

Navigation GNSS et cartes enrichies et précises de la ville

David Bétaille, Ifsttar, CoSys
(Components & Systems)
2 décembre 2019, Bouguenais
Rencontres scientifiques de l'UGE

Les acteurs du projet

- ***Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux***



- Département COSYS labo SII du site de Nantes (Components & Systems / Systèmes & Instrumentation Intégrés)
- 260 personnes et 60 doctorants dans ce département
- Projet en collaboration avec le labo GEOLOC (Geopositioning Laboratory) du département Mobilité

- ***Institut Géographique National***

- Site régional Pays de Loire



- ***Ecole Nationale de l'Aviation Civile***

- Groupe de recherche Signal et Navigation SIGNAV



TELECOM LAB -
SIGNAL PROCESSING AND
NAVIGATION RESEARCH
GROUP

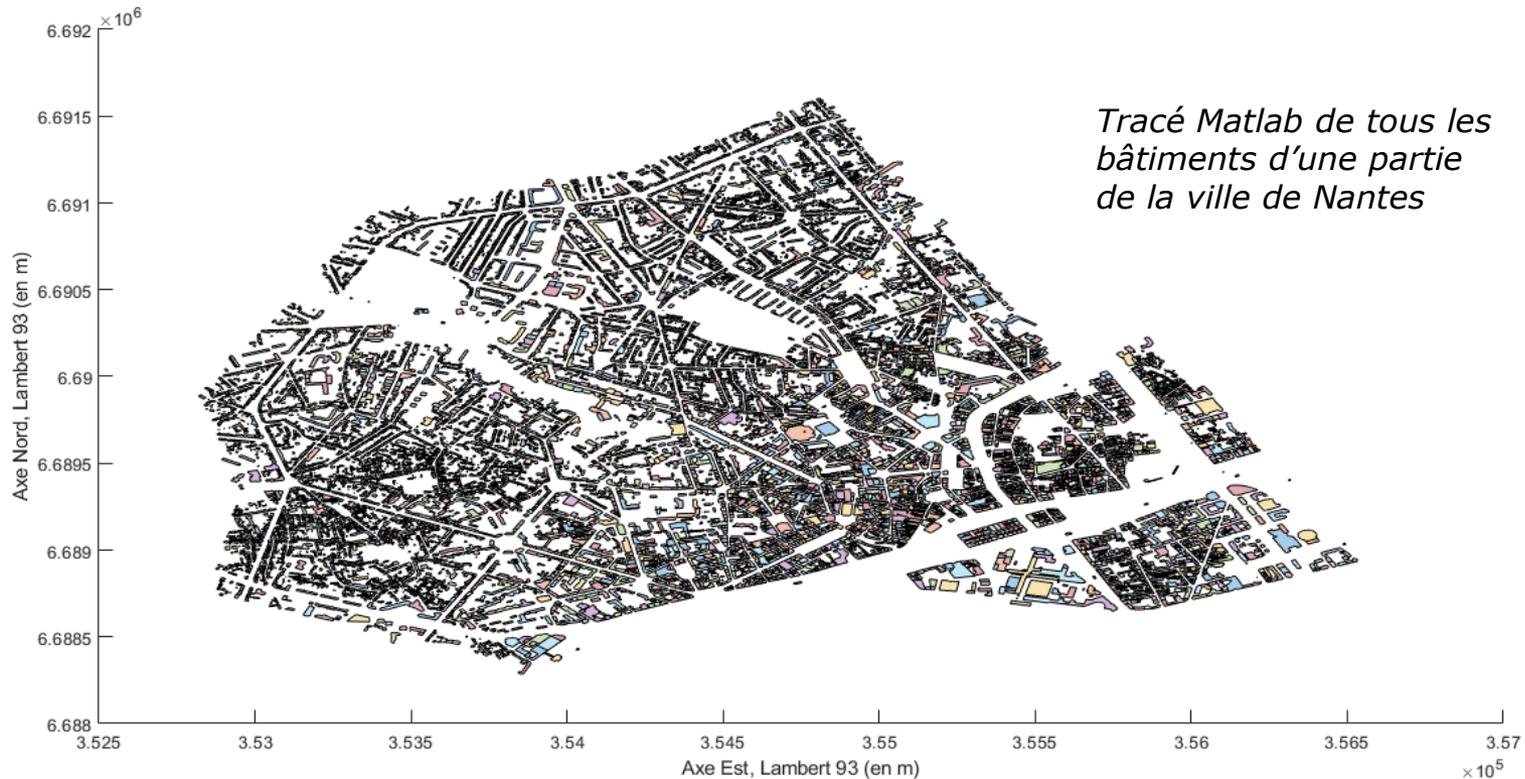
L'Urban Trench Model

- UTM: géométrie constante par rues, infinies en long
 - Hauteurs et largeurs moyennes
 - Position latérale nominale



