

# Sur l'intégrité de la localisation des véhicules terrestres par hybridation de données GNSS et SIG

Ph. Bonnifait

Heudiasyc UMR 6599

Université de Technologie de Compiègne

PEA Action - 22 Oct 2008 Toulouse

# Plan

- Cœur du discours
  - Intégrité de localisation
    - L'intégrité en aviation civile
    - L'intégrité pour les véhicules terrestres
- Approches présentées
  - Approche dynamique par monitoring de signaux d'innovation
  - Approche par horizon de données
- Applications
  - à l'hybridation de données GNSS et SIG
  - au calcul de zone de protection

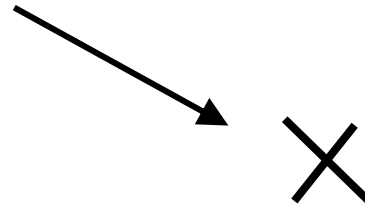
## Caractéristiques d'un système de localisation

- Couverture
- Dynamique
  - Fréquence et latence
- Répétabilité
- Justesse
- Intégrité
- Disponibilité
- Continuité

Les 4 critères de l'aviation civile  
pour les GNSS

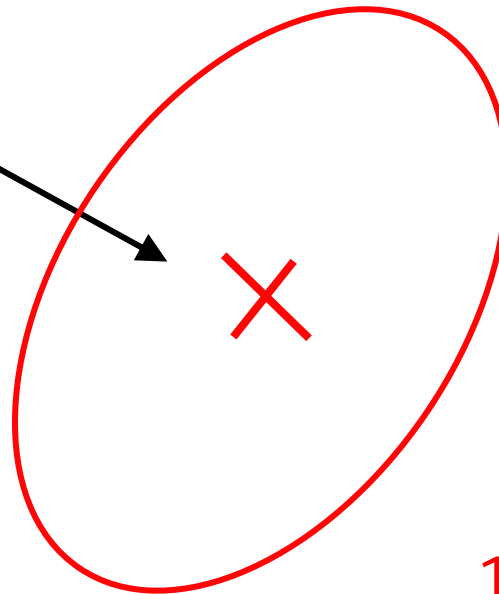
# Les bons vieux temps

Vous êtes là !



## Les temps modernes

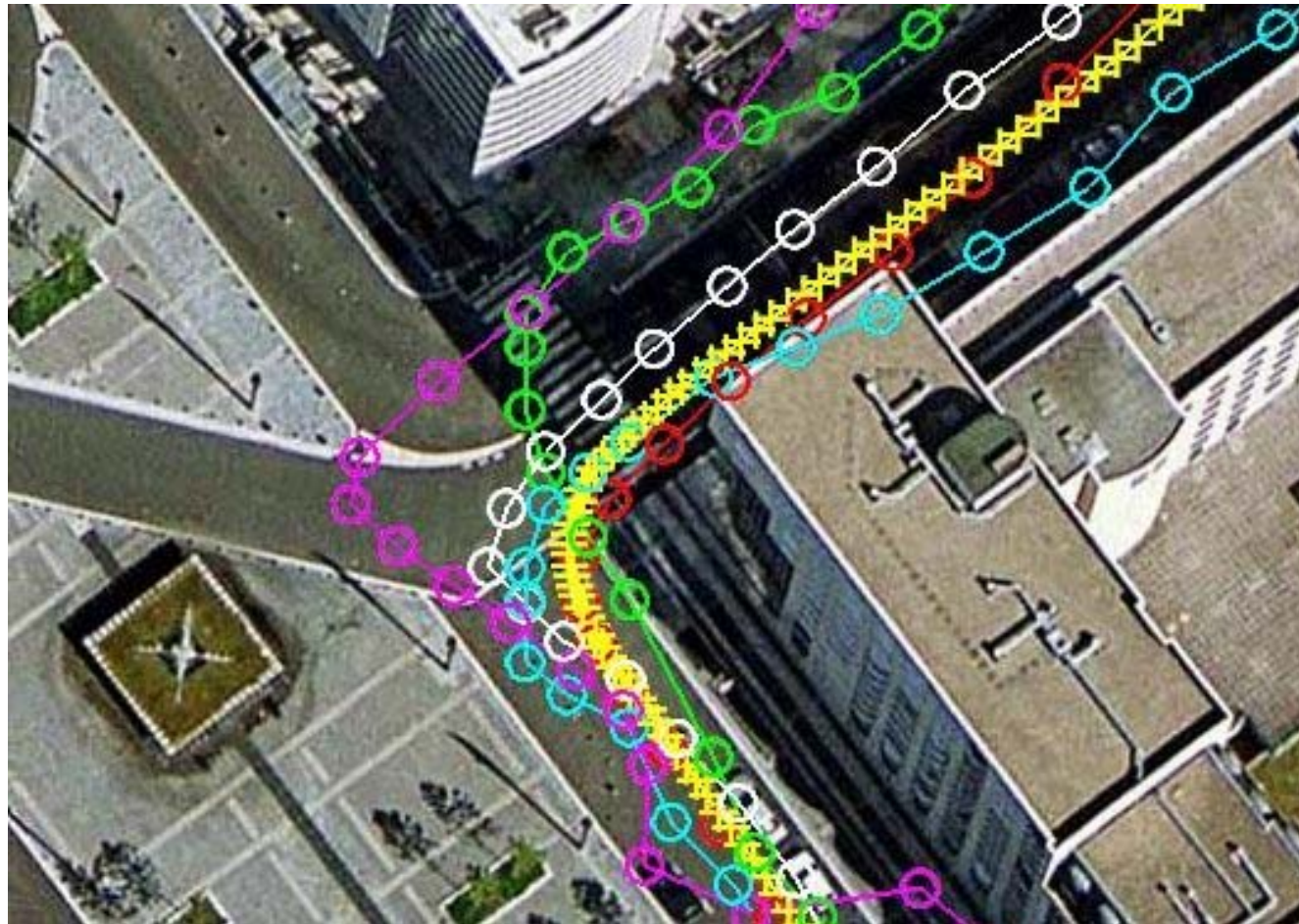
Vous êtes peut-être là !



ou plus exactement  
dans cette zone avec une  
probabilité de 99%

1. Les erreurs de localisation sont très variables
2. Souvent non négligeables

## L'information du second ordre est fondamentale



# L'expérience de l'aviation civile avec les technologies GNSS

## Partie 1

# International Civil Aviation Organization

- **Accuracy**
  - the degree of conformity of information concerning position, velocity, etc. provided by the navigation system relative to actual values.
- **Integrity**
  - measure of the trust that can be put in the information from the navigation system, i.e., the likelihood of undetected failures in the specified accuracy of the system.
- **Availability**
  - a measure of the percentage of the intended coverage area in which the navigation system works
- **Continuity of service**
  - the system's probability of continuously providing information without non-scheduled interruptions during the intended working period.



