points/scan, 12Hz



**Cartes 3D précises**  
Bati3D,  
Espace roulant, Espace  
libre

# Conclusion

- Domaine des véhicules intelligents très actifs depuis le début des années 90
- Progrès spectaculaires avec les concours DARPA mais avec des véhicules équipés de capteurs coûteux et peu intégrés
- De nombreux efforts à réaliser pour intégrer des capteurs « sur étagère » peu coûteux
- Important de prendre en compte les incertitudes depuis la source jusqu'à la prise de décision
- La carte est un composant clef