

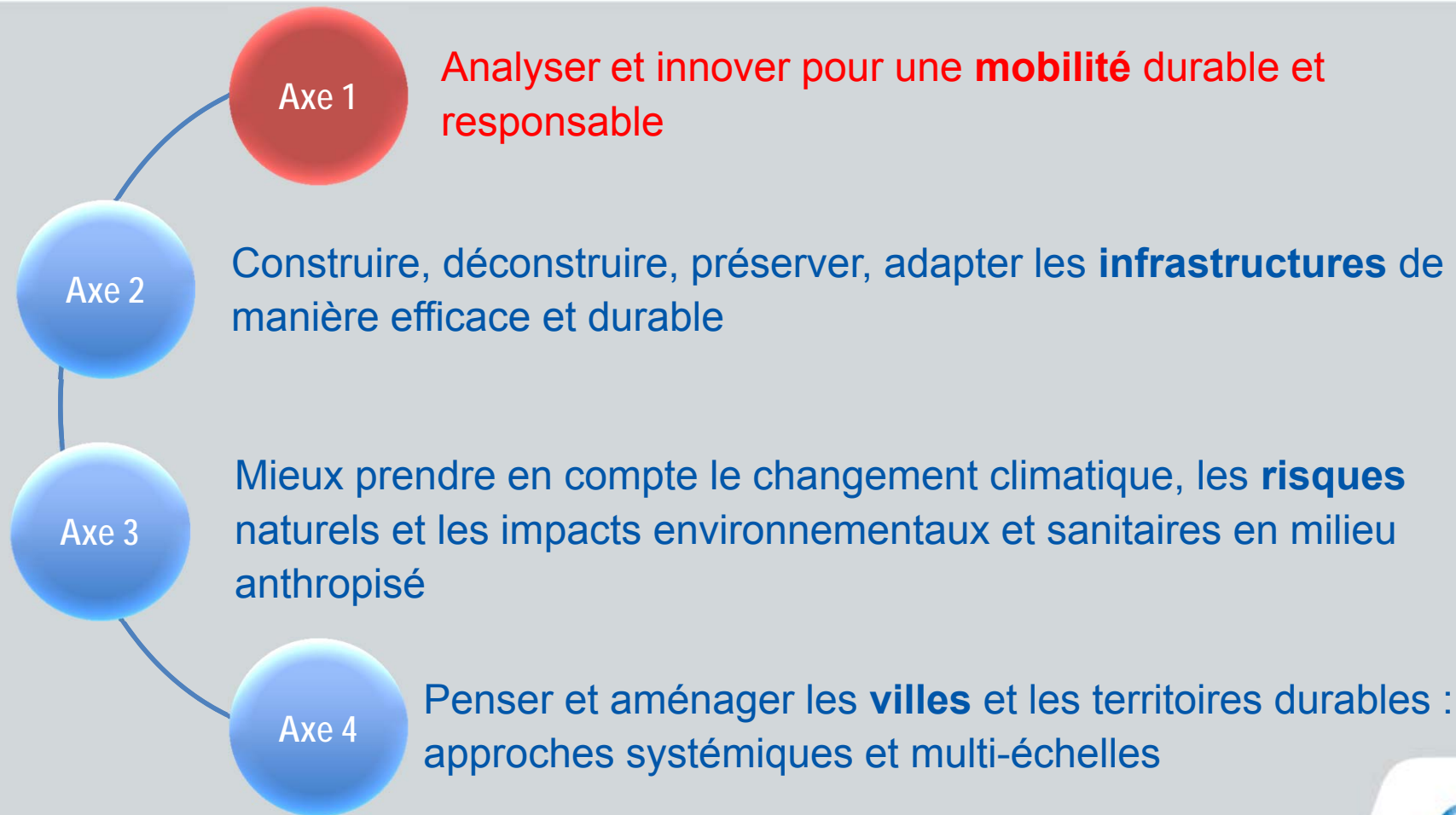
Laboratoire GEOLOC
Département COSYS
IFSTTAR, Centre de Nantes
**Navigation de véhicules terrestres – Fusion
de données multi-capteurs et carte numérique**

David Bétaille (GEOLOC)
CNIG, 16 octobre 2014



IFSTTAR

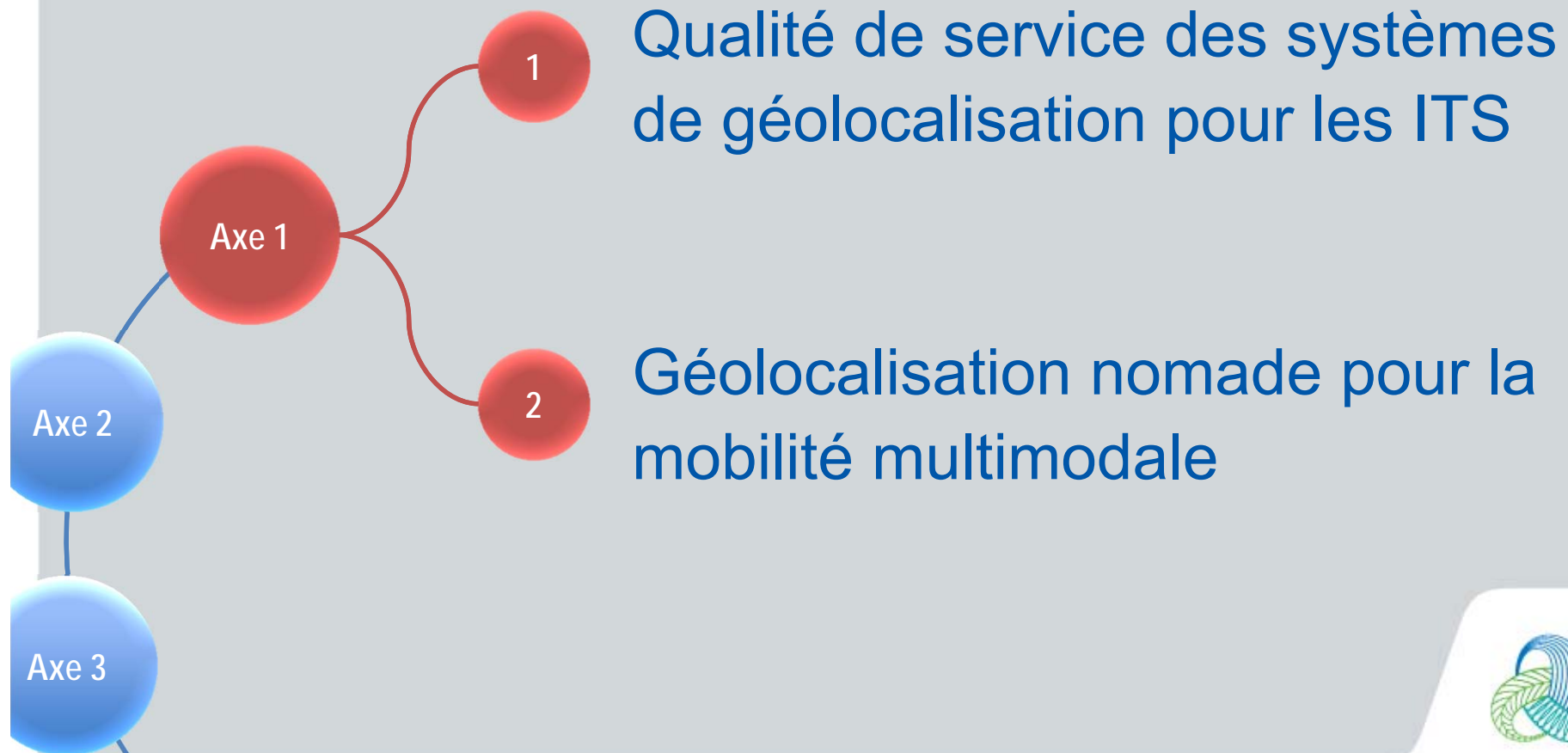
Axes de recherche de l'Ifsttar



Contrat Quadriennal : 2013 – 2016.



Axes de recherche de GEOLOC

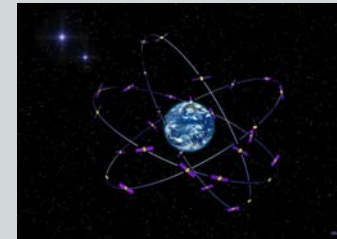


Activités du labo GEOLOC



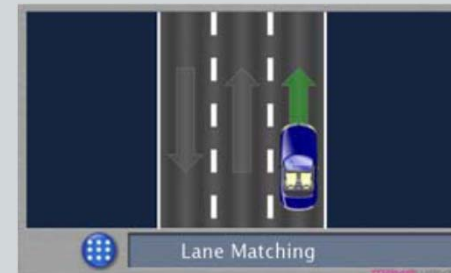
- Thématique de recherche = **Métrologie de la géolocalisation**

- Technologies GNSS
- Fusion de capteurs (inertie, odométrie...)
- Qualité de service (précision, intégrité...)



- Domaine d'application = **La mobilité sur la route et dans la ville**

- Aides à la conduite sécuritaires (PCRD)
- Robotique mobile (VIP - ANR)
- Geofencing (pay-per-use, suivi de flotte...)
- Métrologie du trafic par véhicules traceurs
- La géolocalisation des piétons en indoor/outdoor (mobilité douce)



Moyens actuels du labo GEOLOC



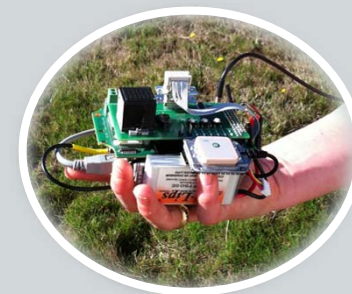
- Moyens humains

- 3 chercheurs : 1 DR, 2 CR
- 1 ingénieur de recherche
- + doctorants, post-doctorants, etc.