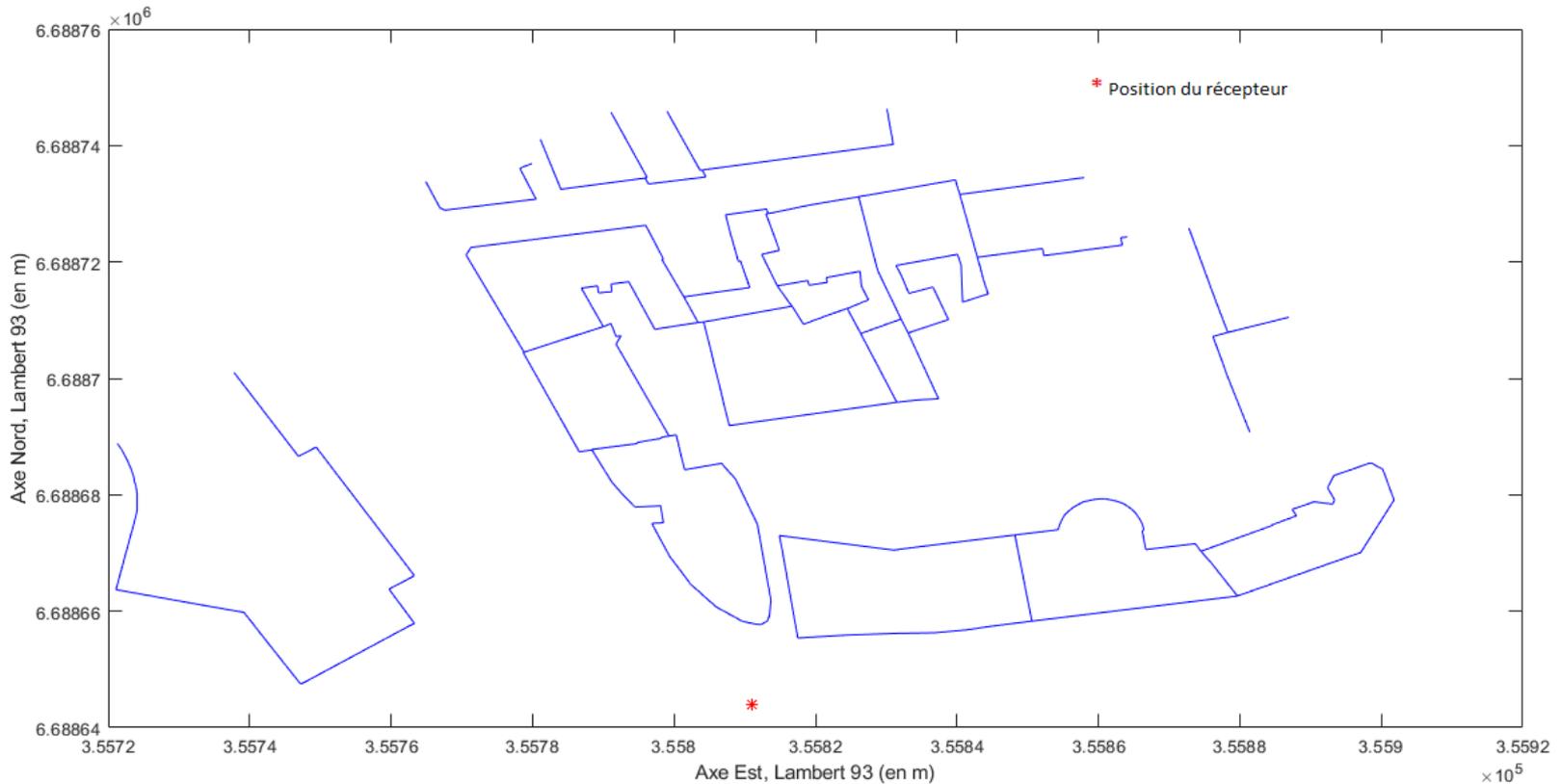
L'Urban Multipath Model

- UMM: géométrie spécifique des bâtiments
 - A partir d'IGN BD Topo (couvrant la France)
 - Méthode introduite pendant la thèse de Ni Zhu à l'Ifsttar



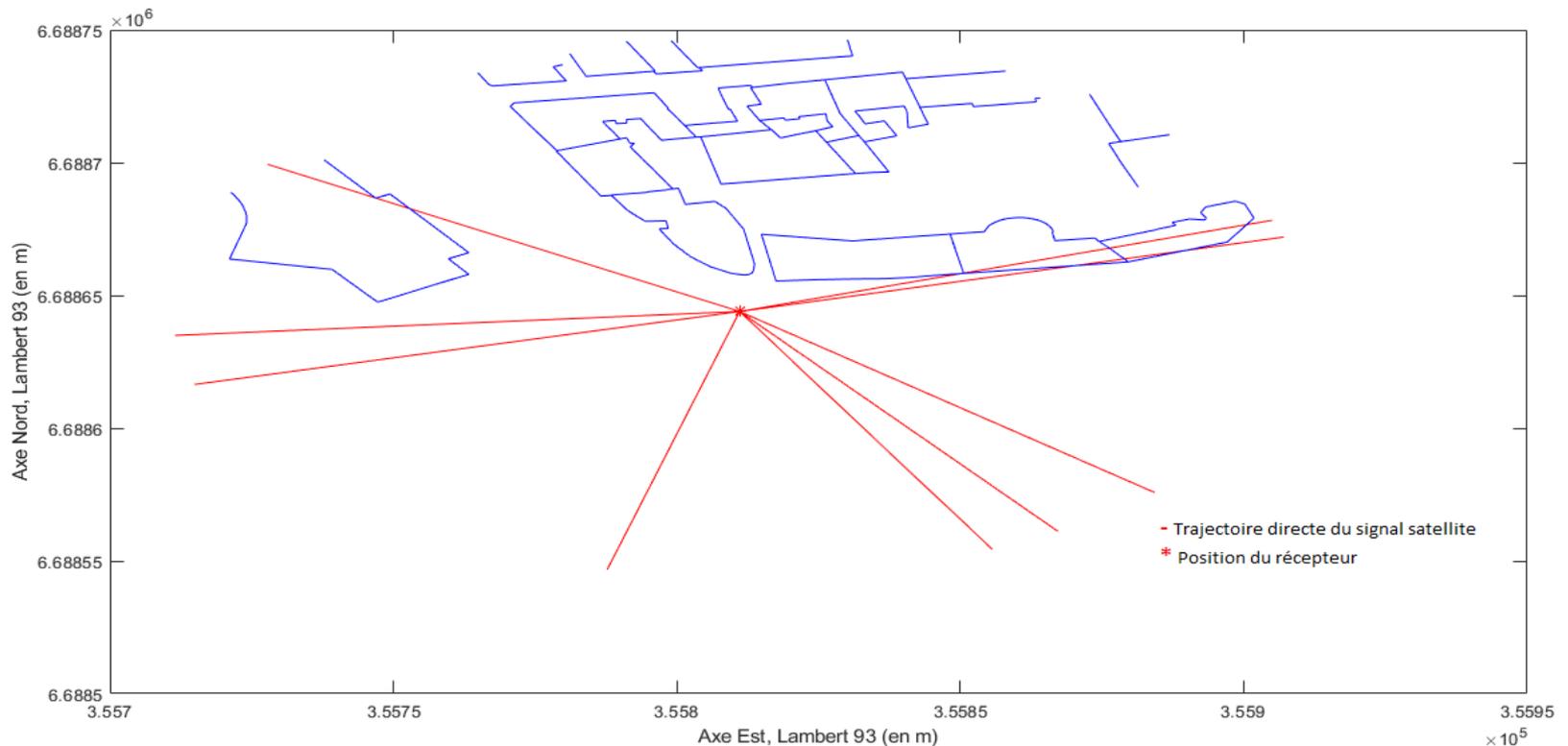
Le modèle UMM

- Illustration du modèle UMM
 - Positionnement à la première époque du test du 27/02/2014
 - Analyse des bâtiments environnants



Le modèle UMM

- Analyse des signaux satellites reçus
 - À partir de l'élévation, de l'azimut et de la géométrie des bâtiments
 - Le satellite est en LOS ou NLOS

