

Estimation de l'attitude d'un véhicule à partir d'un système de fusion multi-capteurs basé sur le filtrage particulaire

Hiba Al-Assaad^{**}, Christophe Boucher^{**}, Ali Daher^{*}, Ahmad Shahin^{*} et Jean-Charles Noyer^{**}

^{**}IUT LCO/ULCO–LISIC (France)

^{*}UL (Liban)

Email : hiba.al-assaad@etu.univ-littoral.fr



Plan

Introduction

Modélisation du problème

- Equation de dynamique
- Equations de mesures GPS, OSM et DEM

Estimation de l'attitude du véhicule

- Etape de prédiction
- Etape de correction GPS
- Etape de mise en correspondance OSM
- Etape de triangulation DEM

Résultats expérimentaux

- Contexte d'expérimentation
- Estimation de la localisation 3-D
- Estimation de l'attitude

Conclusion



Introduction

L'objectif de ce travail est d'estimer la localisation et l'attitude d'un véhicule terrestre en fusionnant les données GPS, OSM et DEM via un filtre non linéaire

Ce travail présente les performances en estimation du filtrage particulaire et des algorithmes probabilistes de mise en correspondance cartographique pour le suivi d'un véhicule, à l'aide de cartes routières numériques afin d'améliorer sa localisation au sol

Nous proposons également une nouvelle méthode de triangulation de données DEM permettant de d'estimer en tout point GPS son élévation MSL correspondante dans le modèle ASTER

Avantages du filtrage particulaire :

- traitement direct des non-linéarités de modèles
- performances en précision d'estimation



Modélisation du problème

Equation de dynamique du véhicule (1/2)

- Le vecteur d'état est :

$$X_t = (x_t, v_t^x, \gamma_t^x, y_t, v_t^y, \gamma_t^y, z_t, v_t^z, \gamma_t^z)^T$$

- Le mouvement du véhicule est représenté par un ensemble d'équations cinématiques à temps discret :

discrétisation des équations de navigation : $\Delta t = 1s$

$$\begin{pmatrix} u_{t+1} \\ v_{t+1}^u \\ \gamma_{t+1}^u \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{F_u} \begin{pmatrix} u_t \\ v_t^u \\ \gamma_t^u \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Omega_t^u \\ \Omega_t^{v^u} \\ \Omega_t^{\gamma^u} \end{pmatrix}$$

- Avec : $u = \{x, y, z\}$

bruits blancs gaussiens



Modélisation du problème

Equation de dynamique du véhicule (2/2)

- En généralisant, on obtient :

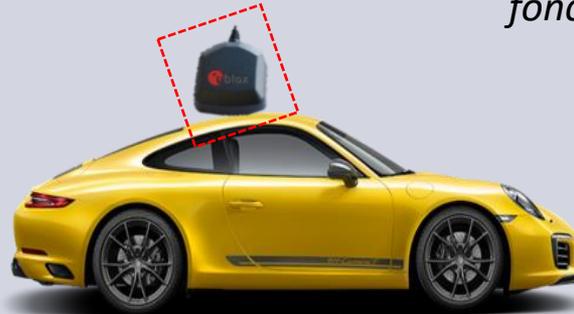
$$X_{t+1} = f(X_t, \Omega_t) = \overset{\text{matrice de dynamique}}{F} X_t + \Omega_t \quad \Omega_t \sim \mathcal{N}(0, Q_t)$$
$$\begin{pmatrix} F_x & \mathbb{O}_{3 \times 3} & \mathbb{O}_{3 \times 3} \\ \mathbb{O}_{3 \times 3} & F_y & \mathbb{O}_{3 \times 3} \\ \mathbb{O}_{3 \times 3} & \mathbb{O}_{3 \times 3} & F_z \end{pmatrix}$$
$$F_x = F_y = F_z$$



Modélisation du problème

Equation de mesure du
positionnement GPS

$$Z_{t+1}^{GPS} = \begin{pmatrix} x_{t+1}^{GPS} \\ y_{t+1}^{GPS} \\ z_{t+1}^{GPS} \end{pmatrix} = \underbrace{h^{GPS}}_{\text{fonction de mesure GPS (linéaire)}}(X_{t+1}) + \underbrace{V_{t+1}^{GPS}}_{V_{t+1}^{GPS} \sim N(0, R_{t+1}^{GPS})}$$