- Moyens matériels

- Capteurs : récepteurs GNSS, capteurs inertiels
- Equipements remarquables : véhicule d'essai VERT et système d'acquisition pour la mobilité du piéton



Analyse et approche du problème d'amélioration de la qualité de service de géoloc ITS

- Notre angle d'attaque : traitement des **données brutes** en sortie des récepteurs, calcul du point, fusion de données
- Sources des problèmes : environnement proche
- Impacts sur les données brutes (pseudo-distances) :
 - Raréfaction des données → faible redondance
 - Mauvaise géométrie des satellites → mauvais conditionnement du système à résoudre, mauvaise observabilité
 - Bruits et biais à composantes déterministes difficiles à modéliser → hypothèses standard sous-tendant les méthodes d'estimation Bayésienne non satisfaites
- **Solutions envisageables**
 - Méthodes provenant de la sûreté de fonctionnement : FDE, RAIM
 - Adaptation des *Satellite-Based Augmentation Systems* (EGNOS)
 - **Fusion multi-capteurs et fusion avec cartes numériques**



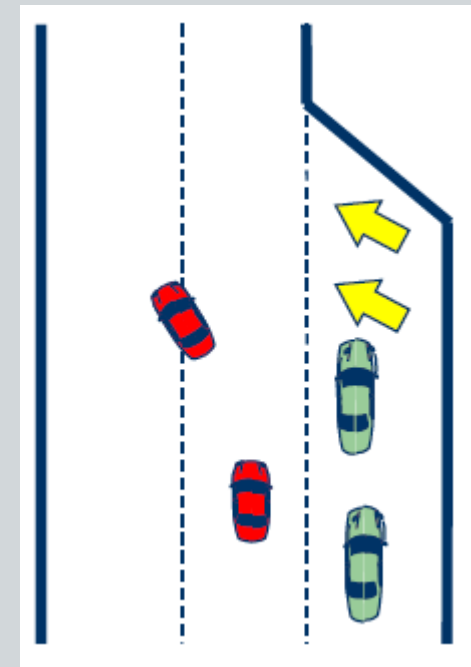
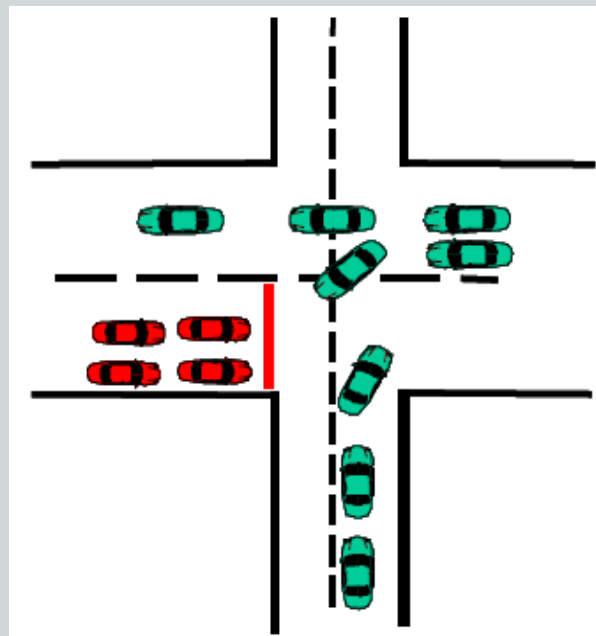
Fusion multi-capteurs avec carte numérique

- **Projet CVIS (données de position projetées)**
 - **CVIS** (FP6, 2006-2009) : cooperative vehicle infrastructure system
 - Introduction du concept de carte précise et utilisation comme contrainte dans le problème de la localisation : post-docs de Fabien Ramos et Jean Laneurit, thèse de **Ahmed Selloum** avec Eric le Carpentier, chercheur invité Rafael Toledo
- **Projets récents (avec traitement des données brutes)**
 - **CityVIP** (ANR, 2008-2011) : amélioration du positionnement en ville par modèle 3D embarqué dans un SIG
 - **INTURB 1 & 2** (DGITM, 2011-2014) : amélioration du positionnement en ville par l'exploitation de la connaissance de la topographie locale, prélude à une nouvelle thèse sur le geofencing en milieu urbain

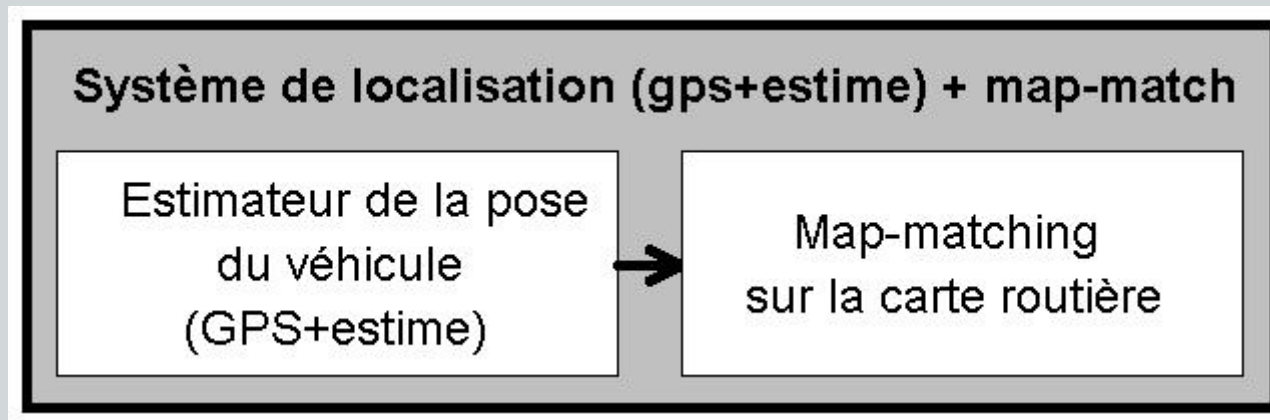


Projet CVIS

- **Applications**
- Information/guidage du conducteur
- Carte locale dynamique
- Voie de bus partagée
- ...



GPS + map-matching dans les ADAS



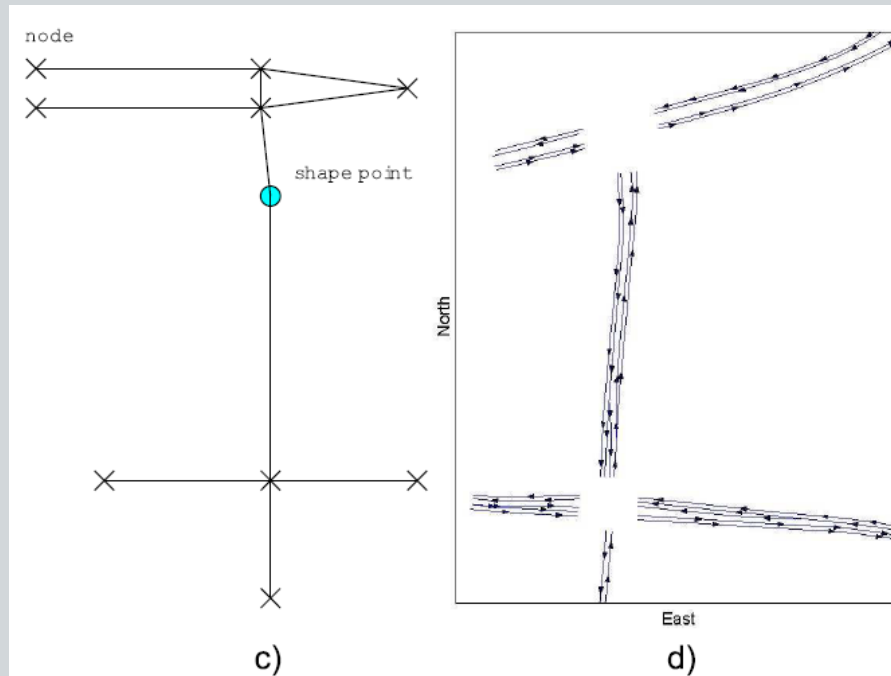
Localisation *map-aided* dans les ADAS

Système de localisation aidée par la carte (ou MAL)

Estimateur de la pose du véhicule
directement en relatif à la carte (et non en absolu)
(GPS+estime+carte)



Illustration à Berlin (site test CVIS)



- Photo aérienne
- Rendu par carte standard
- **Carte standard /
Carte précise
Emap**
- Précision : m / dm
- 1 seule polyligne / plusieurs polyclothoïdes
- la connectivité existe aux noeuds / tout le long de la route (on gère la possibilité de changer de voie)



Clothoïde : jonction entre cercle et droite

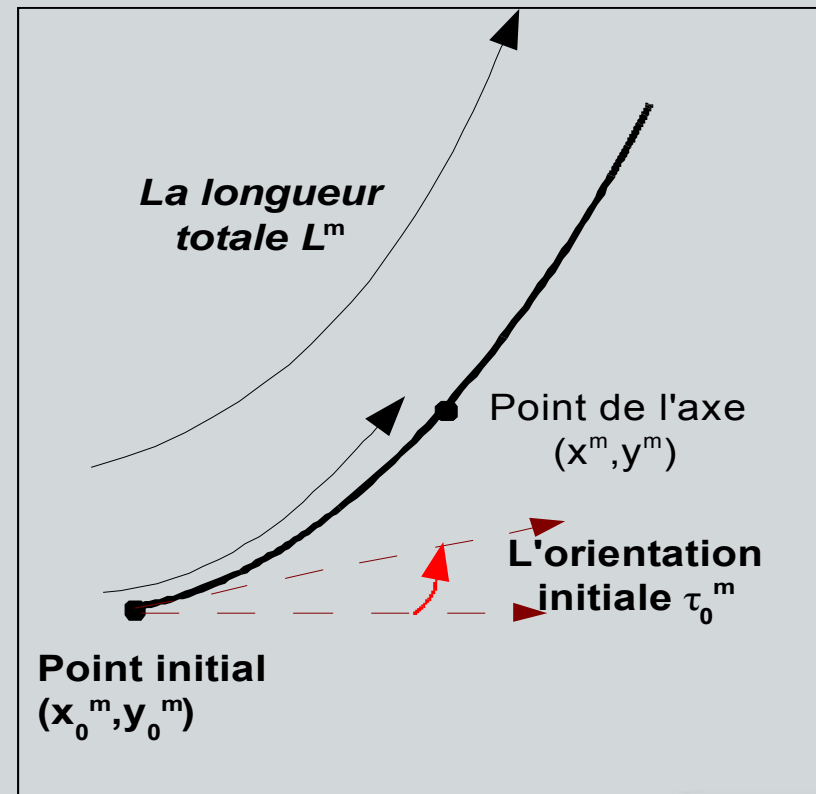
- **Spirale : courbure k variant linéairement avec l'abs. curv. s**
- Intégrales de Fresnel

$$\begin{cases} x^m(\ell) = x_0^m + \int_0^\ell \cos(\tau^m(s)) ds, & 0 \leq \ell \leq L^m \\ y^m(\ell) = y_0^m + \int_0^\ell \sin(\tau^m(s)) ds, & 0 \leq \ell \leq L^m \end{cases}$$

où :