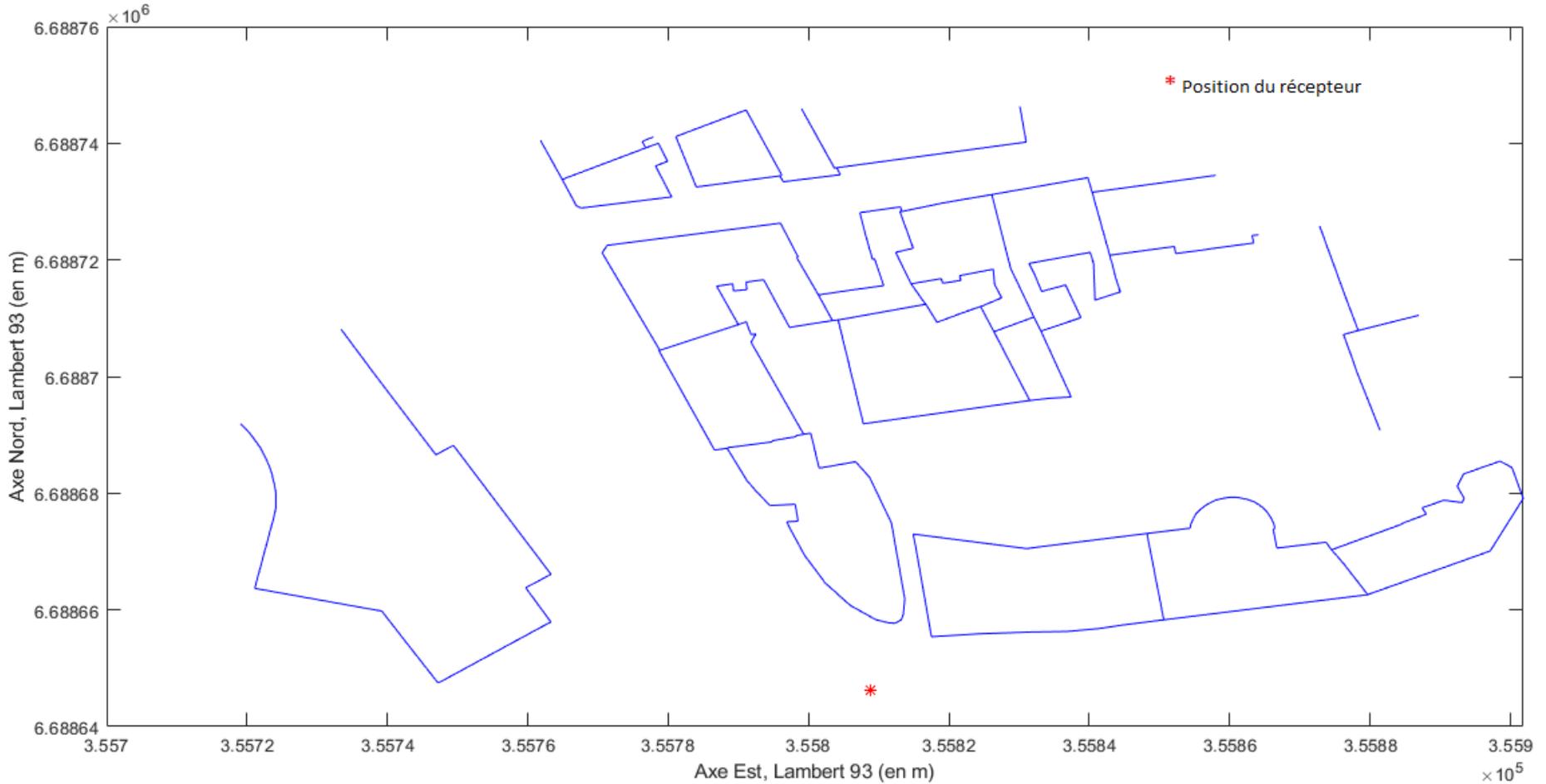


Le modèle UMM

- Tous les satellites sont en LOS (Line Of Sight)
 - Aucune correction sur les pseudo-distances n'est nécessaire
 - Le modèle UMM ne corrige rien à cette époque