Modélisation du problème

Equation de mesure
cartographique OSM

$$z_{t+1}^{\text{OSM}} = \begin{pmatrix} x_{t+1}^{\text{OSM}} \\ y_{t+1}^{\text{OSM}} \\ \theta_{t+1}^{\text{OSM}} \end{pmatrix} = h^{\text{OSM}}(X_{t+1}) + v_{t+1}^{\text{OSM}}$$

$v_{t+1}^{\text{OSM}} \sim \mathcal{N}(0, R_{t+1}^{\text{OSM}})$

fonction de mesure OSM (non linéaire)



$$\begin{cases} x_{t+1}^{\text{OSM}} &= x_{t+1} + v_{t+1}^{\text{OSM},x} \\ y_{t+1}^{\text{OSM}} &= y_{t+1} + v_{t+1}^{\text{OSM},y} \\ \theta_{t+1}^{\text{OSM}} &= \arctan\left(\frac{v_{t+1}^y}{v_{t+1}^x}\right) + v_{t+1}^{\text{OSM},\theta} \end{cases}$$



Modélisation du problème

Equation de mesure du MNT ASTER

$$z_{t+1}^{DEM} = \begin{pmatrix} x_{t+1}^{DEM} \\ y_{t+1}^{DEM} \\ z_{t+1}^{DEM} \end{pmatrix} = h^{DEM}(X_{t+1}) + v_{t+1}^{DEM}$$

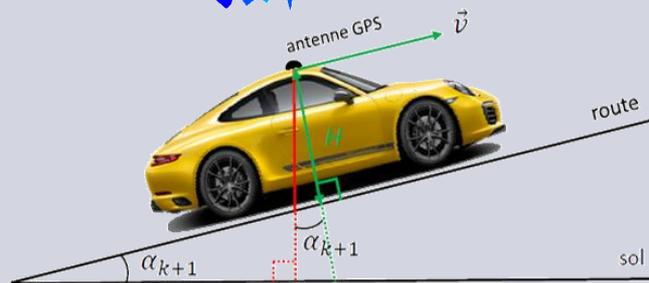
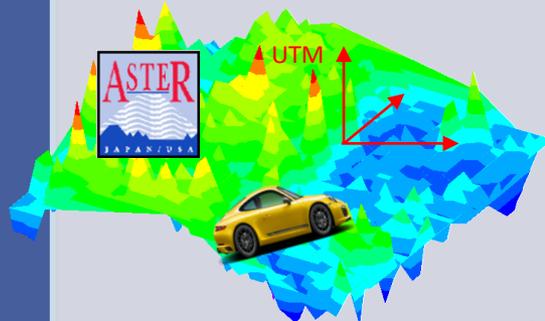
$$v_{t+1}^{DEM} \sim \mathcal{N}(0, R_{t+1}^{DEM})$$

fonction de mesure (non linéaire)