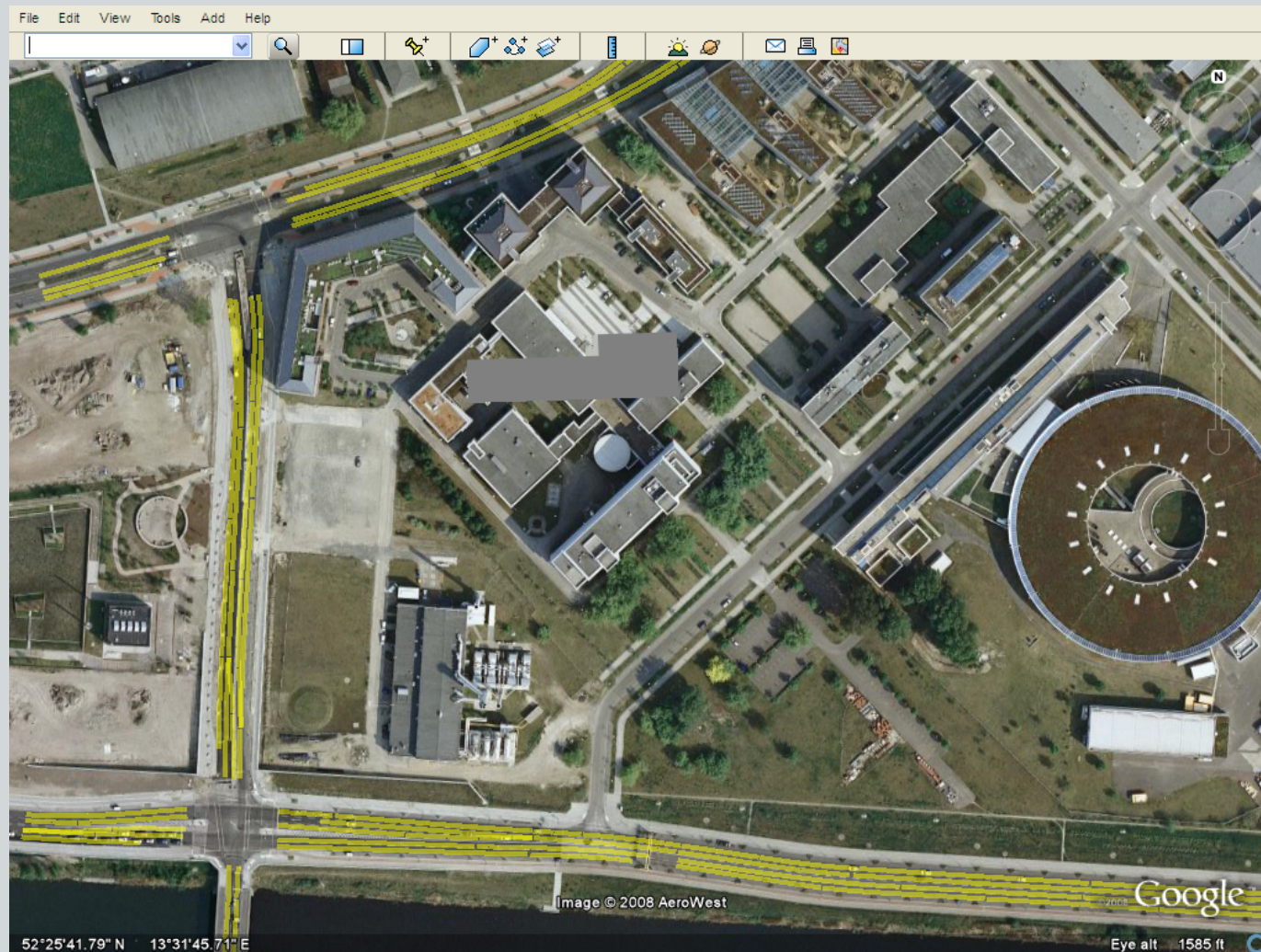
$$\tau^m(s) = \tau_0^m + k_0^m s + \frac{1}{2} c^m s^2$$

- (x, y) cartésien pas pratique
=> (ℓ, d) repère Frenet

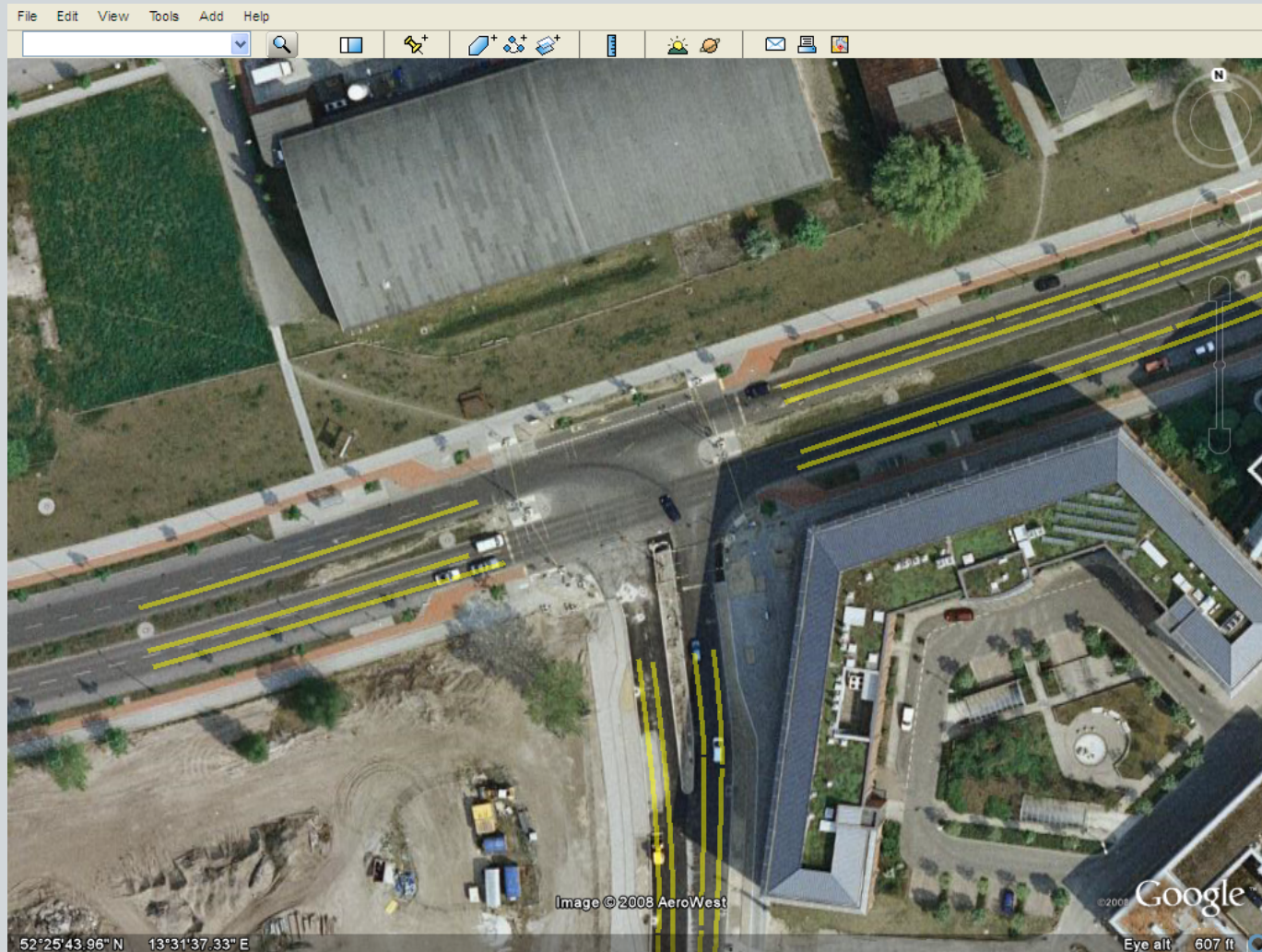


τ_0^m l'orientation au point initial par rapport à l'Est,
 κ_0^m la courbure au point initial,
 c^m la variation de courbure égale à $\partial \kappa^m / \partial s$ (constante)

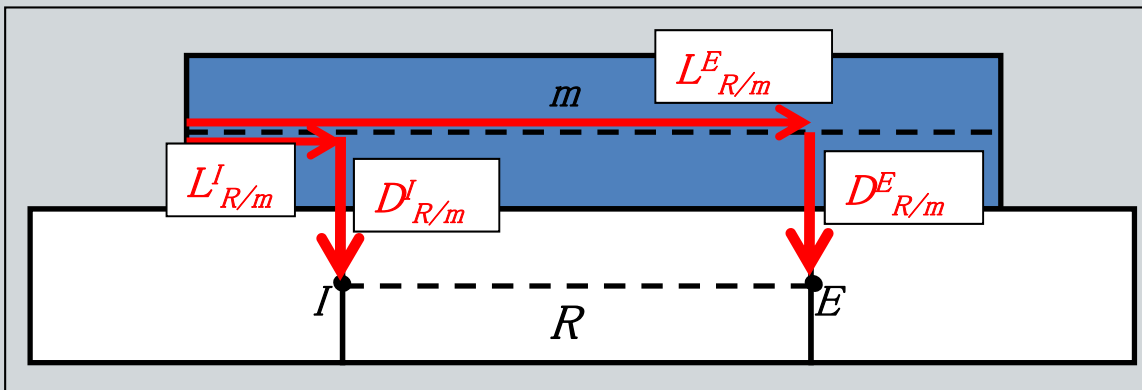
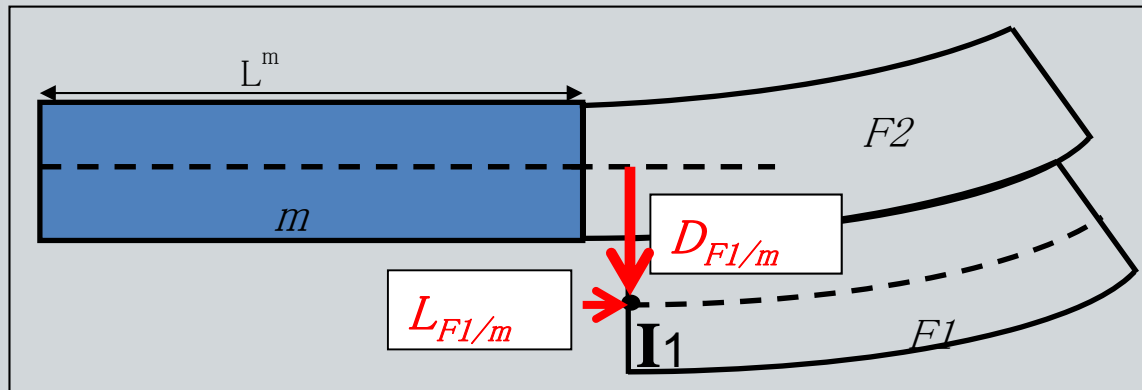
Illustration à Berlin (site test CVIS)