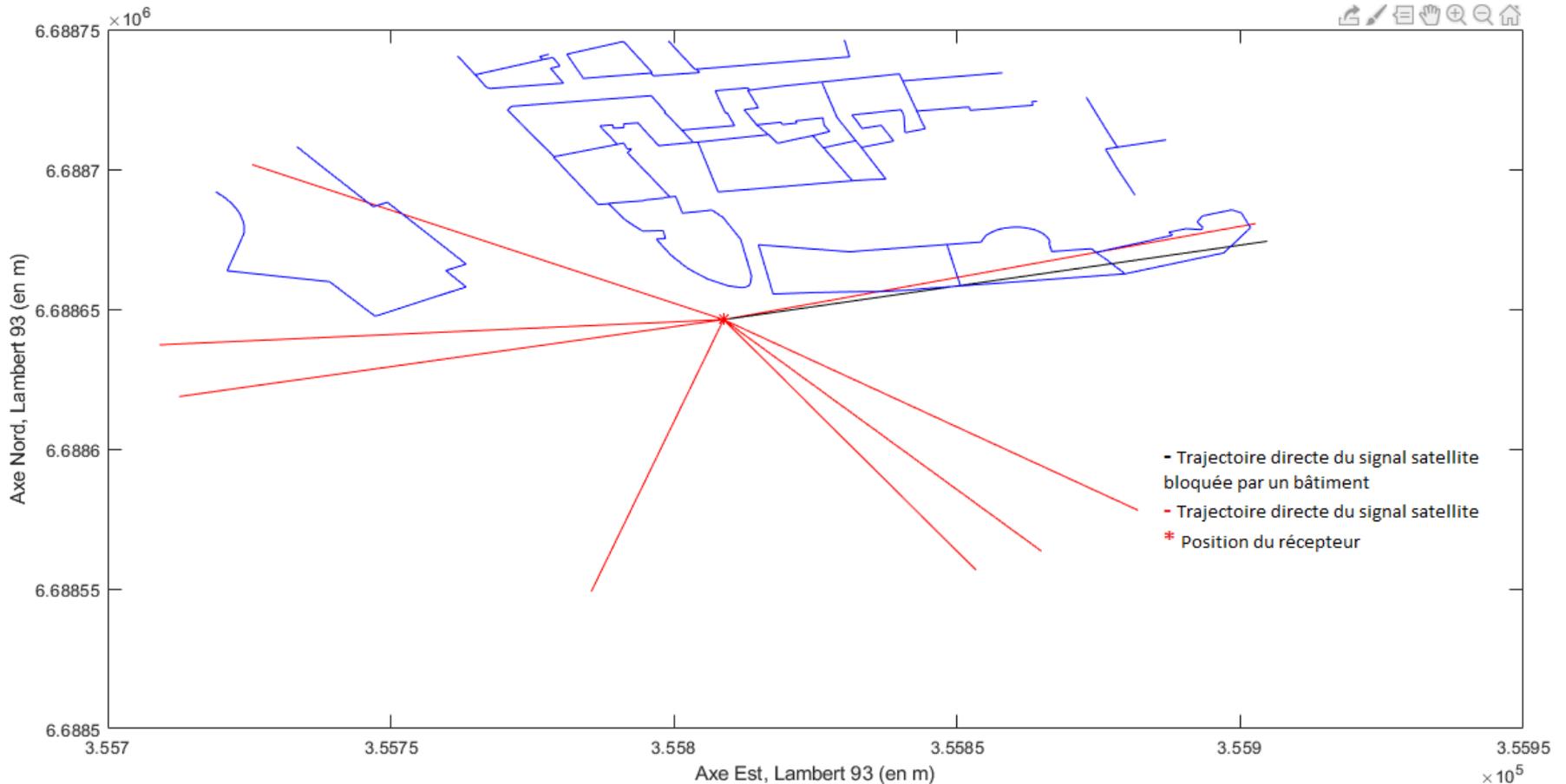
Le modèle UMM

- Autre cas de figure : la 9^{ème} époque



Le modèle UMM

- Analyse de la visibilité des satellites
 - Un satellite est en NLOS (représenté en noir)

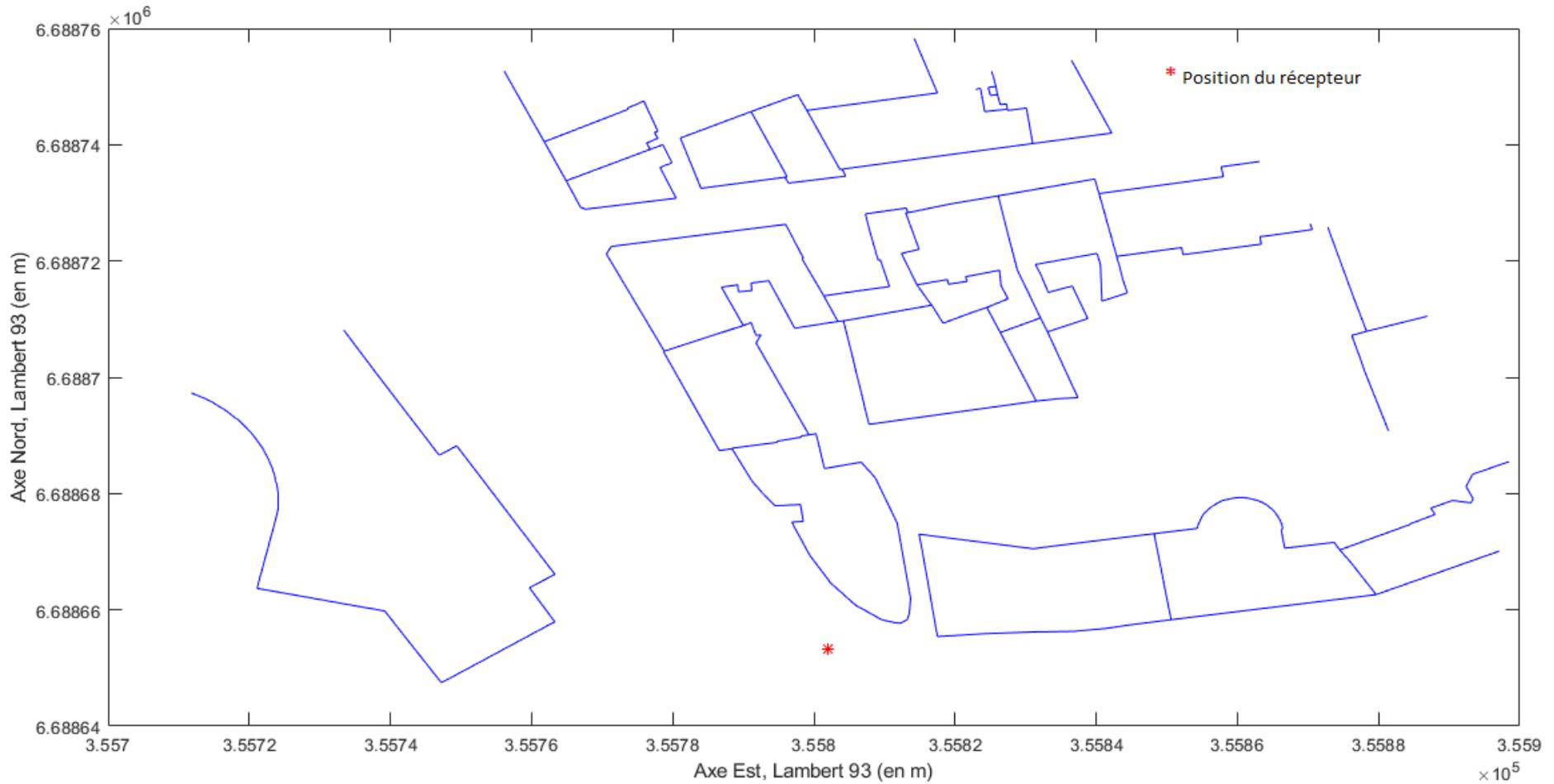


Le modèle UMM

- Analyse des réflecteurs potentiels qui justifieraient la réception du signal satellite
 - Pas de bâtiments environnants responsables des potentielles réflexions
 - Le modèle ne peut donc pas apporter de correction de pseudo-distance à cette époque
 - Limite du modèle UMM