# Systemes GNSS

## Causes de pertes d'intégrité

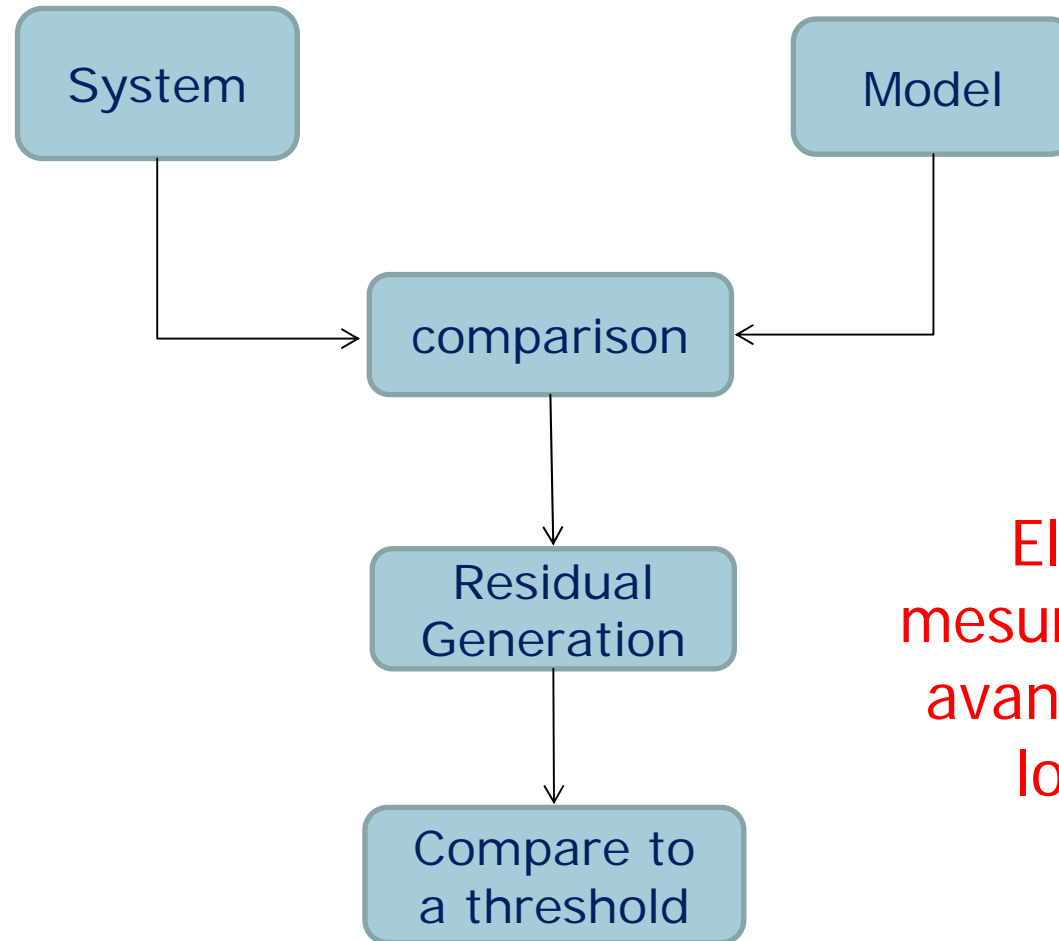
- Pannes des satellites
- Interférences
- Dégradations malveillantes

## Solutions

- Monitoring externe (collaborative)
  - Stations au sol qui surveillent les signaux GPS
  - EGNOS, WAAS, MSAS
- Monitoring interne (autonome)
  - Exploitation de la redondance des données
  - Difficultés particulières
    - Bruit
    - Les offsets

# RAIM

## (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)



Eliminer les  
mesures douteuses  
avant le calcul de  
localisation

# Détection de défauts en RAIM

## Principe

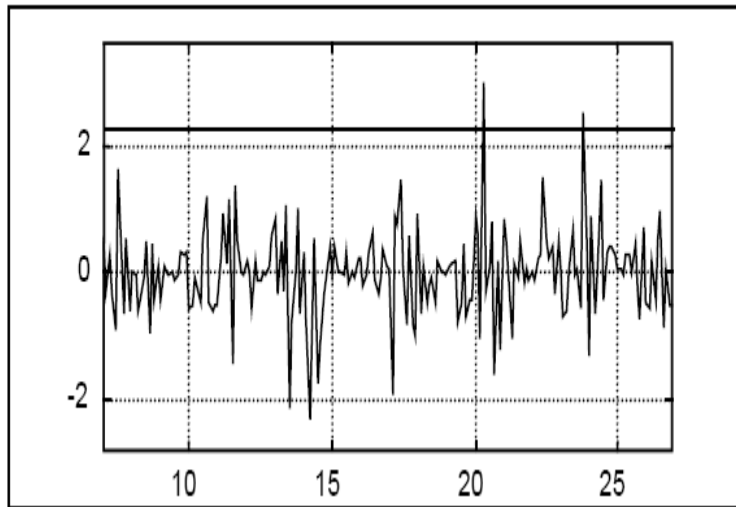
1. Calcul des résidus
2. Test d'hypothèse sur la norme des résidus

Si il n'y a pas de défaut et si le bruit sur les pseudo distances est un bruit gaussien de moyenne nulle, la norme des résidus suit une loi du Chi 2