Zoom



Topologie / attributs entre éléments



- Pour chaque élément, on renseigne ses voisins et leur position relative
- gauche / droite
devant / derrière
(si dépassement)
- 2 ou 4 attributs



Comparaison cartes std / précise

Carte standard (route = polyligne)	Carte précise (route = plusieurs polycloïdes)
(-) description moins précise de la route	(+) description réaliste de la route
(-) base de données importante	(+) base de données réduite
(+) facilite le map-matching	(-) complique le map-matching

- => on va essayer de manipuler directement les coordonnées de Frenet (i.e. non cartésiennes)



Modélisation d'état

$$\begin{cases} \text{modèle d'évolution} & : Z[n] = f(Z[n-1], U[n] + \varepsilon_U[n], \varepsilon_{\text{mod}}[n]) \\ \text{modèle d'observation} & : Y[n] = h(Z[n-1]) + \varepsilon_{\text{obs}}[n] \end{cases}$$

$$Z[n] = \begin{bmatrix} m[n] \\ \ell[n] \\ d[n] \\ \psi[n] \end{bmatrix}$$

- **Modèle d'observation : fonction non linéaire, bruit gaussien**

$$h(z) = \begin{bmatrix} x_{\text{gps}} \\ y_{\text{gps}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0^m \\ y_0^m \end{bmatrix} + \int_0^\ell \begin{bmatrix} \cos \tau^m(s) \\ \sin \tau^m(s) \end{bmatrix} ds - d \begin{bmatrix} -\sin \tau^m(\ell) \\ \cos \tau^m(\ell) \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon_{\text{obs}}[n] \sim \text{N}(0, Q_{\text{obs}}[n])$$

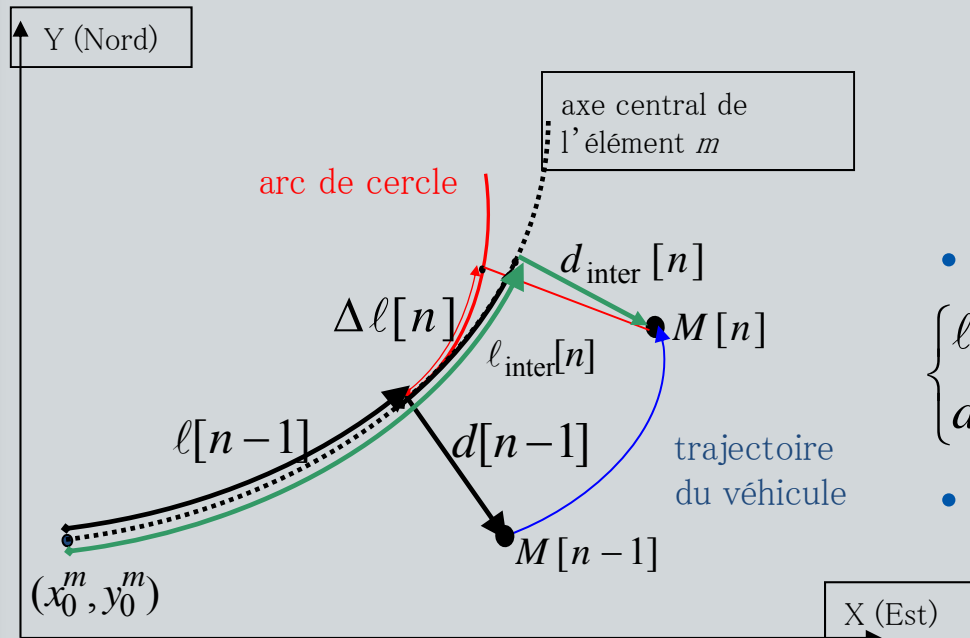
- **Modèle d'évolution : variation de cap par gyromètre, bruit gaussien**

$$\psi[n] = \psi[n-1] + \Delta\psi_{\text{gyro}}[n] + \varepsilon_{\text{gyro}}[n] + \varepsilon_{\psi}[n]$$

mais problème du couplage de m , ℓ et $d \Rightarrow$ deux étapes : pré-évolution sur élément courant et changement d'élément



Pré-évolution et changement d'élément



- Distance par odomètre
- Hypothèses :
 - la trajectoire du véhicule est un arc de cercle
 - la portion de la clothoïde $m[n-1]$ est un arc de cercle
- Pré-évolution en Frenet

$$\begin{cases} \ell_{\text{inter}}[n] = f_{\ell}(Z[n-1], U[n] + \varepsilon_U[n]) + \varepsilon_{\ell}[n] \\ d_{\text{inter}}[n] = f_d(Z[n-1], U[n] + \varepsilon_U[n]) + \varepsilon_d[n] \end{cases}$$
- Changement d'élément $m[n]$ (avec transformation de ℓ et d le cas échéant)

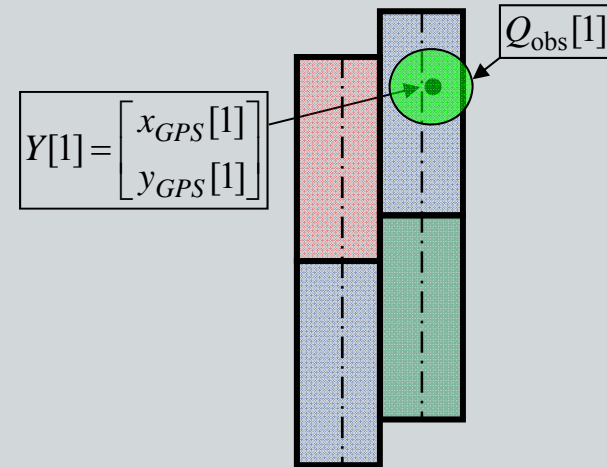
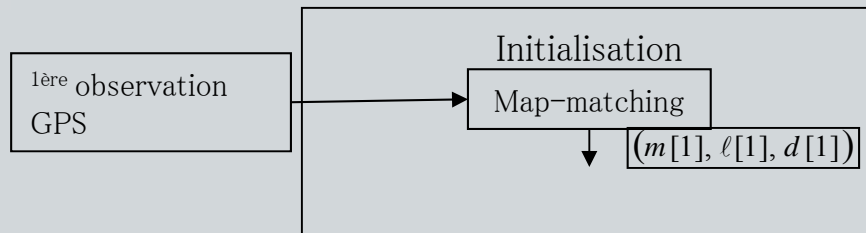


Justification du filtrage particulaire

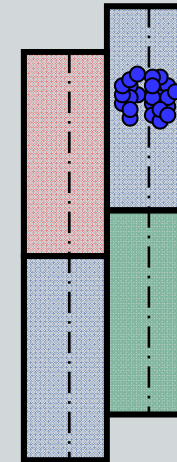
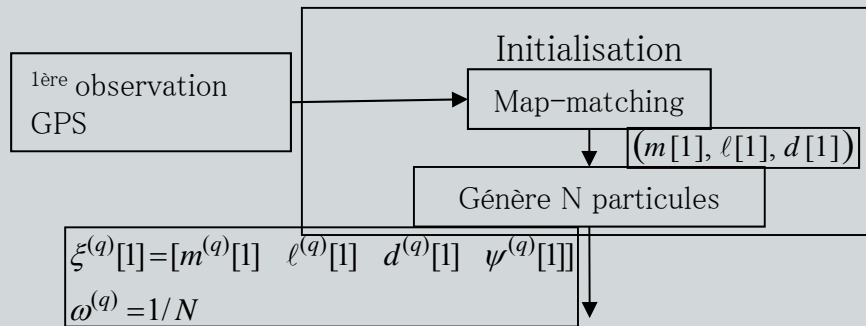
- En EKF appliqué à la fusion GPS, odo, gyro, on passe par une approximation car les **fonctions** d'évolution et d'observation sont **non-linéaires**
=> non nécessaire avec le filtre particulaire (**pas de jacobienes**)
- Surtout, l'environnement qui contraint l'espace où le véhicule navigue est complexe : plusieurs routes et voies
=> **le filtre particulaire gère la multi-modalité : état mixte continu/discret**



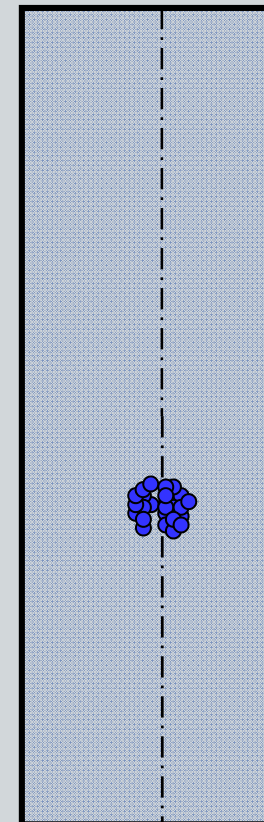
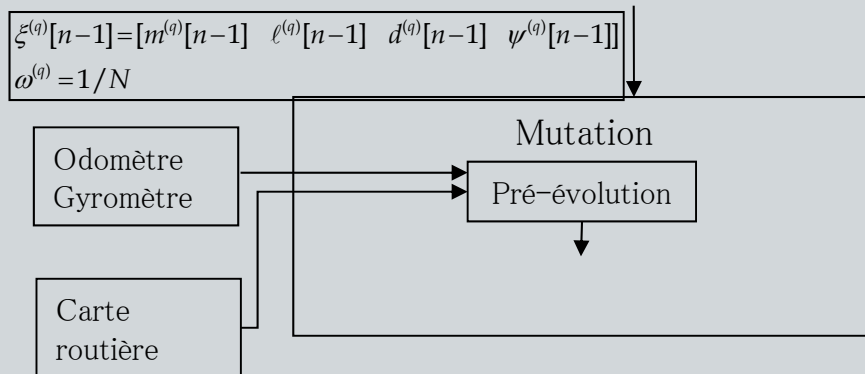
Filtre "bootstrap"