$$x_{t+1}^{DEM} = x_{t+1} + v_{t+1}^{DEM,x}$$

$$y_{t+1}^{DEM} = y_{t+1} + v_{t+1}^{DEM,y}$$

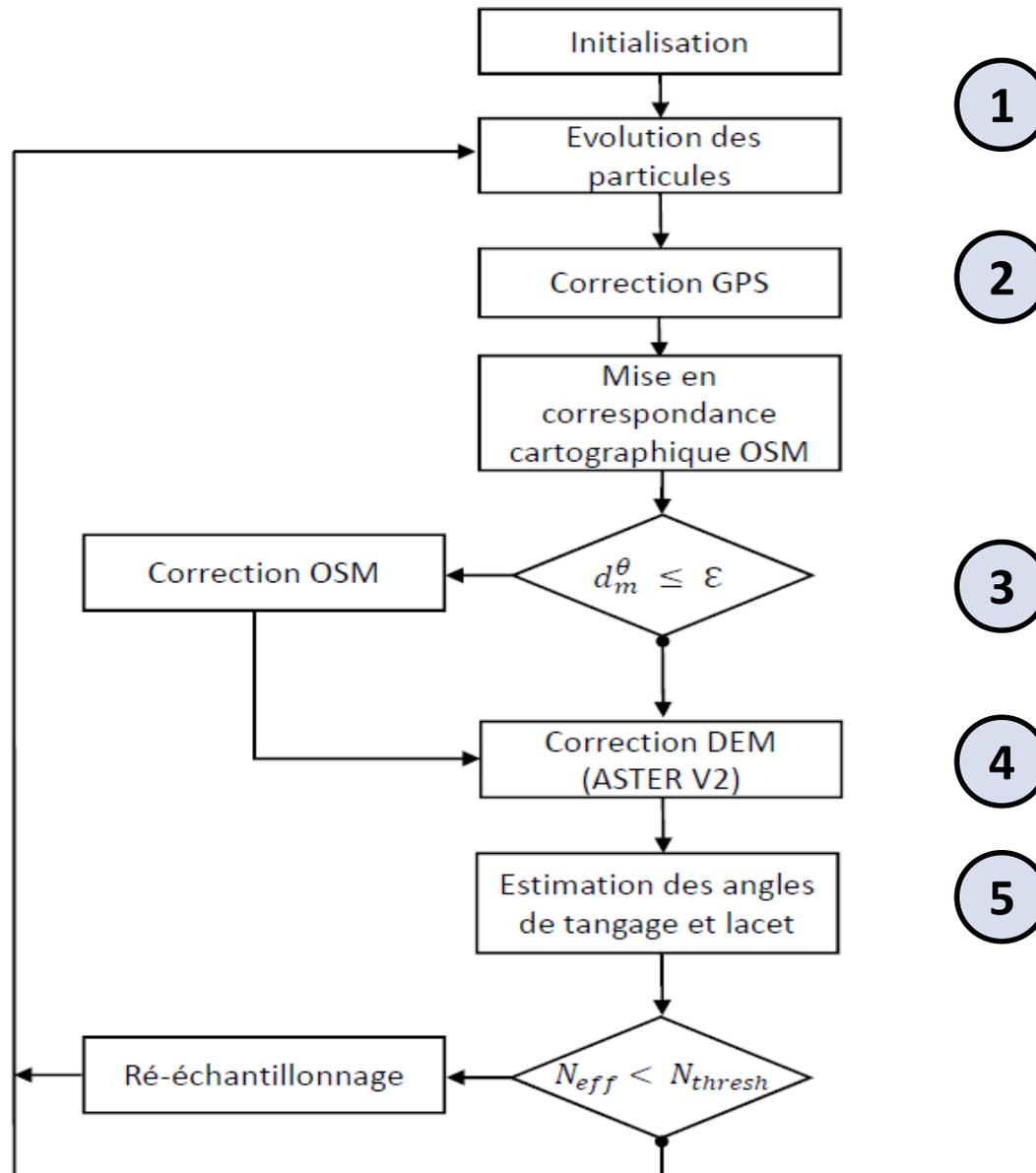
$$z_{t+1}^{DEM} = \left(z_{t+1} - \frac{H}{\cos(\alpha_{t+1})} \right) + v_{t+1}^{DEM,z}$$



- H est la hauteur entre l'antenne GPS et le sol
- α_{t+1} est l'angle de tangage estimé



Estimation de l'attitude du véhicule



Estimation de l'attitude du véhicule

Initialisation et évolution des particules

1

- Génération aléatoire de N particules (N = 30000) avec un poids égal à $\frac{1}{N}$:

$$\sum_{i=1}^N w_t^i = 1$$

- Evolution du vecteur d'état de chaque particule :