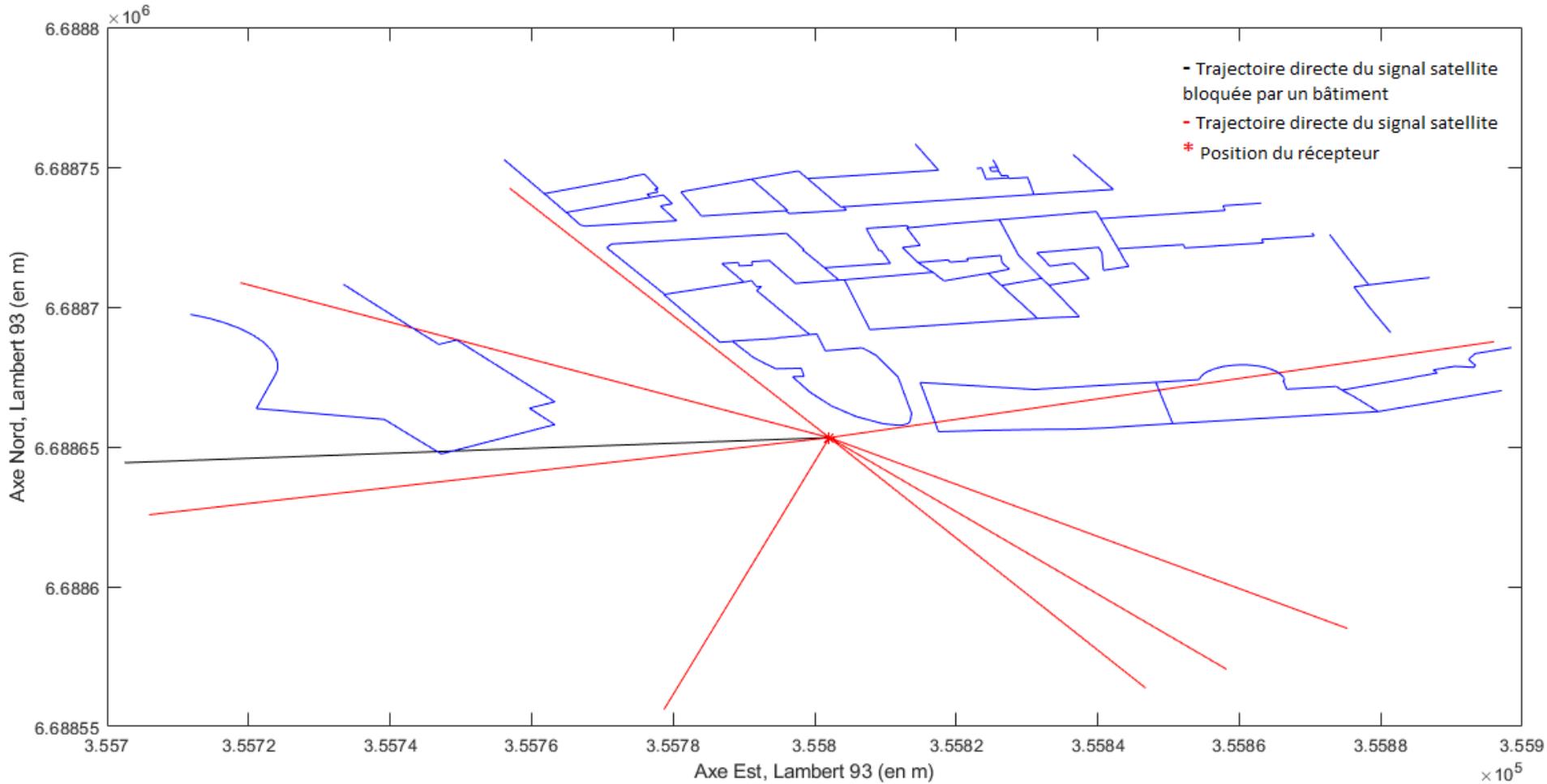
Le modèle UMM

- Autre cas de figure : la 26^{ième} époque



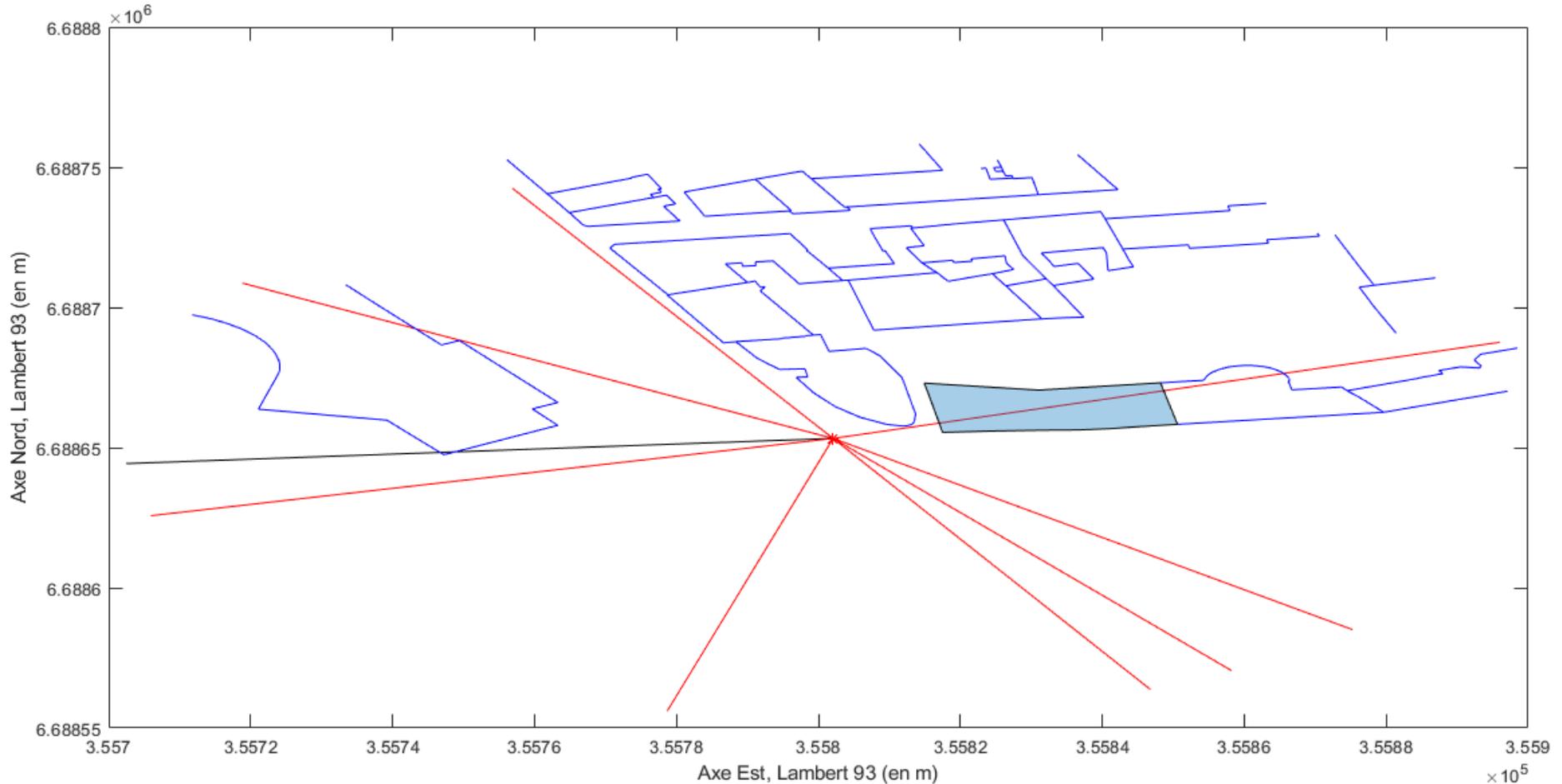
Le modèle UMM

- Analyse de la visibilité des satellites



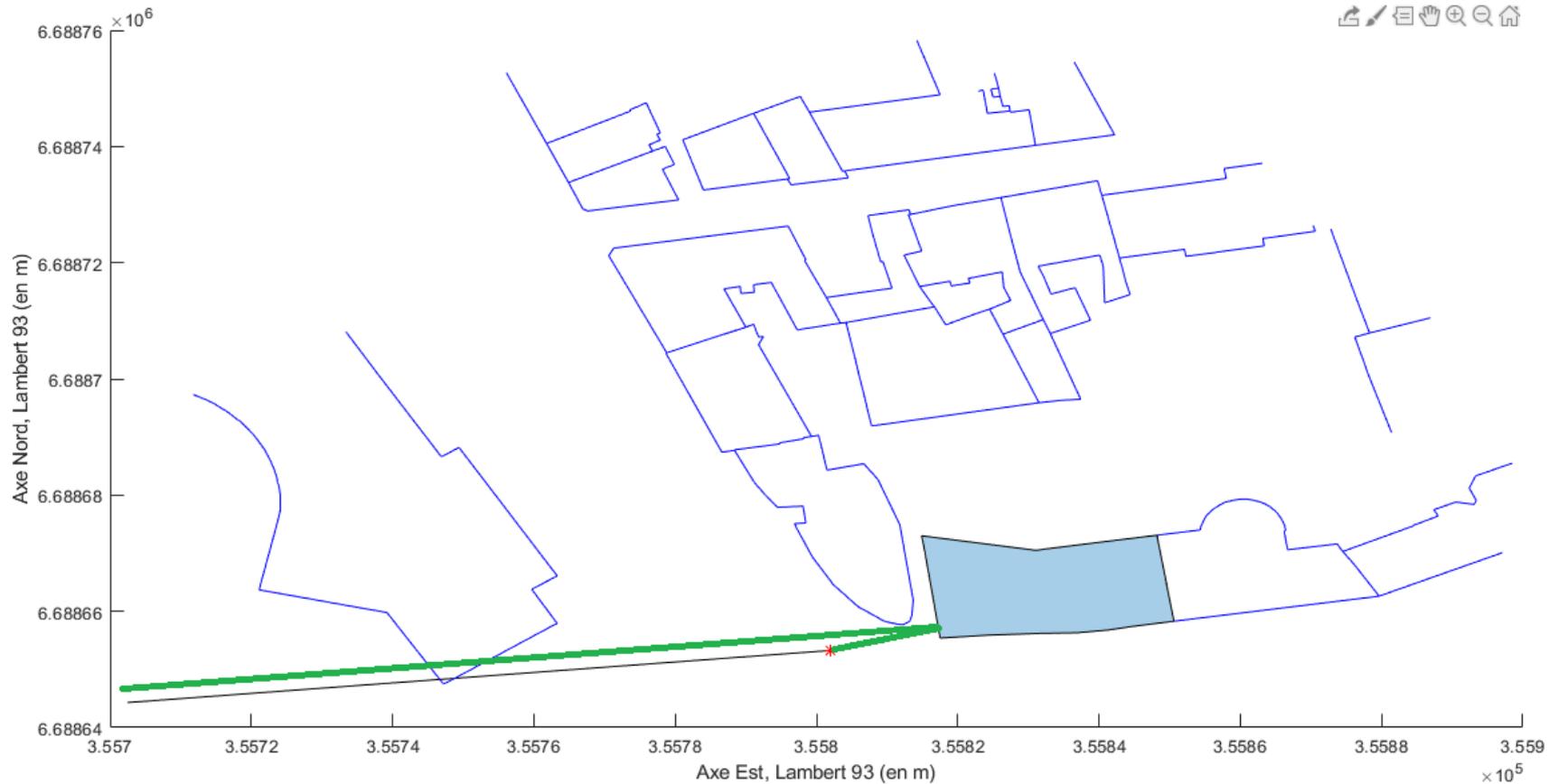
Le modèle UMM

- Détermination des bâtiments responsables de réflexion



Le modèle UMM

- Calcul de la distance supplémentaire parcourue par le signal satellite D_{sup}



Le modèle UMM