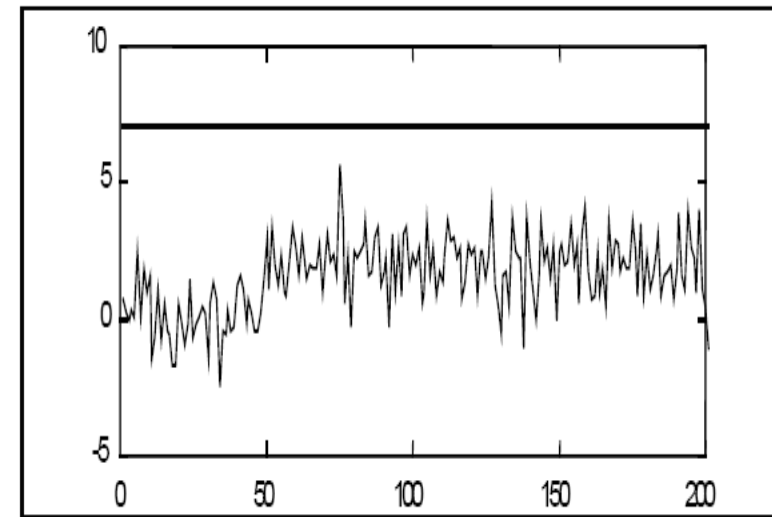
$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i^2}{\sigma_i^2} \sim X_{(n-m)}^2$$

**Si le test échoue alors les résidus sont biaisés**  
**Si les résidus sont biaisés alors un défaut est (très probablement) présent**

## Détection de faute dans les résidus



False alarm



Missed detection

Risque :  
éliminer des données saines  
et perdre de l'information

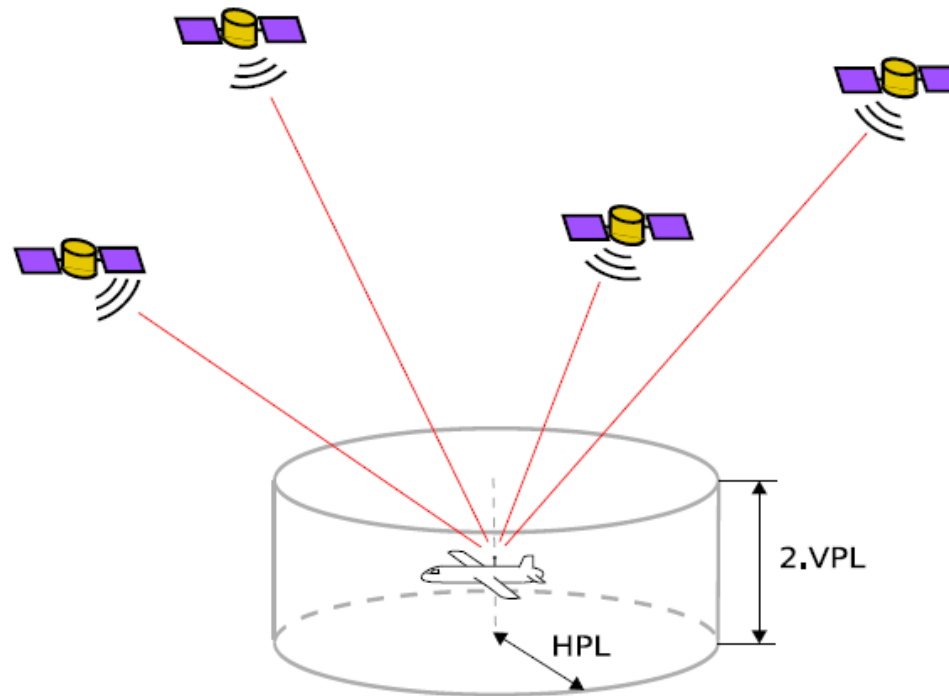
Risque : avoir des données  
contaminées (qui ne respectent  
pas nos hypothèses) et donc  
calculer une mauvaise zone de  
localisation

## Intégrité interne

- Aptitude à détecter un défaut
- Elle dépend
  - de la redondance (degré de liberté)
  - du bruit de mesure
  - de la configuration géométrique
- Le plus petit défaut détectable dépend de la probabilité de fausse alarme choisie
  - MDB – Minimum Detectable Bias

## Intégrité externe

- Calcul d'une zone de protection (HPL, VPL)



Maximum error due to an undetected fault

## Le calcul standard

$$Y = h(X) \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \vdots \\ \rho_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x - x_{s1})^2 + (y - y_{s1})^2 + (z - z_{s1})^2} + c.dtu \\ \vdots \\ \sqrt{(x - x_{sn})^2 + (y - y_{sn})^2 + (z - z_{sn})^2} + c.dtu \end{bmatrix}$$

La résolution de  $Y = h(X)$

est usuellement faite par itération d'une solution linéarisée  $dY = H.dX$

$$\text{Résidus } \varepsilon = Y - h(\hat{X}) = (I - HH^+) \cdot dY = S \cdot dY$$

Résidus avec des fautes  $\varepsilon = S \cdot (dY + E)$  **Bruit + défaut**

→ On applique le principe de superposition



## On oublie d'abord le bruit

$$\varepsilon = (I - HH^+) \cdot E$$

Si il existe **un seul défaut** d'amplitude  $b$  sur le  $i^{\text{eme}}$  satellite alors

$$E = \begin{bmatrix} 0 & \dots & b & \dots & 0 \\ 1 & & i & & N \end{bmatrix}$$

Il provoque une erreur dans le plan horizontal :

$$e_{hor}^i{}^2 = \left( H_{(1,i)}^{+2} + H_{(2,i)}^{+2} \right) \cdot b^2 = HSlope_i \times \|\varepsilon\|^2$$

Si aucun défaut n'a été détecté,  
on étudie l'impact du défaut sur chaque mesure

$$\|\varepsilon\|^2 < Thd(P_{fa}) \Rightarrow \forall i \ e_{hor}^i{}^2 < HSlope_i \times Thd$$

On considère le pire cas : Approximate Radius of Protection (ARP)