$$X_{t+1}^i = F X_t^i + \Omega_t^i$$

matrice de dynamique

bruit blanc gaussien



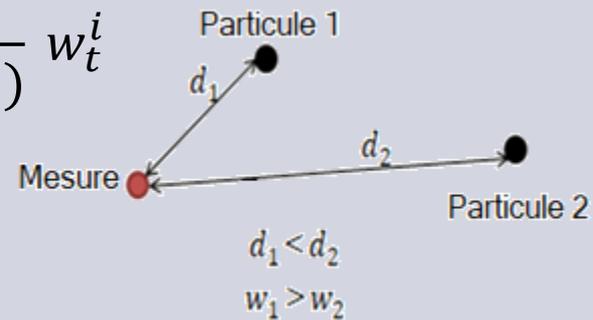
Estimation de l'attitude du véhicule

Correction à l'aide du GPS

2

- Nous corrigeons les poids normalisés par la mesure GPS disponible :

$$w_{t+1}^i = \frac{P(Z_{t+1} | X_{t+1}^i)}{\sum_{i=1}^N P(Z_{t+1} | X_{t+1}^i)} w_t^i$$



- Ensuite, les poids sont normalisés comme suit :

$$w_{t+1}^i = \frac{w_{t+1}^i}{\sum_{i=1}^N w_{t+1}^i}$$



Estimation de l'attitude du véhicule

Correction à l'aide de la carte routière numérique OSM

3

- Une mesure OSM prédite est calculée :

$$\hat{Z}_{t+1/t+1}^{OSM} = \sum_{i=1}^N w_{t+1}^i h^{OSM}(X_{t+1}^i)$$

- Calcul de l'ensemble des projections orthogonales :

$$Z_m^{OSM} = \text{proj}_{\perp, m}(\hat{Z}_{t+1/t+1}^{OSM})$$

- Test du cas d'une route à double sens :

$$\begin{cases} Z_m^{OSM, \theta_1} = (x_m^{OSM}, y_m^{OSM}, \theta_m^{OSM})^T \\ Z_m^{OSM, \theta_2} = (x_m^{OSM}, y_m^{OSM}, \theta_m^{OSM} + \pi)^T \end{cases}$$

- Calcul de la distance Mahalanobis :

$$(d_{m,t}^{\theta_k})^2 = (Z_m^{OSM, \theta_k} - \hat{Z}_{t+1/t+1}^{OSM})^T (\tilde{P}_{t+1/t+1}^{GPS})^{-1} (Z_m^{OSM, \theta_k} - \hat{Z}_{t+1/t+1}^{OSM})$$

- Minimisation du critère de distance :

$$d_m^\theta(Z_m^{OSM}, \hat{Z}_{t+1/t+1}^{OSM}) \leq \varepsilon \Rightarrow Z_m^{OSM, \theta^*}$$

- Normalisation des poids



IUT

GEII
CALAIS

ulco
Université
Littoral Côte d'Opale

LISIC
Laboratoire de Recherche en Informatique et Systèmes Intégrés

Université Libanaise

Ecole Doctorale
Sciences et Technologie

LeMA
Laboratoire d'Informatique et d'Applications

Estimation de l'attitude du véhicule

Correction à l'aide du modèle numérique d'élévations ASTER GDEM

4

- La mesure prédite DEM est calculée par :

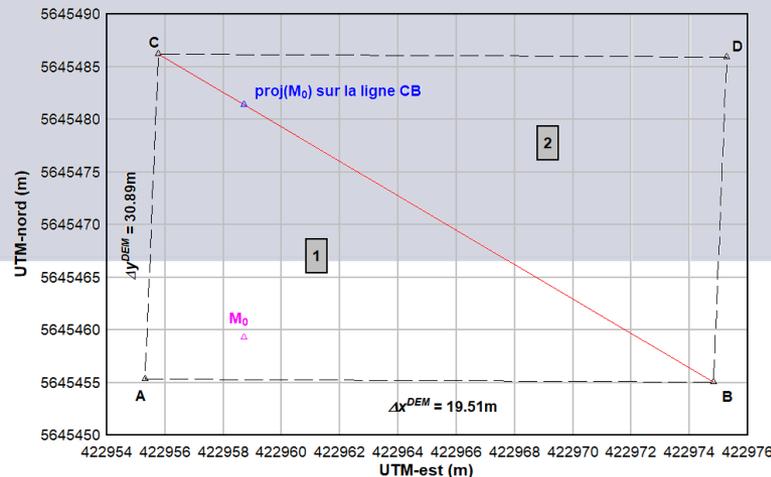
$$\hat{z}_{t+1/t+1}^{DEM} = \sum_{i=1}^N w_{t+1}^i h^{DEM}(X_{t+1}^i)$$