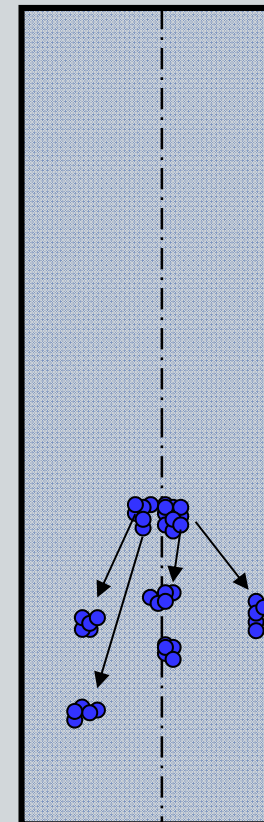
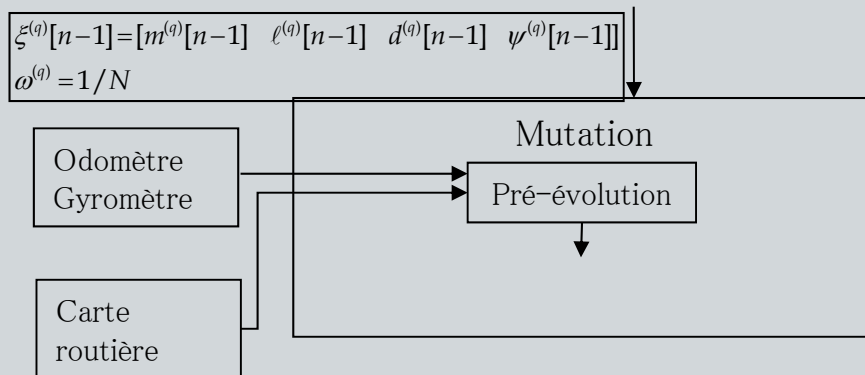
Filtre "bootstrap"



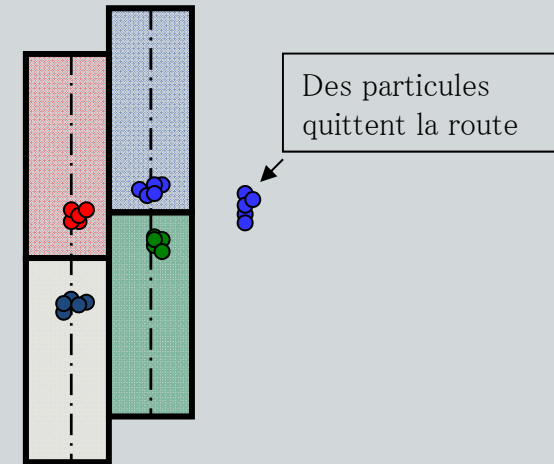
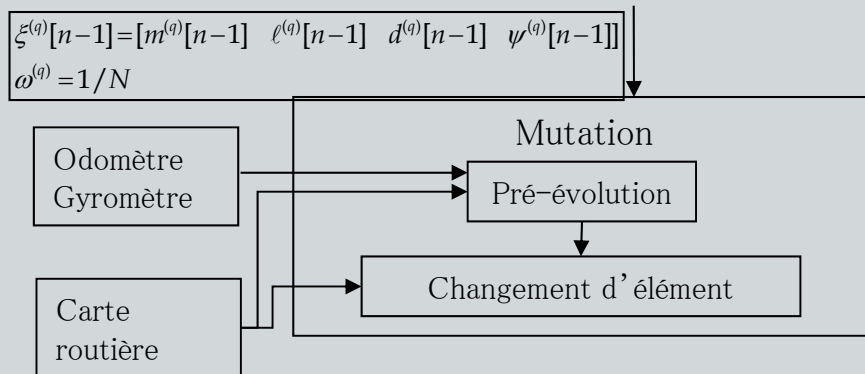
Filtre "bootstrap"



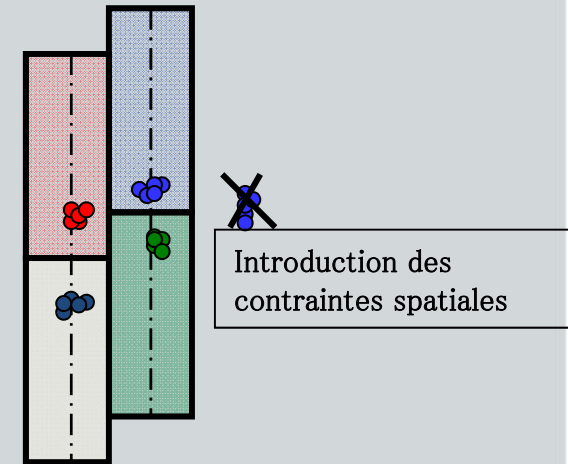
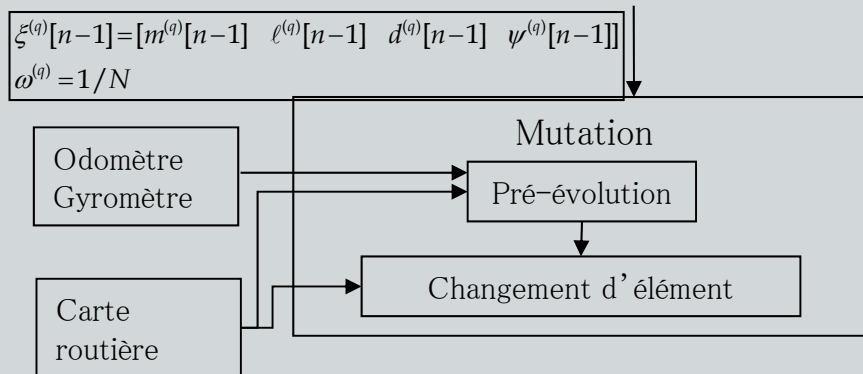
Filtre "bootstrap"



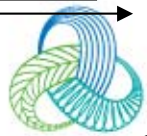
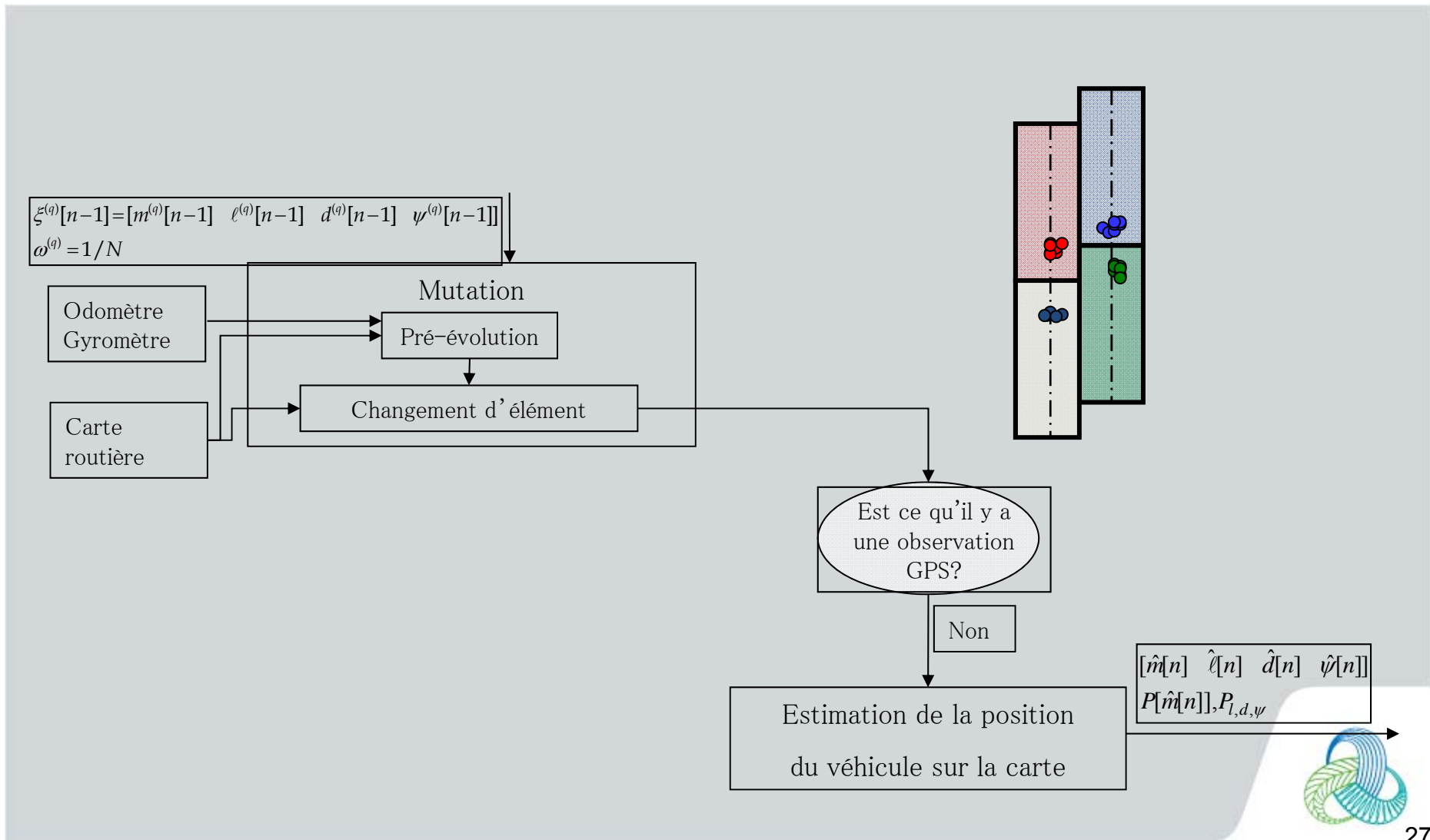
Filtre "bootstrap"