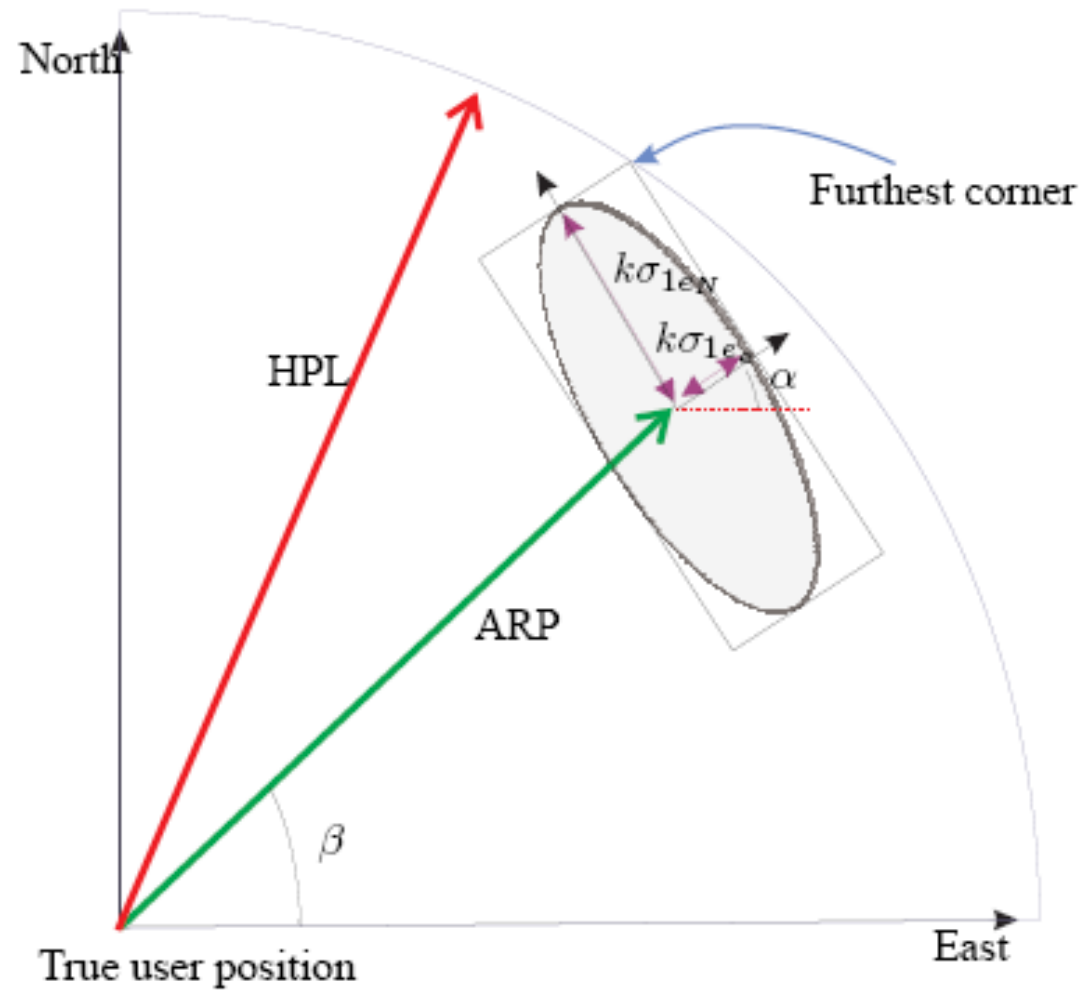
$$ARP = \max_i HSlope_i \times Thd$$

# On ajoute ensuite l'effet du bruit

Principe de superposition

$$HPL = ARP + f(P_{md})$$

B. Belabbas and F.Gass. 2005.



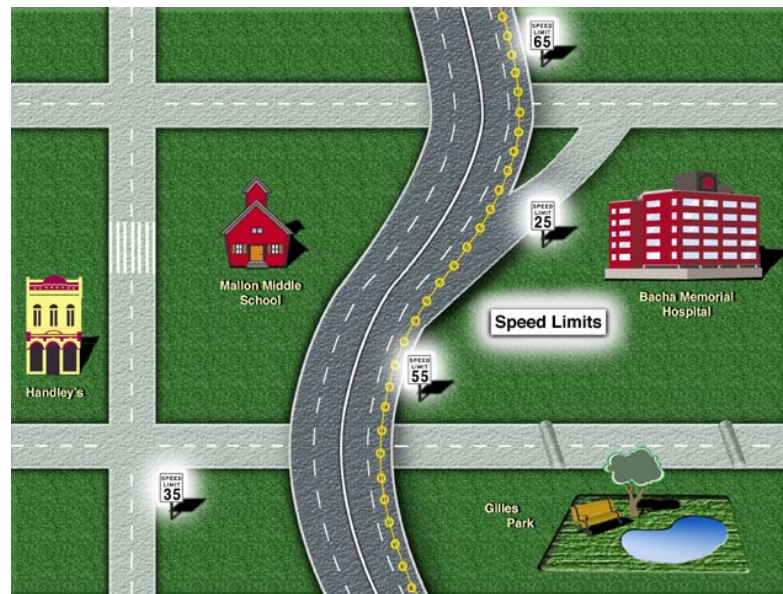
# Intégrité pour les véhicules terrestres GNSS + autres sources de données

## Partie 2



## Causes de pertes d'intégrité

- Pannes des satellites
- Interférences
- Dégradations malveillantes
- Multi-trajets
- Erreurs d'association (amers non discernables)
  - Ambiguïté de la situation
  - Amers mal cartographiés



# Hybridation

{GNSS, proprios, cartographie}

Travaux de thèse de Clément Fouque

## Stratégie

- On suppose les données proprioceptives intègres
  - bus CAN → pas de défaut, pas de malveillance
  - pas de glissement
- Les pertes d'intégrité proviennent des données extéroceptives

## Caractéristiques des mesures extéroceptives

- Avec un GNSS, les amers sont discernables
  - Pas d'erreur d'association
  - Il y a des mesures aberrantes
- Avec une carte, il faut
  - procéder à une étape d'association de données
  - gérer les décalages de carte