- Nous calculons le vecteur normal $[\vec{n}_1, \vec{n}_2]$ des plans (ABC) et (BCD) :

$$\begin{cases} \vec{AM} \cdot \vec{n}_1 = 0 \text{ si } M \in (ABC) \\ \vec{DM} \cdot \vec{n}_2 = 0 \text{ si } M \in (BCD) \end{cases}$$

- Triangulation pour obtenir une mesure d'élévation :

$$\begin{cases} z = z_{i,j}^{DEM} + \frac{z_{i+1,j}^{DEM} - z_{i,j}^{DEM}}{\Delta x_{DEM}}(x - x_i^{DEM}) + \frac{z_{i,j+1}^{DEM} - z_{i,j}^{DEM}}{\Delta y_{DEM}}(y - y_i^{DEM}) \text{ si } M \in (ABC) \\ z = z_{i+1,j+1}^{DEM} + \frac{z_{i+1,j+1}^{DEM} - z_{i,j+1}^{DEM}}{\Delta x_{DEM}}(x - x_{i+1}^{DEM}) + \frac{z_{i+1,j+1}^{DEM} - z_{i+1,j}^{DEM}}{\Delta y_{DEM}}(y - y_{i+1}^{DEM}) \text{ si } M \in (BCD) \end{cases}$$



Estimation de l'attitude du véhicule

Estimation des angles de tangage et lacet

5

- Nous estimons le vecteur d'état du véhicule :

$$\hat{X}_{t+1} = \sum_{i=1}^N w_{t+1}^i X_t^i$$

- Angle de tangage :

$$\alpha_{t+1} = \sum_{i=1}^N w_{t+1}^i \arctan\left(\frac{v_{t+1}^{z,i}}{\sqrt{(v_{t+1}^{x,i})^2 + (v_{t+1}^{y,i})^2}}\right)$$

- Angle de lacet:

$$\beta_{t+1} = - \sum_{i=1}^N w_{t+1}^i \arctan\left(\frac{v_{t+1}^{x,i}}{v_{t+1}^{y,i}}\right)$$