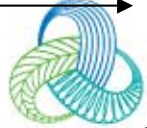
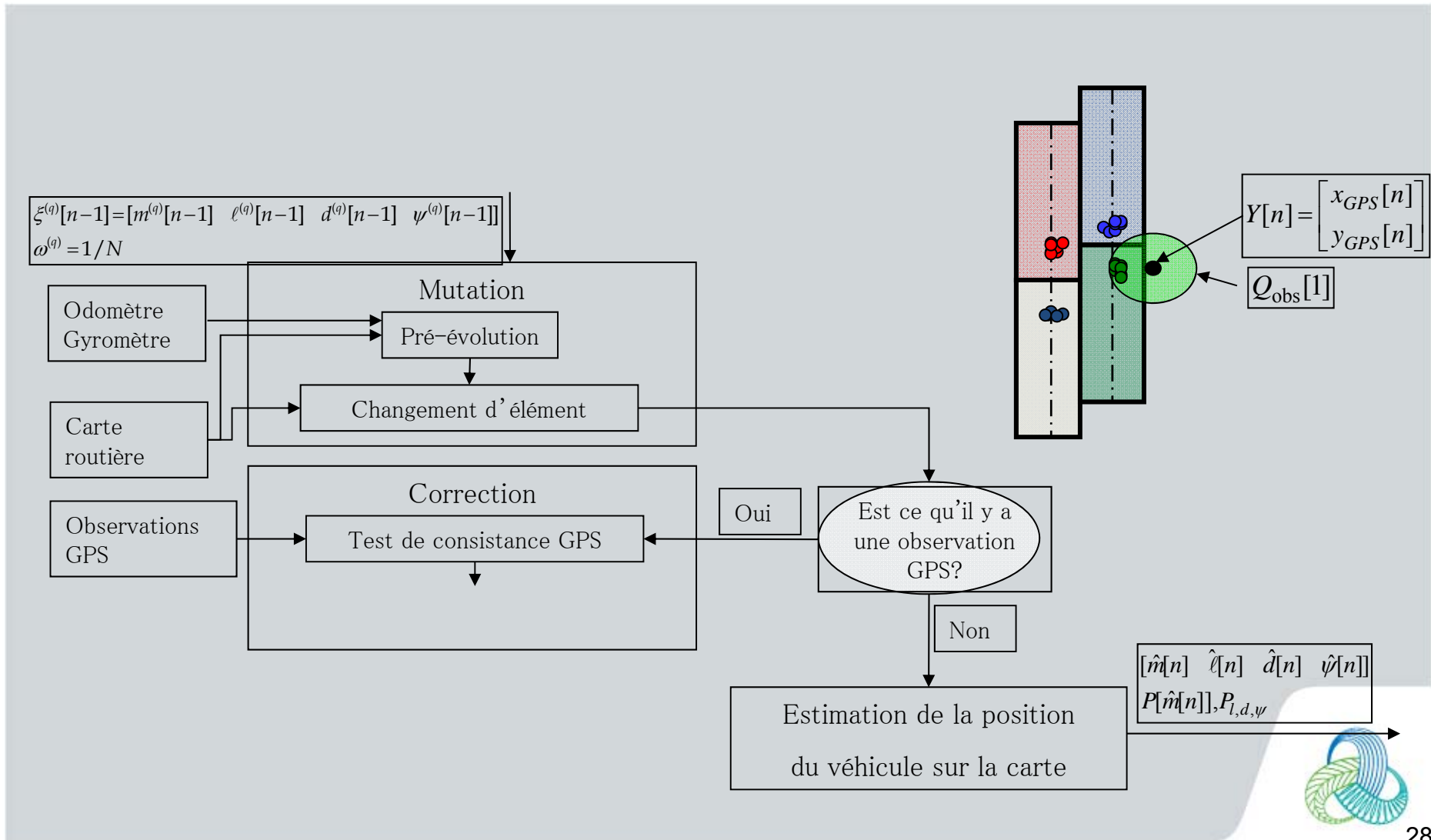
Filtre "bootstrap"



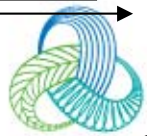
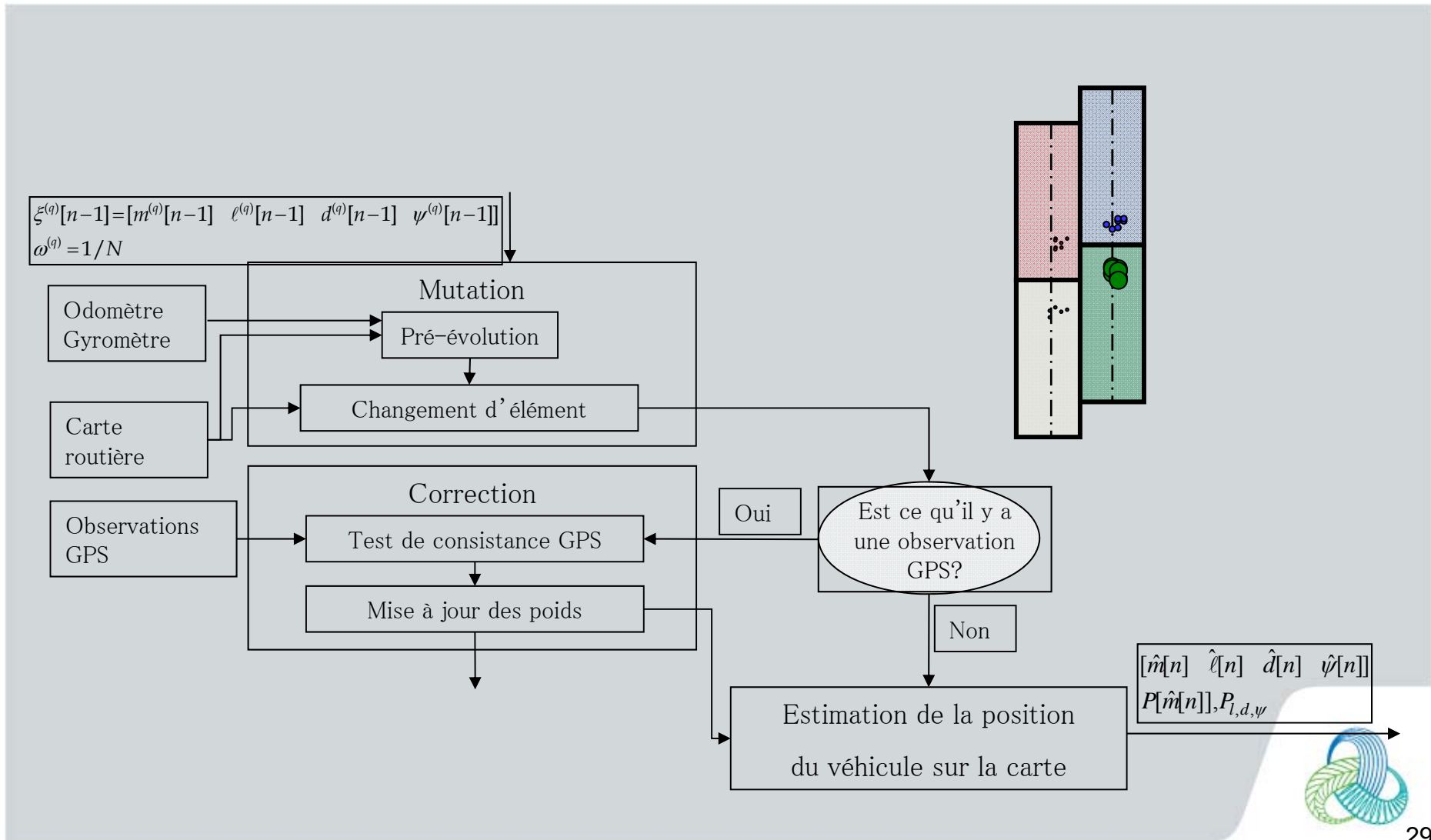
Filtre "bootstrap"



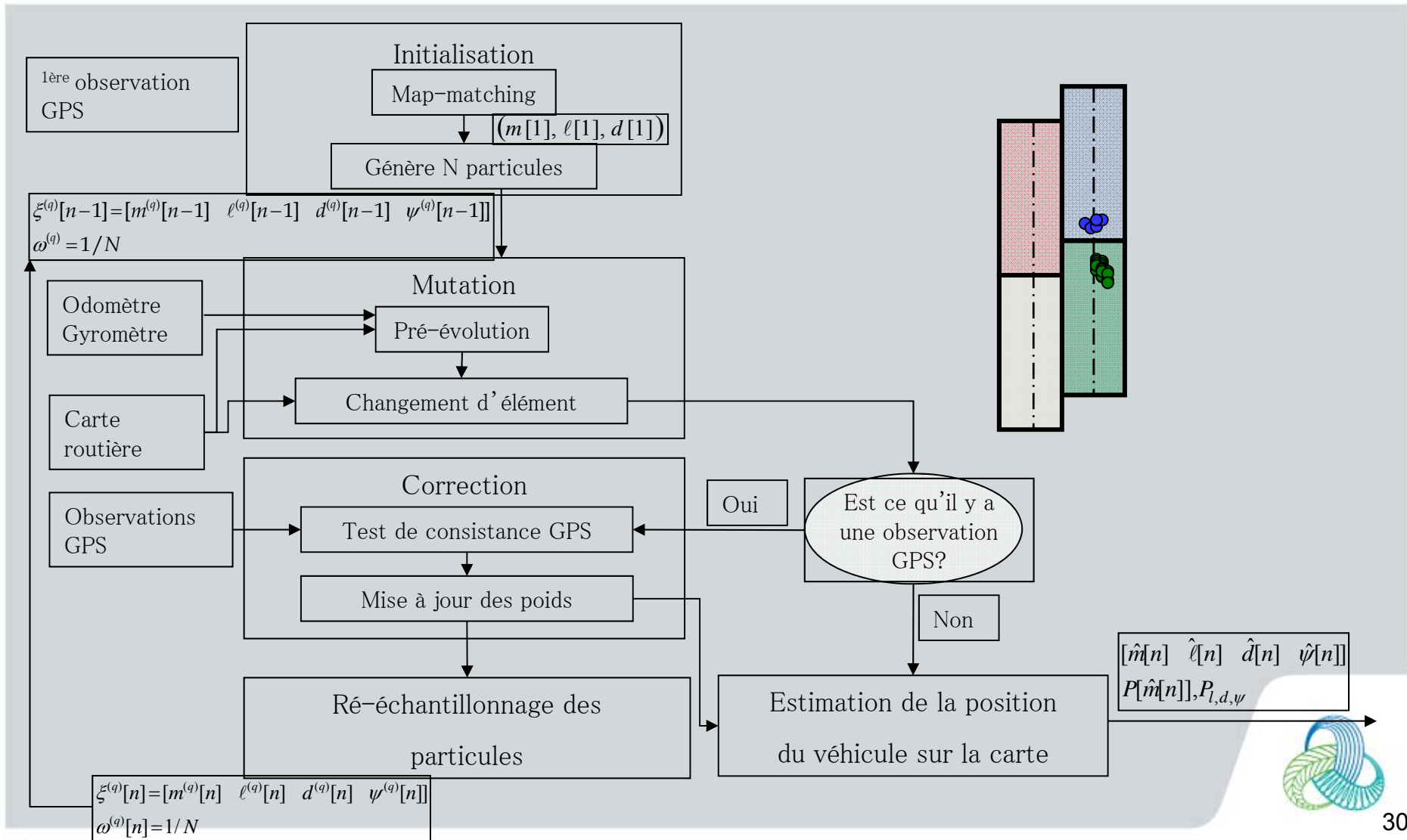
Filtre "bootstrap"



