

Positionnement GNSS Fiable en Milieu Urbain

Oussama Tahri - Doctorant - COSYS-SII

Pr. David Bétaille - COSYS-SII

Dr. Ni Zhu - AME-GEOLOC

5 février 2026

1. Contexte et Problématique
2. Méthodes de positionnement
3. Résultats
4. Vers le temps réel
5. Conclusion

1. Contexte et Problématique

Applications critiques nécessitant une position fiable :

- **Péage automatique** sans barrières (Free Flow)
- **Assurance** basée sur l'usage
- **Réglementation** du transport routier
- **Véhicules autonomes** (niveau 3+)

→ Besoin : position fiable au niveau **de précision de la voie**



- Thèse dans le cadre du projet **SETO** (Smart Enforcement of Transport Operations), Horizon Europe
- Positionnement au niveau de la voie pour les poids lourds (ponts, quais...)

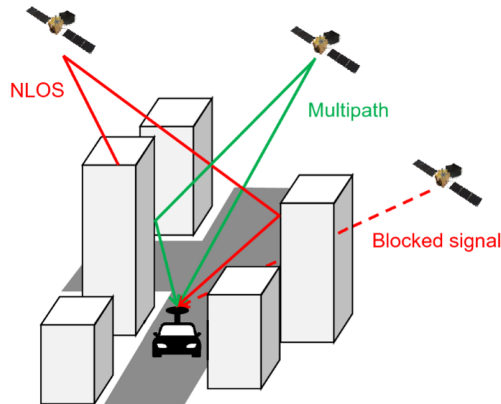


En milieu ouvert (autoroute, campagne) :

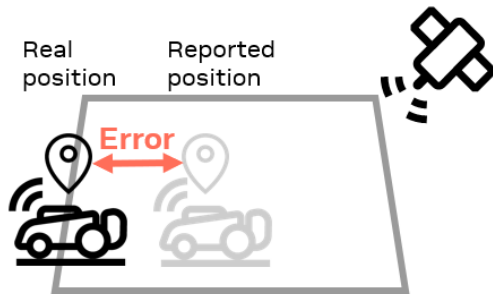
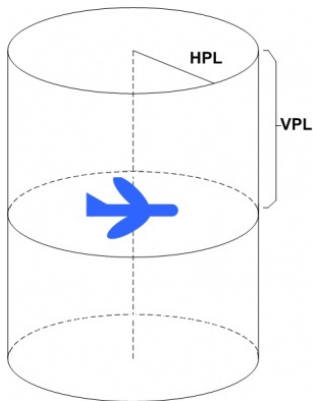
- Signaux GNSS directs
- Précision métrique faisable

En milieu urbain :

- **Multitrajets** : réflexions sur les bâtiments
- **NLOS** : signaux bloqués puis réfléchis
- Erreurs de plusieurs mètres à dizaines de mètres



“On a calculé une position... mais peut-on lui faire confiance ?”



HPL = rayon d'un cercle de confiance autour de la position

Garantie : la vraie position est à l'intérieur avec une probabilité élevée (99.9%)

Deux cas possibles :

- **Sûr** : erreur réelle $<$ HPL
- **Intégrité violée** : erreur réelle $>$ HPL

→ On veut un HPL **petit** (précis) mais **fiable** (pas de violation)

Améliorer **simultanément** :

Précision

Réduire l'erreur de
positionnement

Intégrité

HPL fiable et serré
(le plus proche possible de
l'erreur vraie)

Efficacité

Calcul en temps réel
(idéalement)

Approche : combiner fusion de capteurs et optimisation par graphe de facteurs

2. Méthodes de positionnement

EKF

Filtre de Kalman étendu

- Récursif : calcul rapide
- Linéarisation locale uniquement
- Sensible aux valeurs aberrantes

FGO

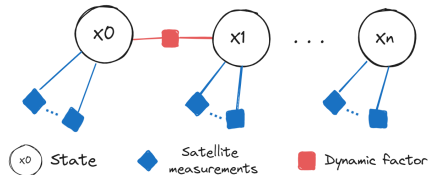
Graphe de facteurs

- Itératif : optimisation sur fenêtre
- Plus robuste
- Coût de calcul élevé, latence*

Principe : optimiser plusieurs époques ensemble

Composants :

- **Nœuds** : états à estimer (position, vitesse, biais d'horloge)
- **Facteurs** : contraintes (mesures GNSS, modèle dynamique)



Avantage : peut “revenir en arrière” pour corriger des erreurs passées

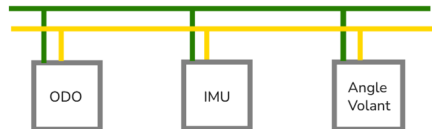
Capteurs exploités :

- **Odomètre** : distance parcourue entre deux époques
- **Cap** : orientation du véhicule

Avantages :