Résultats expérimentaux

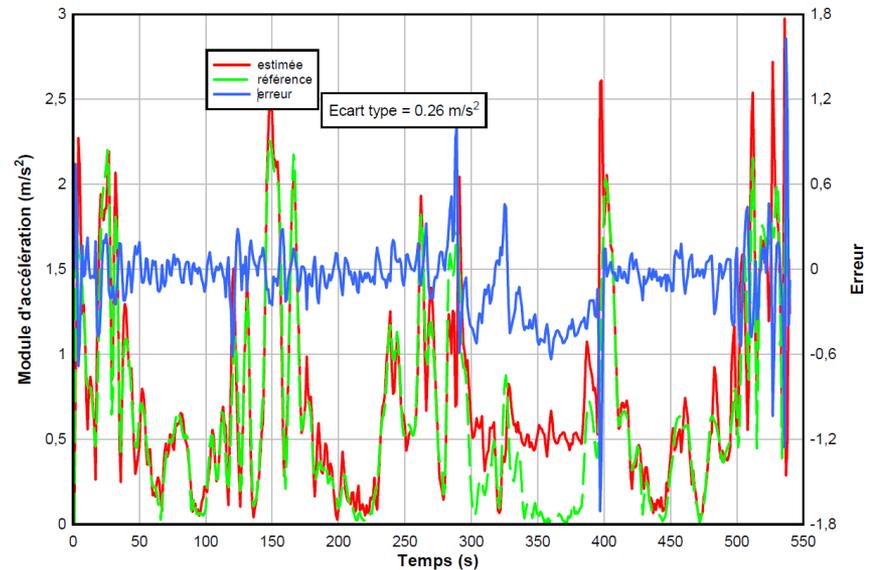
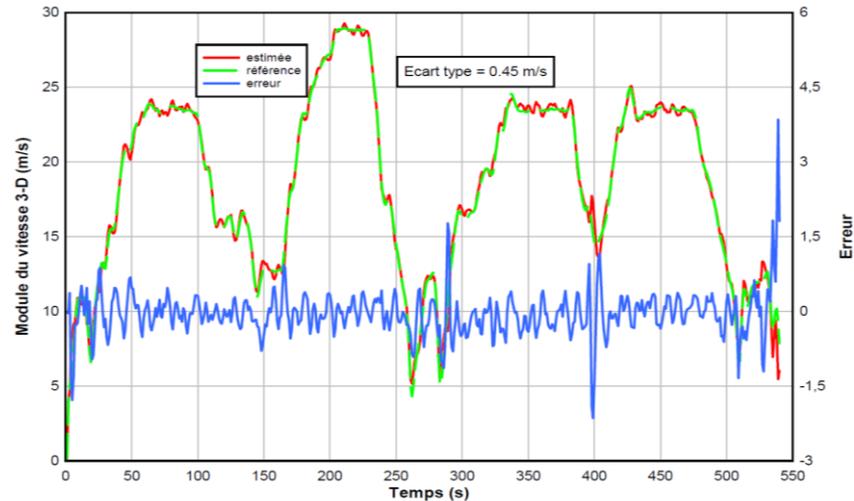
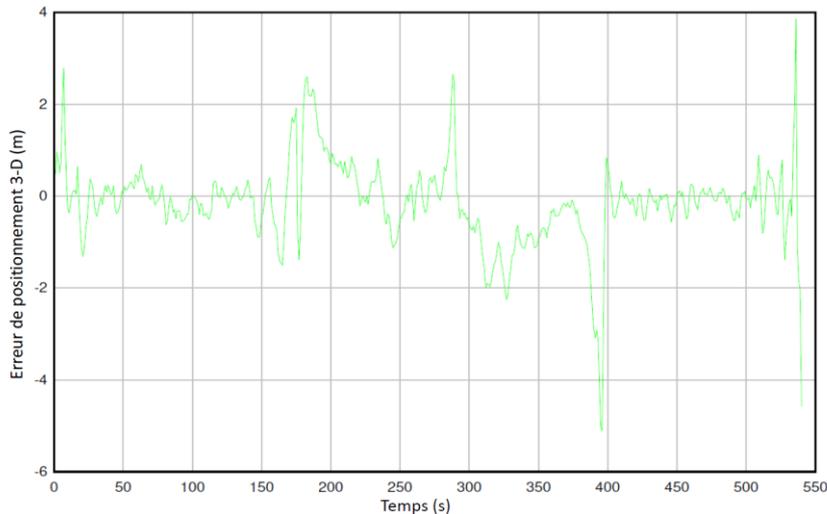
Contexte d'expérimentation

- Estimation de la localisation 3-D et de l'attitude d'un véhicule terrestre en fusionnant les données GPS, OSM et DEM
- Récepteur GPS u-blox EVK-6T délivre le positionnement 3-D
 - Hauteur de l'antenne $H=1.55\text{m}$
 - Taux de navigation fixé à 1Hz
- Réseau routier OSM
- Modèle numérique d'élévations ASTER GDEM V2



Résultats expérimentaux

Estimation de la localisation 3-D



Erreur 3-D	Écarts-types
Positionnement	0,91 m
Vitesse	0,45 m/s
Accélération	0,26 m/s ²