- Correction D_{sup} (par analyse géométrique et réflexion spéculaire) de la mesure de pseudo-distance pour ce satellite à cette époque

$$PR_{correct} = PR_{initial} - D_{sup} \quad (\text{in m})$$

Traitement des mesures du 27 février 2014

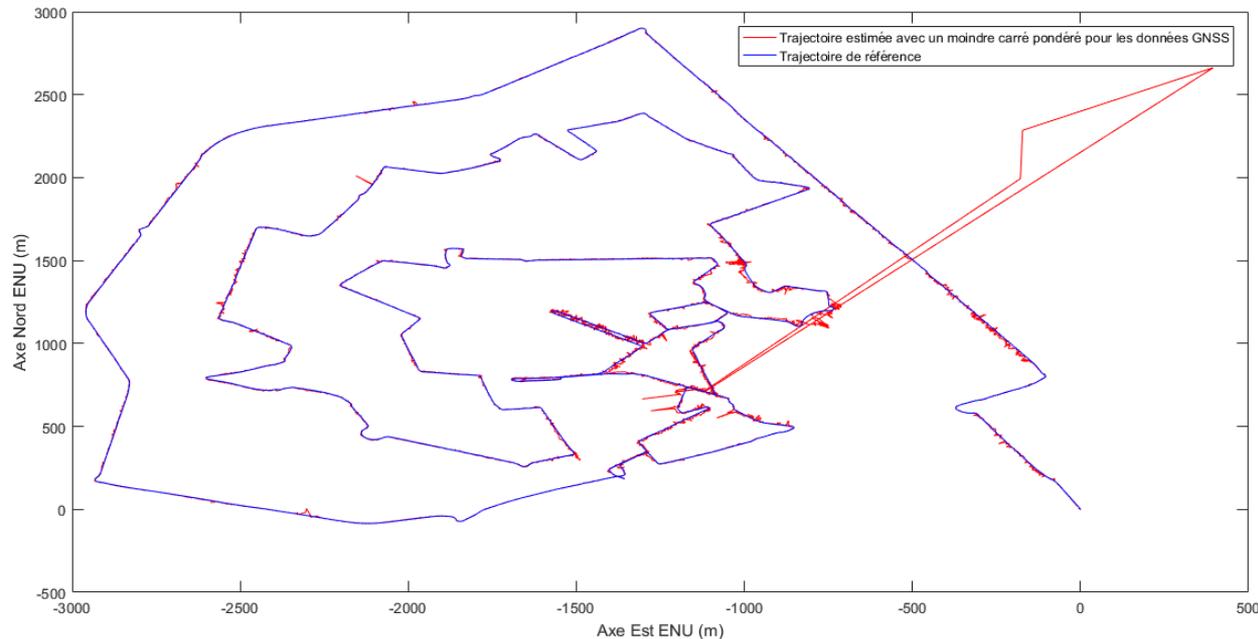
- Mesure du 27 février 2014
 - Mesures à 5Hz avec un récepteur UBlox LEA-6T (pseudo-range et doppler)
 - 22252 époques à traiter, environ 1h15mn de trajet
 - Utilisation du véhicule VERT de l'IFSTTAR et trajectoire centre ville de Nantes