# Méthodologie

- Deux mécanismes
  - Obtenir une localisation globale intègre
    - Approche statique comme pour le RAIM
  - Faire du suivi de pose (localisation dynamique)
    - Monitorer les signaux d'innovation



## Suivi de pose prudent

- Principe
  - Disposer de capteurs proprioceptifs intègres
  - Utiliser la carte et les mesures de pseudo-distance comme observations dans un filtre de Kalman
  - Tester la consistance des observations avec leurs prédictions (signaux d'innovations)
  - En cas de doute, rejeter les observations
- Approche mono-hypothèse
  - En cas d'ambiguïté ne pas utiliser la carte
- Décalage de la carte
  - Utiliser une mesure d'angle de cap

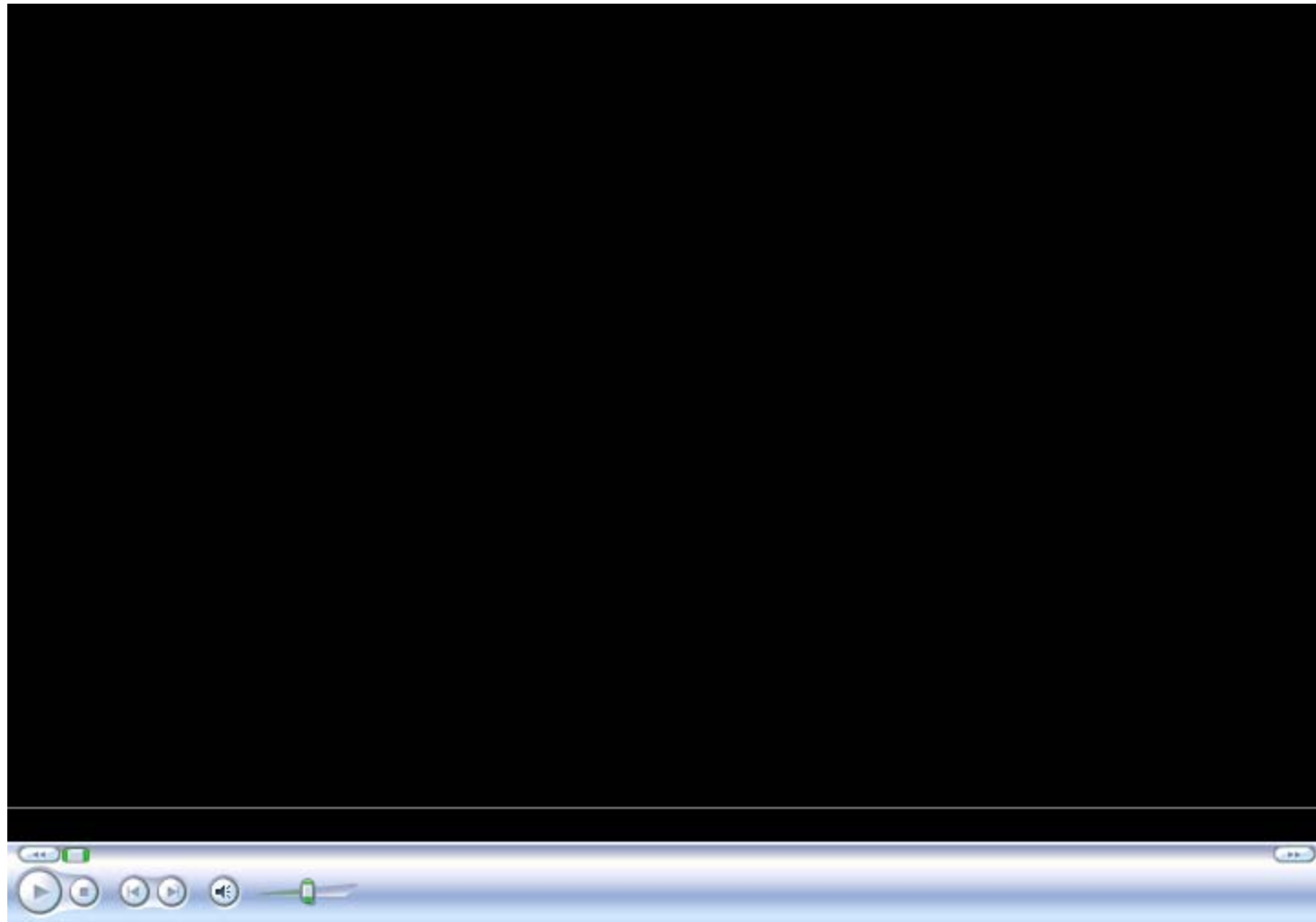
## Expérimentations

- Récepteur GPS Septentrio PolarX
  - L1, mode naturel
- Gyro KVH
- Capteur de vitesse des roues arrières
- Base navigable (NavTeQ 2007)



## Multiple models observation Kalman filter

Only 7 states Kalman Filter



# Calcul de zones de protection

Thèse Olivier Le Marchand  
Co-encadrement avec :  
F. Peyret (LCPC)  
J. Ibañez Guzman (Renault)