Filtre "bootstrap"



Filtre "bootstrap"



Résumé du *map-aided* par bootstrap

- Initialisation de N particules :
=> autour de la 1ère position GPS
- Evolution : utilisant les coordonnées **curvilignes** seules (ℓ, d) et non (E, N) avec $(|d| < \text{largeur locale de route})$
=> contrainte **latérale** de la route
- Correction : choix des particules les plus proches des positions GPS



Demo CVIS de *lane matching*

- **Le map-matching au niveau de la voie a été démontré avec succès**
- à Stockholm ITS World 2009
- et à Amsterdam Intertraffic 2010

Vidéo



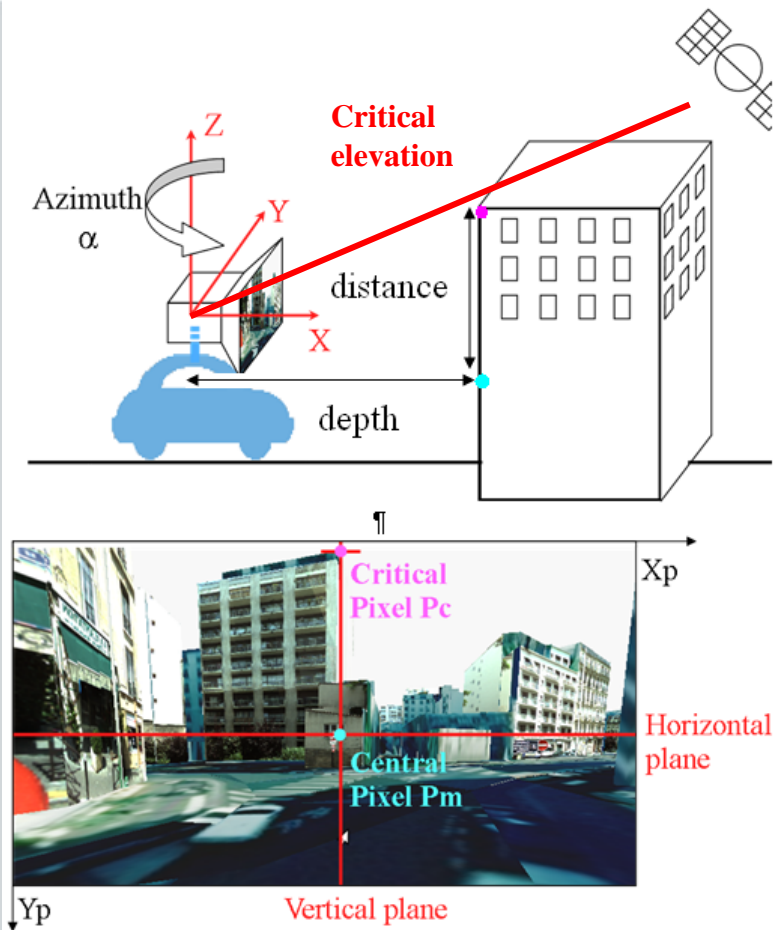
Modélisation 3D d'erreur multi-trajets

- ITS coopératifs :
=> nouvelles applications surtout en ville
- Solutions de navigation GNSS fortement dégradées à cause des multi-trajets => traitement des **données brutes** (pseudo-distances biaisées => distribution non-gaussienne
- Correction : par modélisation géométrique du trajet satellite-récepteur
- Valorisation du travail d'Ahmed en 3D



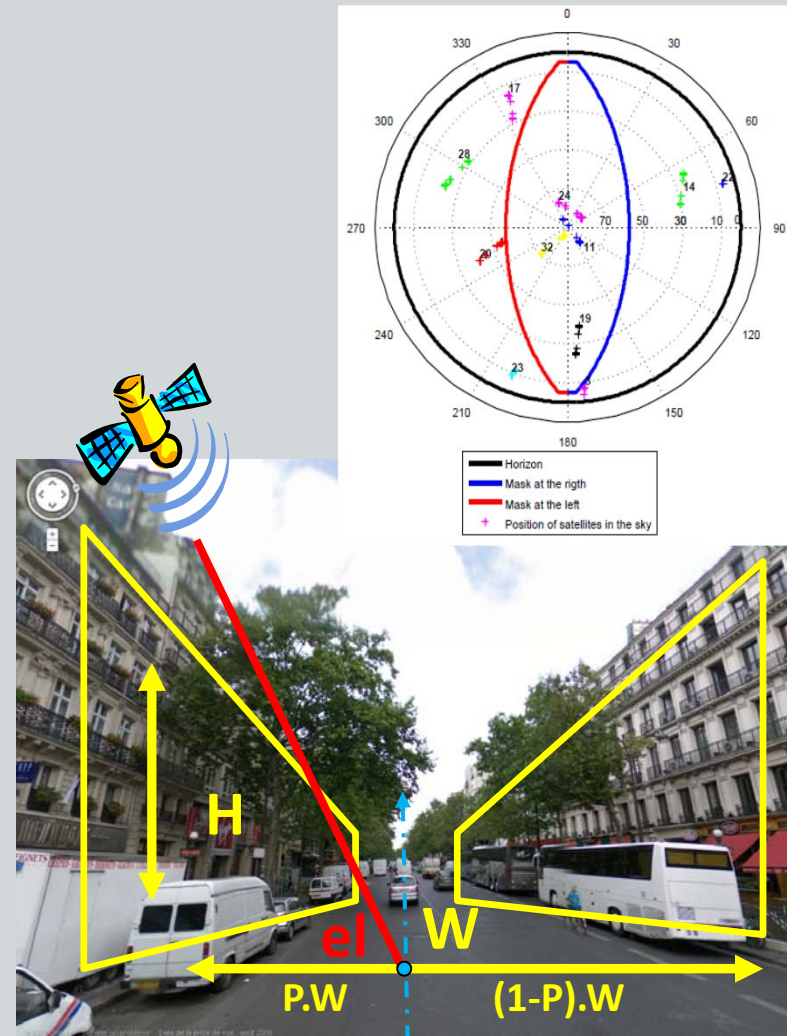
Modélisation 3D d'erreur multi-trajets

- Approche CityVIP (ANR Predit, coop. Benomad, Matis, Xlim)
- Traitement du pb au niveau des pseudo-distances
- Application de contraintes routières en 2D
- Génération d'images en réalité virtuelle à partir de la position estimée et d'un modèle urbain 3D
- Sélection des satellites en vue directe (« élévation critique ») et update du filtre avec les pseudo-distances correspondantes



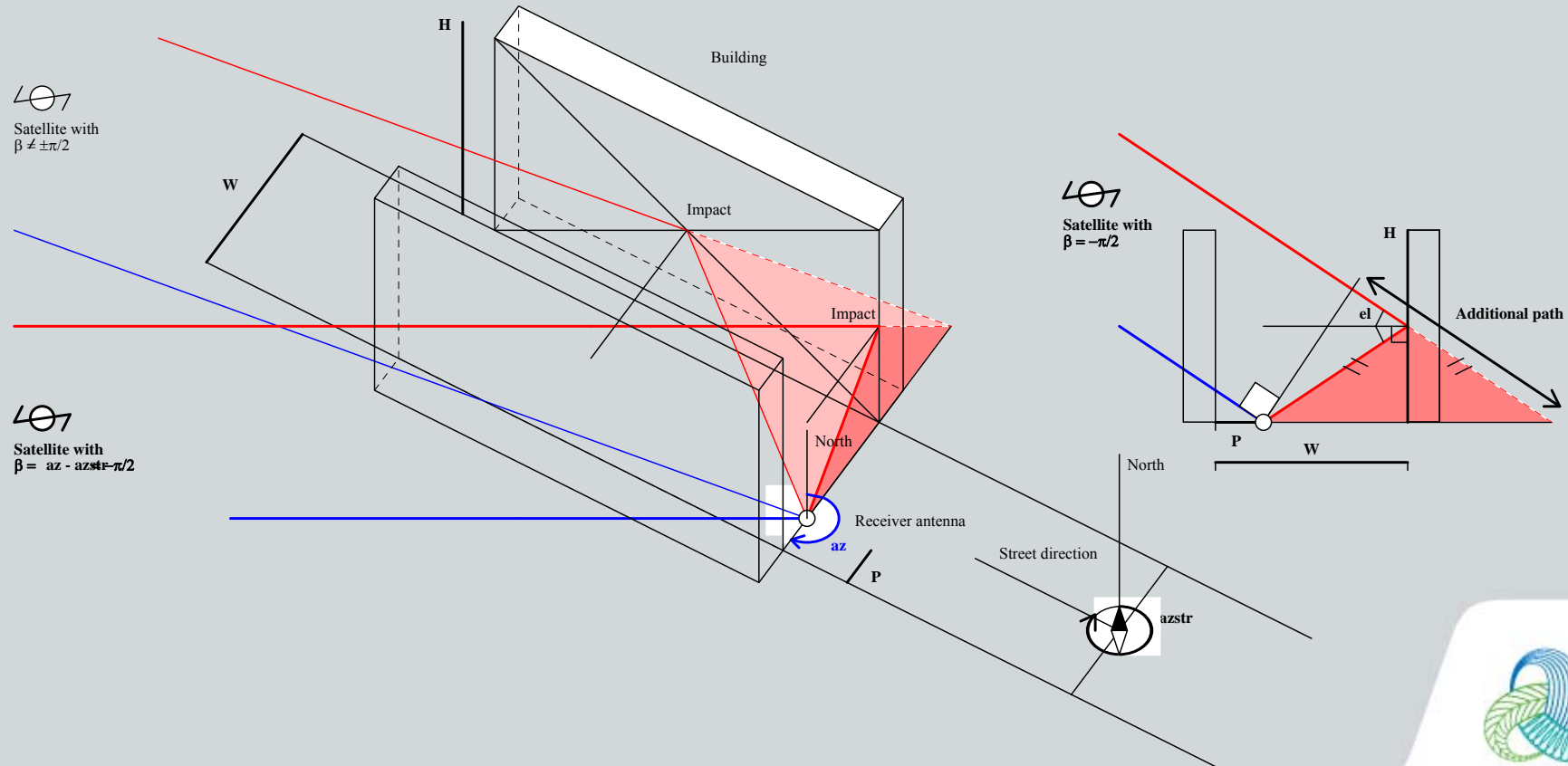
Modélisation 3D d'erreur multi-trajets

- Approche Inturb (DGITM, coop. \int SCM)
- Traitement du pb au niveau des pseudo-distances
- Application de contraintes routières en 2D et gestion de plusieurs hypothèses de voie (P), de même que les travaux de thèse de Ahmed
- Modélisation du bâti en tranchées urbaines 3D (W,H)
- Sélection des satellites en vue directe et correction des distances additionnelles pour les satellites en multi-trajets