Présentation des résultats précédents

- Moindres carrés sur 22252 époques : thèse Ni ZHU

Méthode d'estimation	HPE médian
LS	5,67m
WLS	2,47m



Présentation des résultats précédents

- Filtre de Kalman sur 22252 époques
 - Vecteur d'état à 8 éléments (modèle à vitesse constante)
 - Pondération C/N0 (bruits des pseudo-distances σ_i)
 - FDE (classique, éliminant le plus grand résidu normalisé de pseudo-distance ou doppler si le seuil du χ^2 est dépassé)
 - PFA 1%

$$X = [E \ V_E \ N \ V_N \ U \ V_U \ c\delta t \ cd\delta t]^T$$

Pondération	FDE	HPE médian
non	non	5,33m
non	oui	4,76m
oui	non	2,29m
oui	oui	2,19m

Hybridation odo-gyro

- Entrées de commande :
 - Capteurs odométriques, bus CAN
vitesse à 25 Hz, résolution 0.01 km/h
 - Gyromètre KVH RD2100 (FOG)
rotation à 10 Hz, $0.083^\circ/\sqrt{h}$ arw
(marche aléatoire angulaire)



Hybridation odo-gyro

- Nouveau vecteur d'état (avec V_{odo} et W_{gyro} en entrées de commande et altitude constante)

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{k+1} = E_k + V_{E,k} \cdot \Delta t \\ N_{k+1} = N_k + V_{N,k} \cdot \Delta t \\ U_{k+1} = U_k \\ \theta_{k+1} = \Omega_{gyro,k} \cdot \Delta t \\ V_{E,k+1} = V_{odo,k} \cdot \cos(\theta_k) \\ V_{N,k+1} = V_{odo,k} \cdot \sin(\theta_k) \\ c\delta t_{k+1} = c\delta t_k + cd\delta t_k \cdot \Delta t \\ cd\delta t_{k+1} = cd\delta t_k \end{array} \right.$$

Hybridation odo-gyro

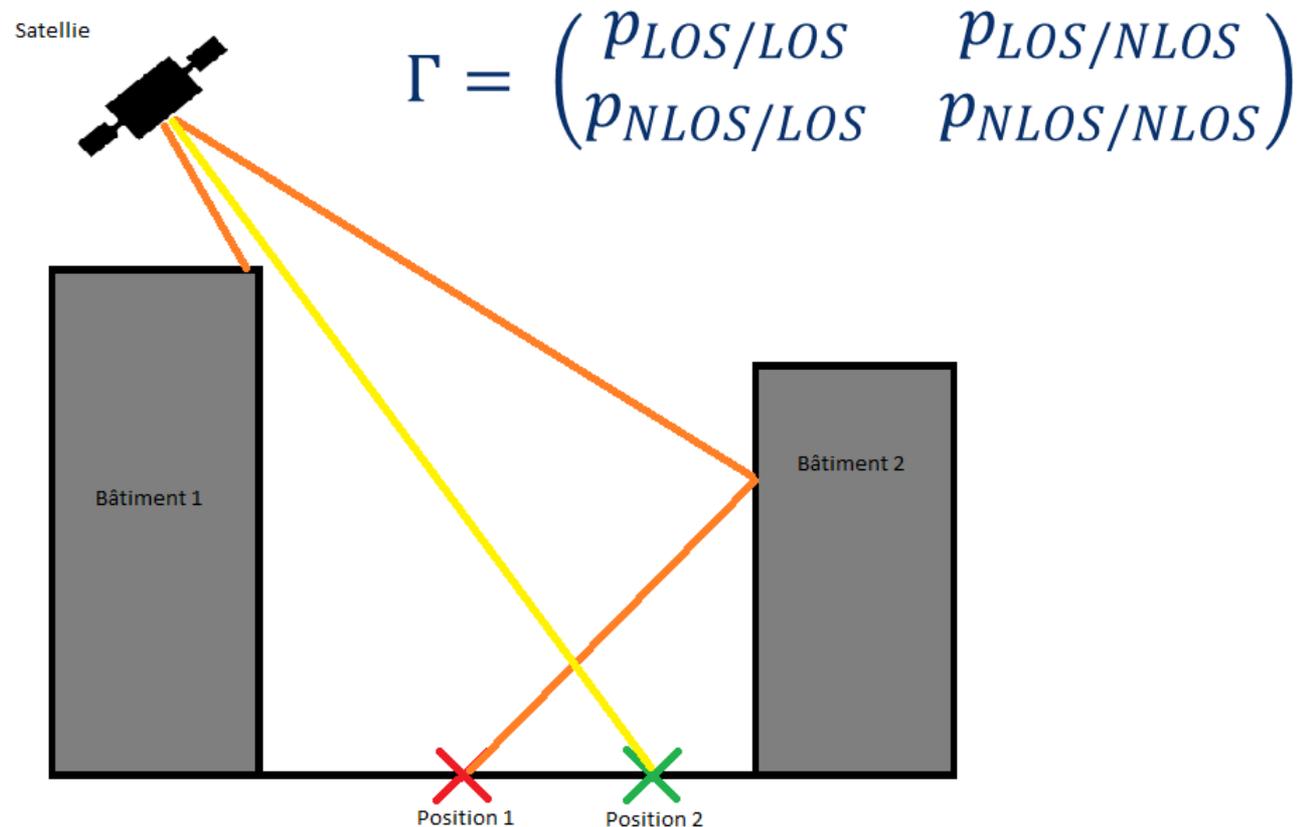
- Amélioration grâce aux entrées odo-gyro
 - Meilleure précision
 - Meilleure intégrité (mais niveaux de protection plus élevés)
 - PMD 10^{-2} et PFA 10^{-2}