GEII
CALAIS

ulco
Université
Littoral Côte d'Opale

LISIC
Laboratoire Interdisciplinaire
de Systèmes Intégrés et de
Sécurité



Université Libanaise
Ecole Doctorale
Sciences et Technologie

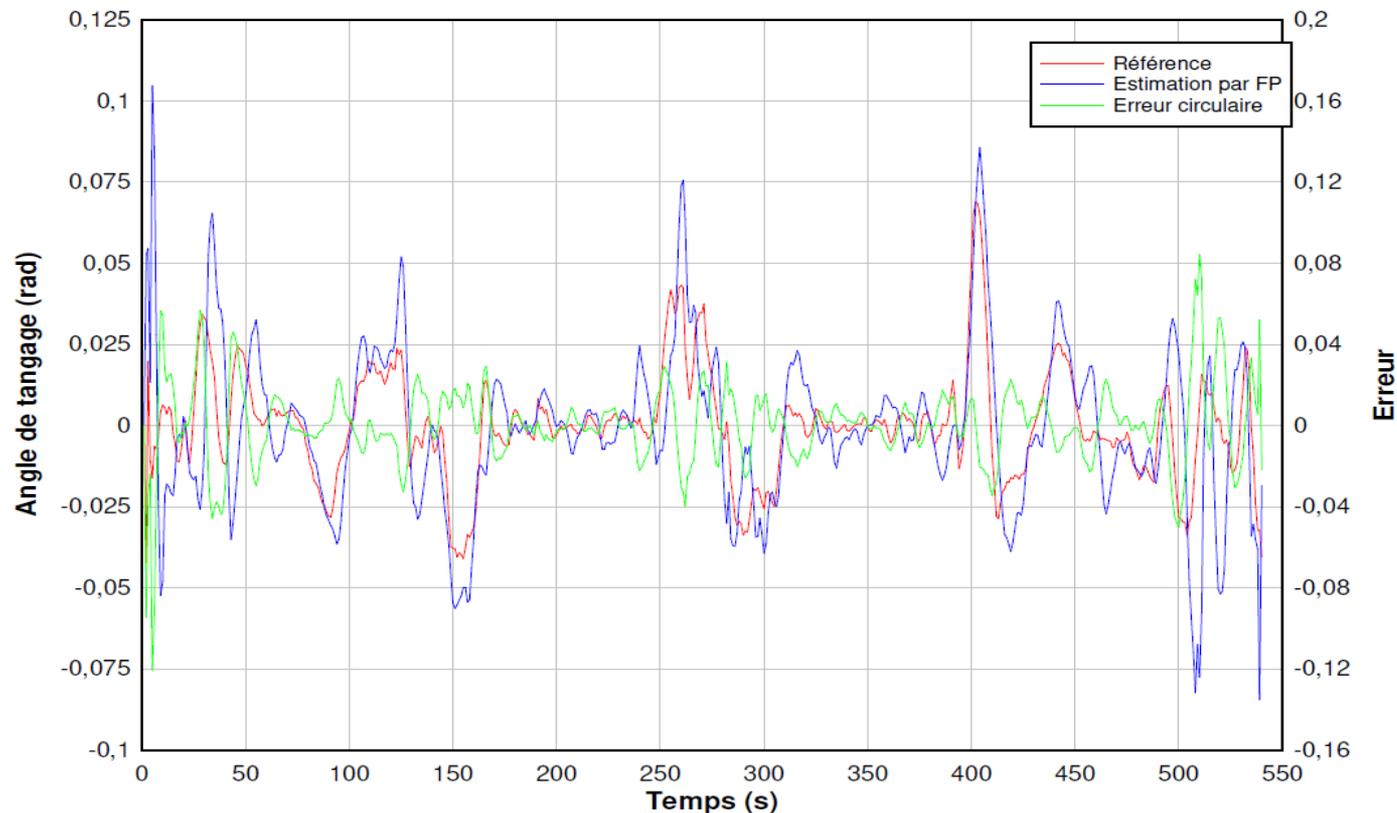
LeMA
Laboratoire Mécatronique et Applications

16

19

Résultats expérimentaux

Estimation de l'attitude (1/2)