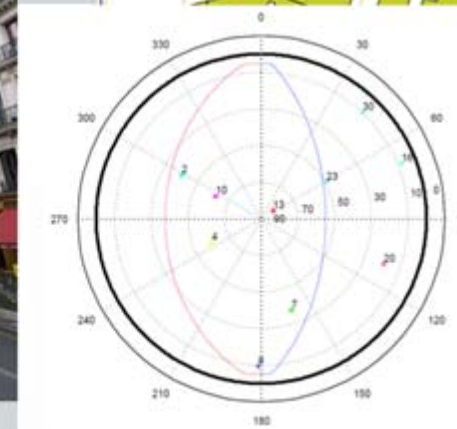
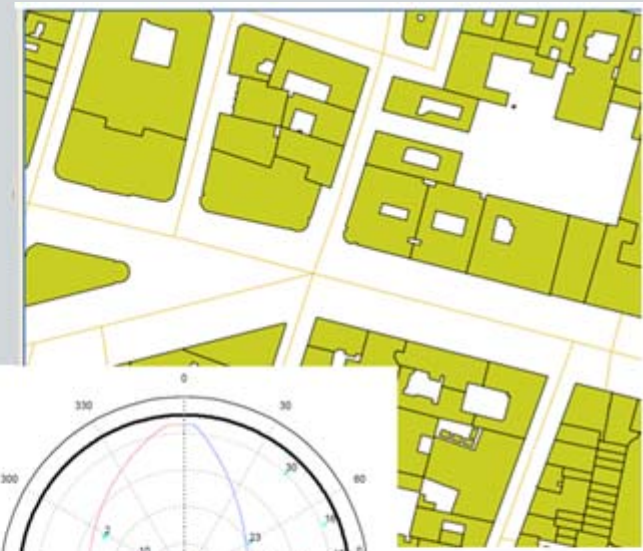
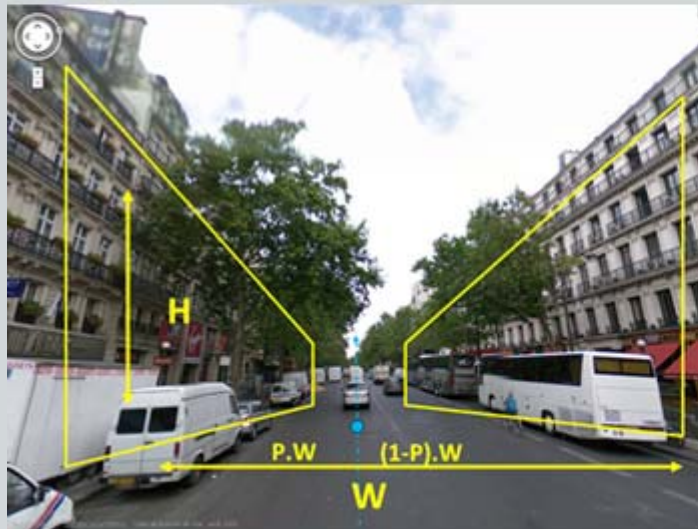
Modélisation 3D d'erreur multi-trajets

- **Approche Inturb**
- Correction des distances additionnelles pour les satellites en multi-trajets



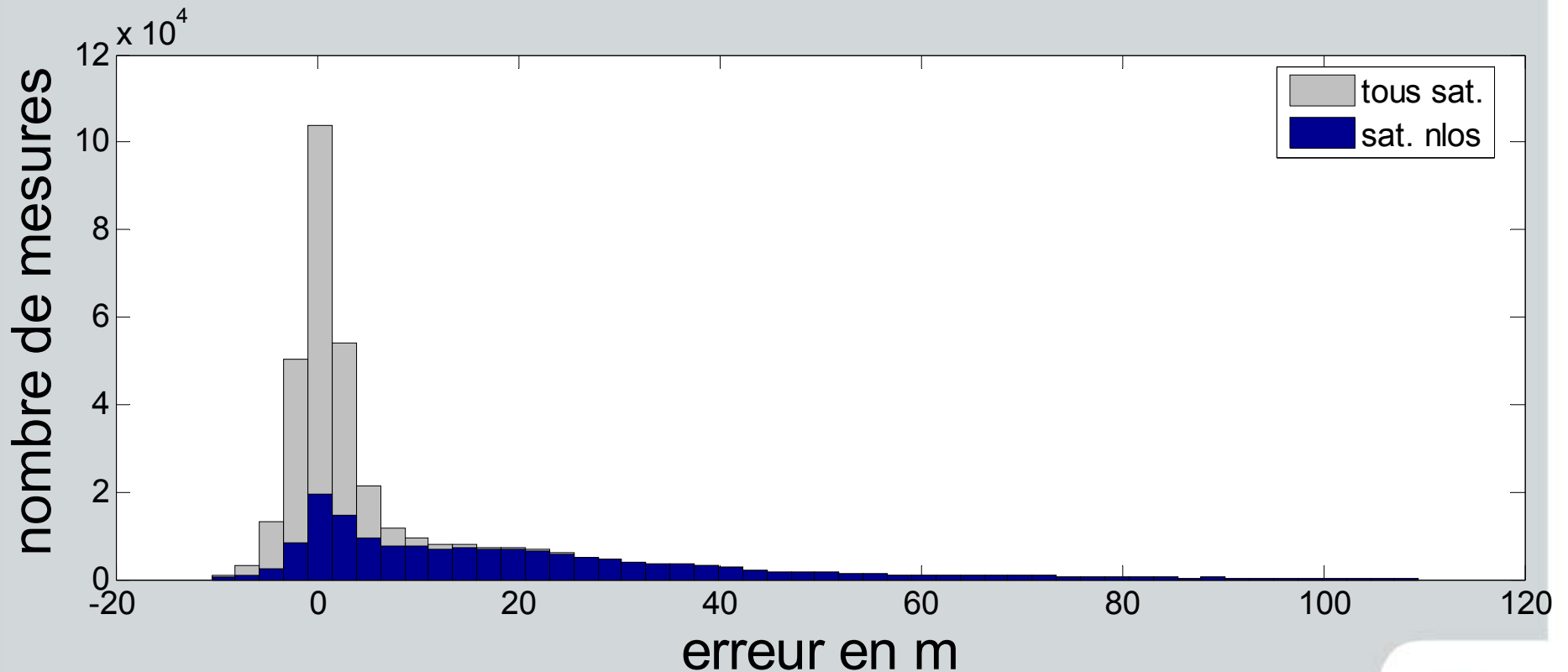
Modélisation 3D d'erreur multi-trajets

- **Approche Inturb : utilisation données BD Topo**
- Stage ESGT 2013
- Calcul du modèle à partir des couches route et bâti, et par segment d'arc routier



Modélisation 3D d'erreur multi-trajets

- **Approche Inturb : tests Paris**



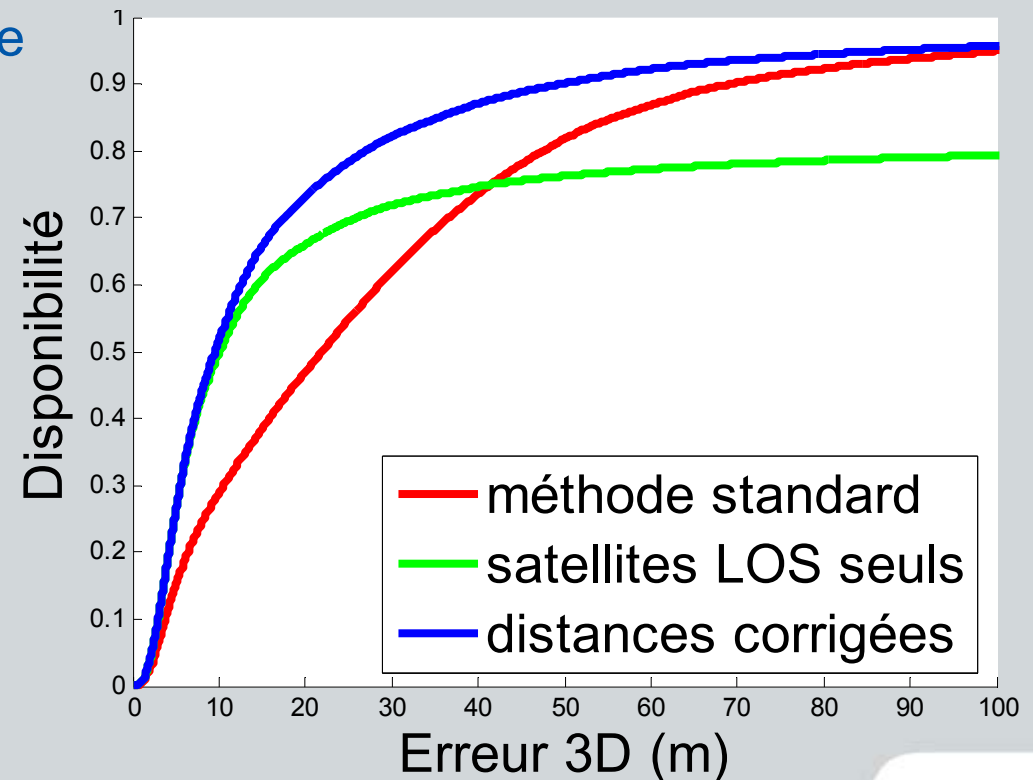
- Histogramme de 362699 erreurs de pseudo-distance, soit 3h à 5Hz, sur Paris Grands Boulevards (99%)



Modélisation 3D d'erreur multi-trajets

- **Approche Inturb : Paris, Nantes et Toulouse**

- Erreur médiane 3D améliorée de 70% sur l'ensemble des 10h de données
- Même disponibilité qu'en standard, i.e. près de 100% (contre 80% en LOS seuls)





Merci pour votre attention

David Bétaille
Ifsttar/COSYS/GEOLOC
Route de Bouaye - CS 4
44344 - Bouguenais Cedex
+33 2 40 84 56 23
www.ifsttar.fr
david.betaille@ifsttar.fr