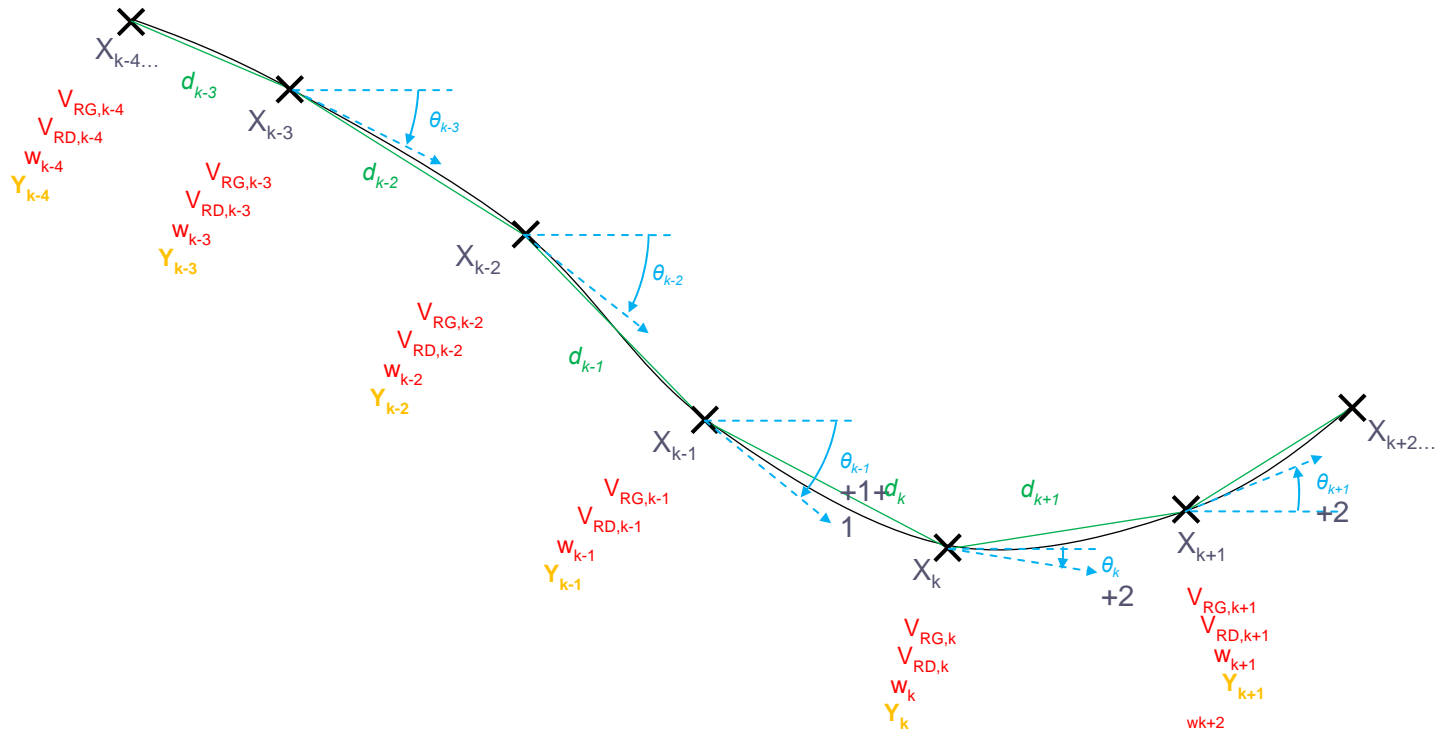
## Changement de contexte

- On oublie la carte navigable
- On se focalise sur la fusion
  - GPS (low cost, automotive like)
  - avec des données du bus CAN
- On souhaite calculer des zones de protection



## Idée : horizon de données

- Faire une estimation de la position sur plusieurs époques consécutives en s'aidant des capteurs proprioceptifs
- Gains attendus
  - Détection de défauts
    - facilitée par rapport à une estimation époque par époque
    - On peut tester les capteurs proprioceptifs
    - étendue dans les cas de faible visibilité satellitaire
  - Des niveaux de protection plus faibles qu'avec une estimation à chaque époque



## Idée principale

$$\underbrace{\begin{bmatrix} dX_k \\ \vdots \\ dX_{k-p} \end{bmatrix}}_{\text{positions}} = O^+ \times \begin{bmatrix} dY_k \\ \vdots \\ dY_{k-p} \\ dP_k \\ \vdots \\ dP_{k-m} \end{bmatrix} \begin{matrix} \left. \begin{matrix} \vdots \\ dY_{k-p} \end{matrix} \right\} \text{Pseudo-ranges} \\ \left. \begin{matrix} dP_k \\ \vdots \\ dP_{k-m} \end{matrix} \right\} \text{Proprios} \end{matrix}$$

Grâce à cette formulation on peut  
appliquer les algorithmes classiques



## On peut aller plus loin !

On peut aussi expliciter des contraintes :

- vitesse constante
- altitude constante
- ...

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{0} = l(X_{k-n}, \dots, X_k) \\ P_k = g(X_{k-m}, \dots, X_k) \\ Y_k = h(X_k) \end{array} \right.$$

## Mise en œuvre

On empile  
(on bufferise)

On linéarise

$$\begin{cases} \vec{0} = l(X_{k-n,k}) \\ P_{k-n,k} = g(X_{k-n,k}) \\ Y_{k-n,k} = h(X_{k-n,k}) \end{cases}$$

On applique le RAIM présenté précédemment

(FDE + ARP + HPL)