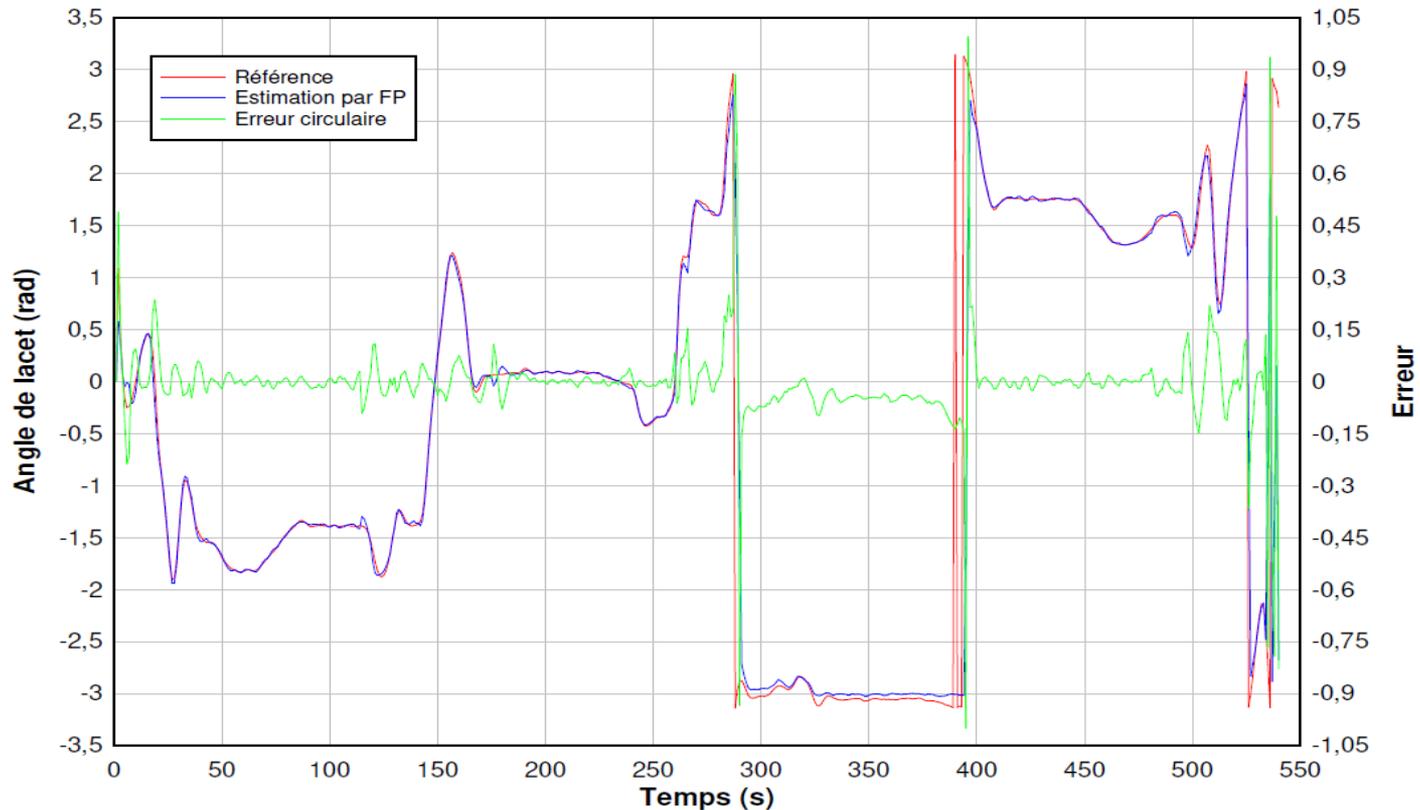


→ Écart-type atteint 0,02 rad pour l'angle de tangage



Résultats expérimentaux

Estimation de l'attitude (2/2)



→ Écart-type atteint 0,13 rad pour l'angle de lacet



Conclusion

Ce travail présente une méthode générale d'estimation de la localisation 3-D et de l'attitude basée sur la fusion de données GPS, d'un réseau routier OSM et d'un modèle numérique d'élévations ASTER GDEM2 à travers une modélisation statistique des mesures qui prend en compte leurs différentes précisions

A l'aide du processus de mise en correspondance cartographique et de la méthode TIN, les routes parcourues et les zones DEM sont identifiées pour corriger l'emplacement au sol et l'altitude MSL du véhicule

Cette méthode générale peut être utilisée pour intégrer d'autres types de données telles que des mesures inertielles pour obtenir une estimation complète de l'attitude du véhicule qui revêt une importance significative comme entrée primaire dans les systèmes de gestion de l'énergie des VEH