- Données disponibles sur tous les véhicules modernes
- Pas de capteur supplémentaire à installer
- Améliore la continuité en cas de masquage GNSS

CANBus



- **Analyse d'intégrité robuste :**
 - ▶ Exploitation des fonctions d'influence des estimateurs robustes pour des applications GNSS
- **FGO Adaptatif :**
 - ▶ Ajustement de la taille de fenêtre en fonction des résidus
- **Fusion GNSS + CAN-bus :**
 - ▶ Intégration des données véhicule existantes
 - ▶ Solution bas coût sans ajout de capteurs

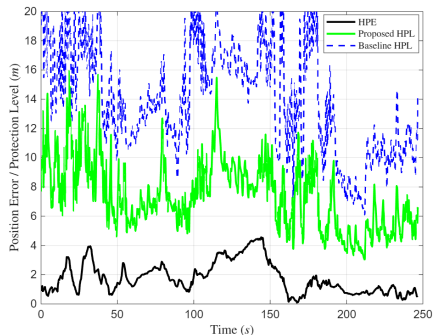
3. Résultats

- **Lieu** : Nantes, France
- **Durée** : 2 heures de conduite
- **Scénarios** : zones ouvertes + canyons urbains
- **Récepteur** : u-blox F9P (GPS + Galileo)
- **Référence** : système haute précision (Novatel + IMU)

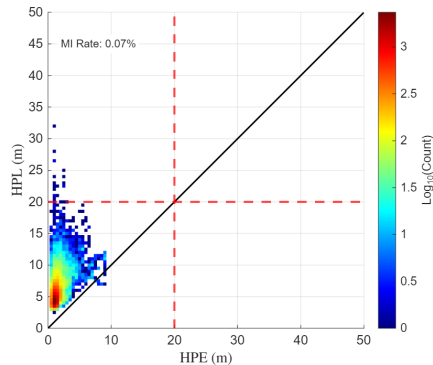


Méthode	HPE 95%	HPL 95%	Sûr ?	Temps
EKF GNSS seul	3.9 m	11 m	Oui	Rapide
Fusion capteurs	3.3 m	17 m	Oui	Rapide
FGO proposé	2.8 m	10 m	Oui	Lent

- **EKF GNSS** : HPL sûr mais moins précis
- **Fusion capteurs** : HPL sûr mais conservatif (trop grand)
- **FGO proposé** : meilleur compromis précision/intégrité



Notre méthode donne des HPL plus serrés
que la littérature tout en restant sûrs.



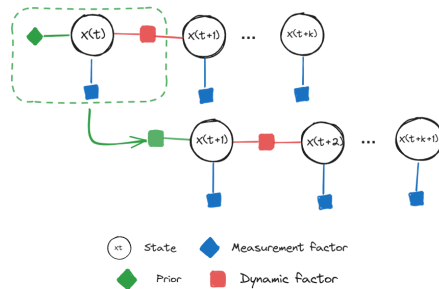
Quasi tous les points sont au-dessus de la diagonale

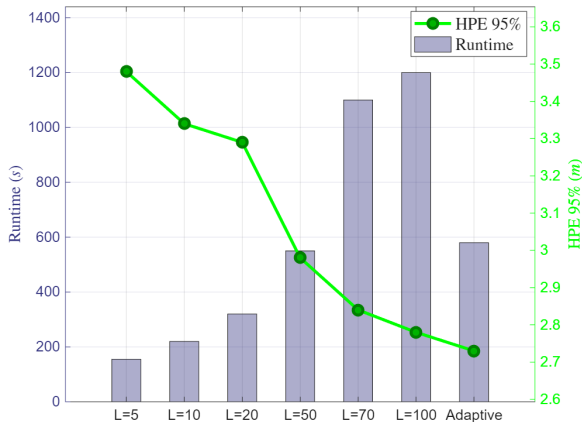
4. Vers le temps réel

Idée : utiliser une grande fenêtre seulement quand c'est nécessaire

- **Environnement facile** (autoroute) :
→ petite fenêtre, calcul rapide
- **Environnement difficile** (canyon urbain) :
→ grande fenêtre, meilleure robustesse

→ **Solution** : adapter la taille de fenêtre selon le contexte à l'aide des résidus des mesures GNSS





Fenêtre adaptative : **même précision** avec **50% de temps de calcul en moins**

5. Conclusion

Contributions principales :

1. **Formule HPL robuste** : exploite les propriétés mathématiques de notre estimateur pour garantir l'intégrité
2. **Fenêtre adaptative** : réduit le temps de calcul de 50% sans perte de précision
3. **Fusion avec Bus-CAN** : meilleur modèle dynamique

Perspectives :

- Intégration de cartes 3D des bâtiments
- Exploiter d'autres mesures du Bus-CAN
- Réduire encore plus le temps de calcul sous FGO

Merci de votre attention !

oussama.tahri@univ-eiffel.fr