## Exemple avec le capteur de vitesse de la roue arrière droite d'une voiture

Contraintes d'évolution

Vitesse roue arr dr au temps k

Vitesse roue arr dr au temps k-1

Pseudorange Au temps k

Pseudorange au temps k-1

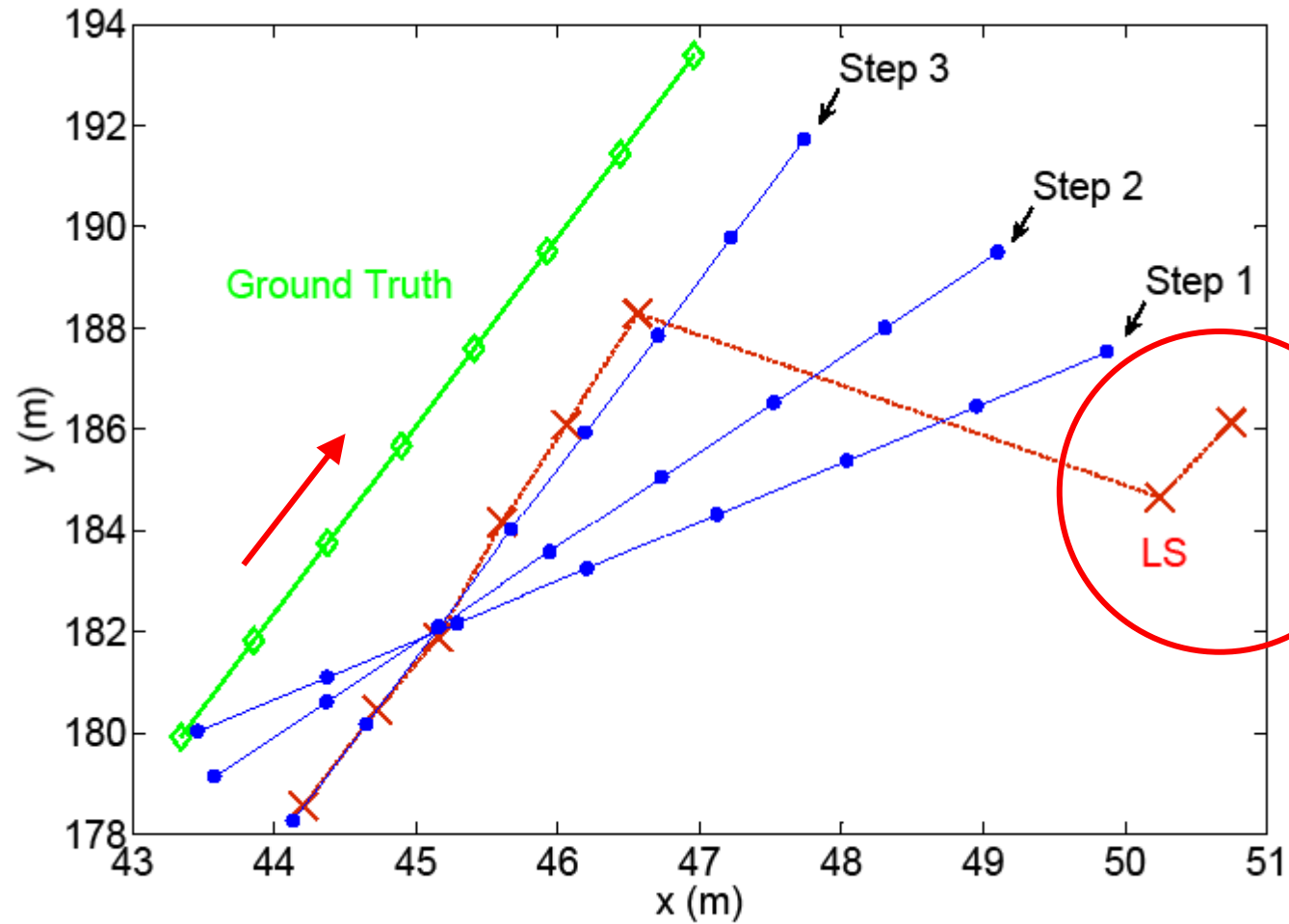
$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ dv_{rl,k} \\ dv_{rl,k-1} \\ d\rho_k \\ d\rho_{k-1} \\ d\rho_{k-2} \\ d\rho_{k-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^{dz} & -L^{dz} & 0 & 0 \\ 0 & L^{dz} & -L^{dz} & 0 \\ 0 & 0 & L^{dz} & -L^{dz} \\ G_{k,0}^{rl} & G_{k,1}^{rl} & G_{k,2}^{rl} & 0 \\ 0 & G_{k-1,0}^{rl} & G_{k-1,1}^{rl} & G_{k-1,2}^{rl} \\ H_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_{k-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_{k-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_{k-3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dX_k^a \\ dX_{k-1}^a \\ dX_{k-2}^a \\ dX_{k-3}^a \\ \dots \end{bmatrix}$$

Position au temps k

Position au temps k-1

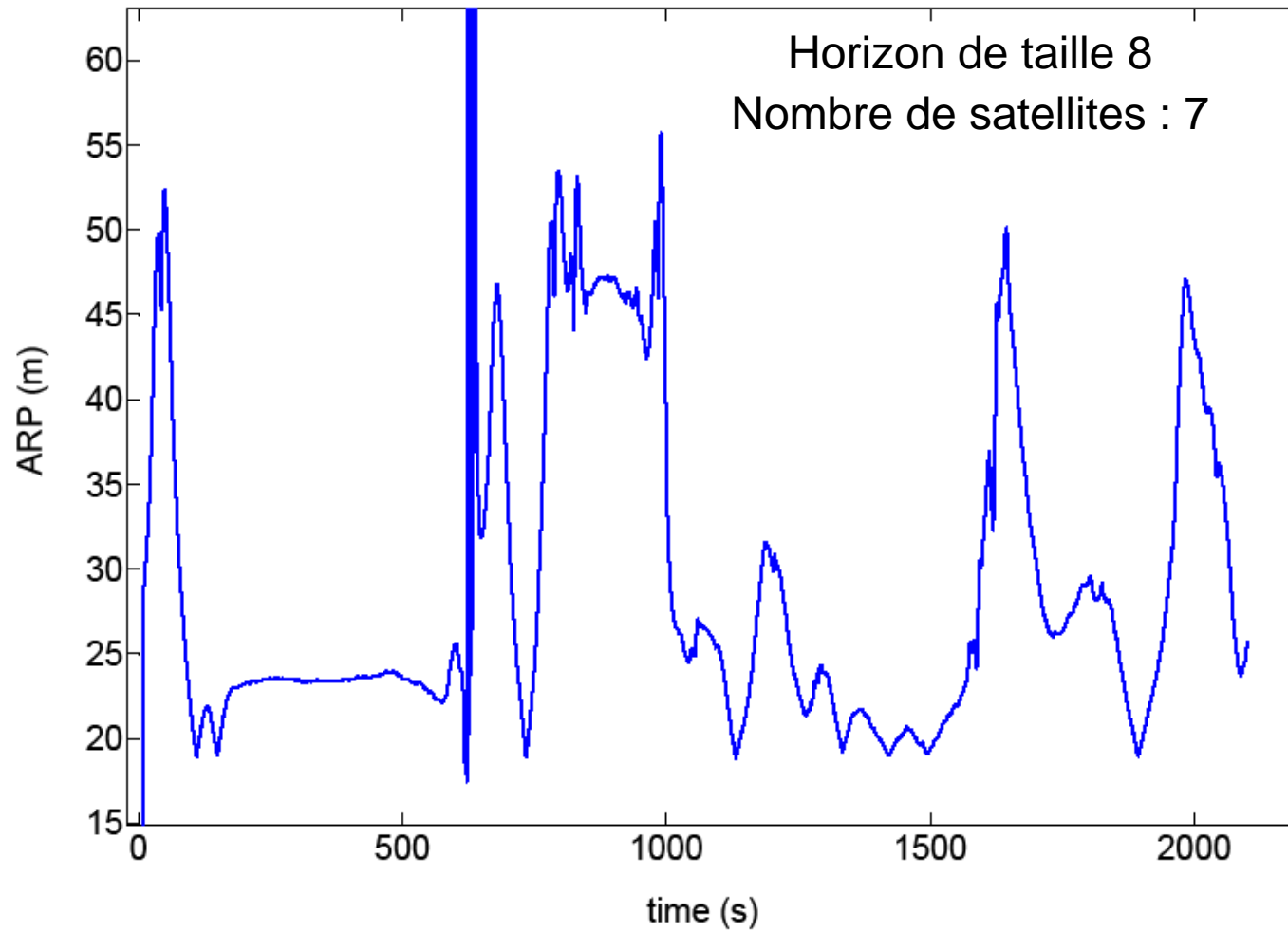
Position au temps k-2

## Résultats du FDE

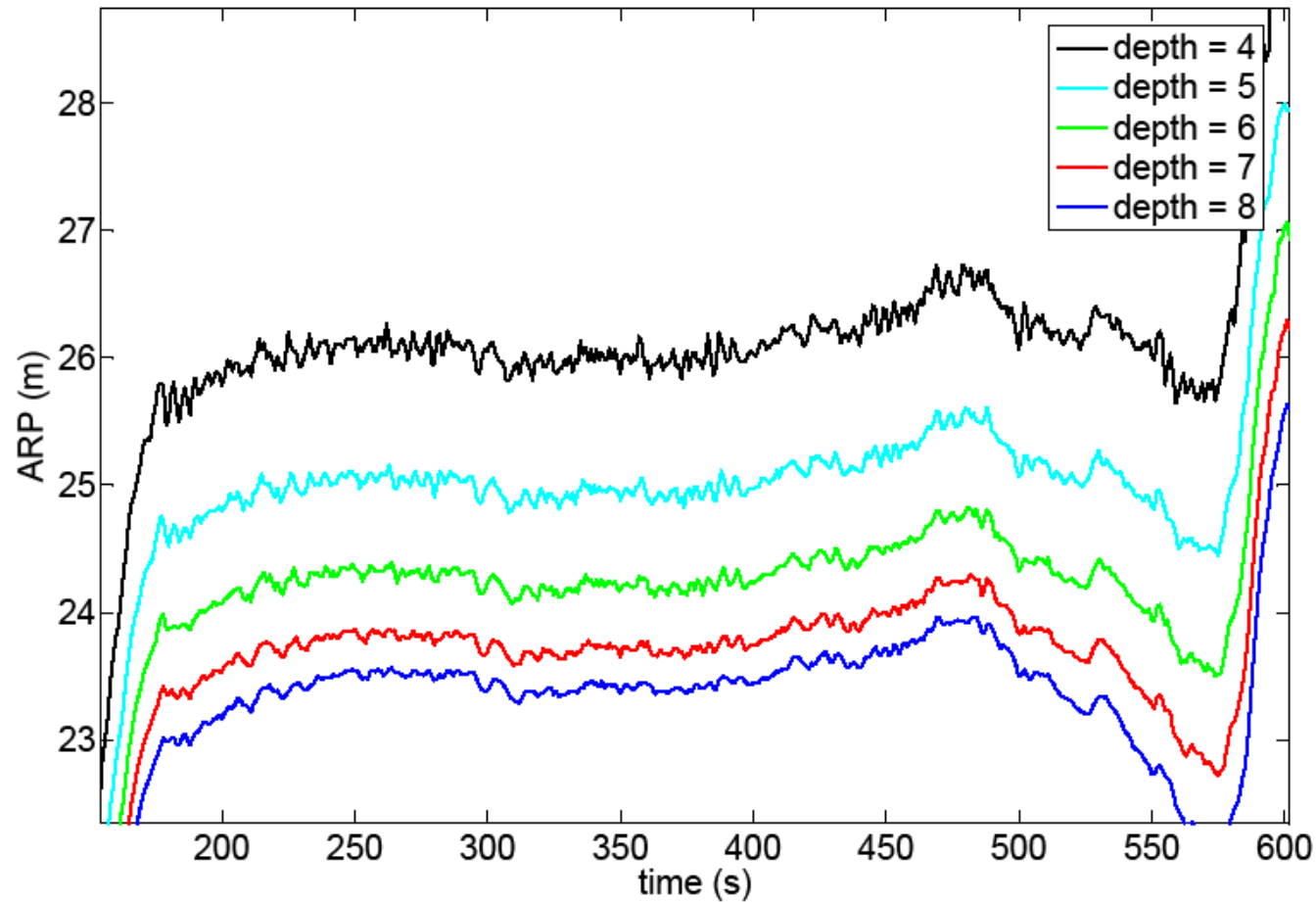


effet d'une  
PR  
contaminée

# Calcul d'ARP



## Effet de la taille de l'horizon de données sur l'ARP



## Conclusion

- RAIM standard
- Spécificités pour les véhicules terrestres
- Approches présentées
  - Monitoring interne par analyse de la redondance
    - Intégrité interne par observateur d'état dynamique prudent
    - Quantification de l'intégrité externe (zone de protection) par horizons de données

## Perspectives

- Lien avec les méthodes robustes statiques
  - Par tirage aléatoire
    - Ransac
  - Par itération déterministe
    - M-estimateurs
    - Least Median Squares
  - Par approche ensembliste
    - Inversion ensembliste
- Lien avec les approches dynamiques
  - Intégration de la prédiction d'un modèle dynamique (Hewitson 2006)
  - Propagation de contraintes robuste (Jaulin 2008)



Merci de votre attention !