Filtre implémenté	HPE médian	HPL médian	Intégrité (tx MI)
Basique (Ni ZHU)	2,19m	9,39m	1,10%
Input odo-gyro	1,99m	10,21m	0,85%

$$HPL = \underbrace{\max}_i (H_{slope,i} * \sigma_i) * \sqrt{T_{PFA}} + k_{PMD} * d_{major}$$

Couplage EKF et UMM

- Correction UMM des pseudo-distances
 - Utilisation de la position prédite par l'EKF odo-gyro
 - Analyse de la matrice de confusion par rapport à la classification LOS/NLOS basée sur la position de référence



Couplage EKF et UMM

- Amélioration de la précision et de l'intégrité grâce au modèle UMM
- L'utilisation de la position prédite est satisfaisante

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 75.46 & 2.72 \\ 4.44 & 17.38 \end{pmatrix}$$

Filtre implémenté	HPE médian	HPL médian	Intégrité (tx MI)
Basique (Ni ZHU)	2,19m	9,39m	1,10%
Input odo-gyro	1,99m	10,21m	0,85%
Input odo-gyro et correction UMM	1,91m	11,13m	0,04%

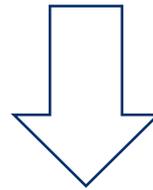
Couplage EKF et UMM

- La faible valeur du taux de MI (défauts d'intégrité) permet de baisser les niveaux de bruits (prédiction et mesure)
 - La variance des positions horizontales est trop élevée
 - Donc le niveau de protection horizontal est trop fort
 - Donc le risque d'intégrité est mécaniquement faible
- Diminution du niveau de bruit de prédiction

Couplage EKF et UMM

- Diminution du niveau de bruit de pseudo-distances

$$var_{PR,i} = m * (10^{-0.1 * C/N_0 i} + \gamma)$$



$$var_{PR,i} = \frac{coeff_{LOS/NLOS} * m * (10^{-0.1 * C/N_0 i} + \gamma)}{\sin(\theta_i)^2}$$

- $m = 165000$
- $\gamma = -3.1623 \cdot 10^{-6}$
- θ_i l'élévation du $i^{ème}$ satellite
- $coeff_{LOS/NLOS} = \begin{cases} 1 \text{ si } LOS \\ 10 \text{ si } NLOS \end{cases}$

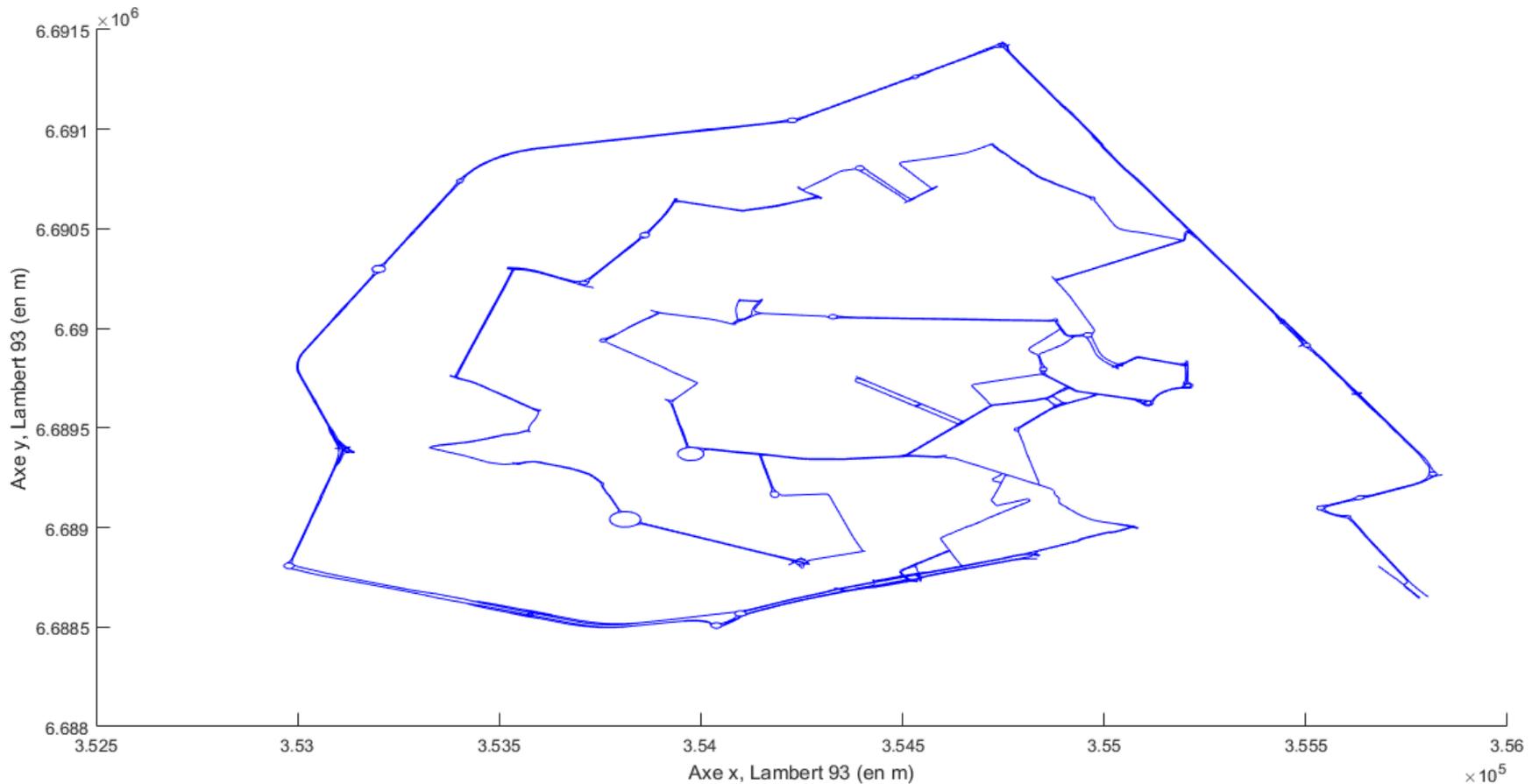
Couplage EKF et UMM

- Affinement du positionnement et de l'intégrité avec ces modifications

Filtre implémenté	HPE médian	HPL médian	Intégrité (tx MI)
Basique (Ni ZHU)	2,19m	9,39m	1,10%
Input odo-gyro	1,99m	10,21m	0,85%
Input odo-gyro et correction UMM	1,91m	11,13m	0,04%
Input odo-gyro et correction UMM, nouvelles variances de bruits	1,71m	8,61m	0,67%

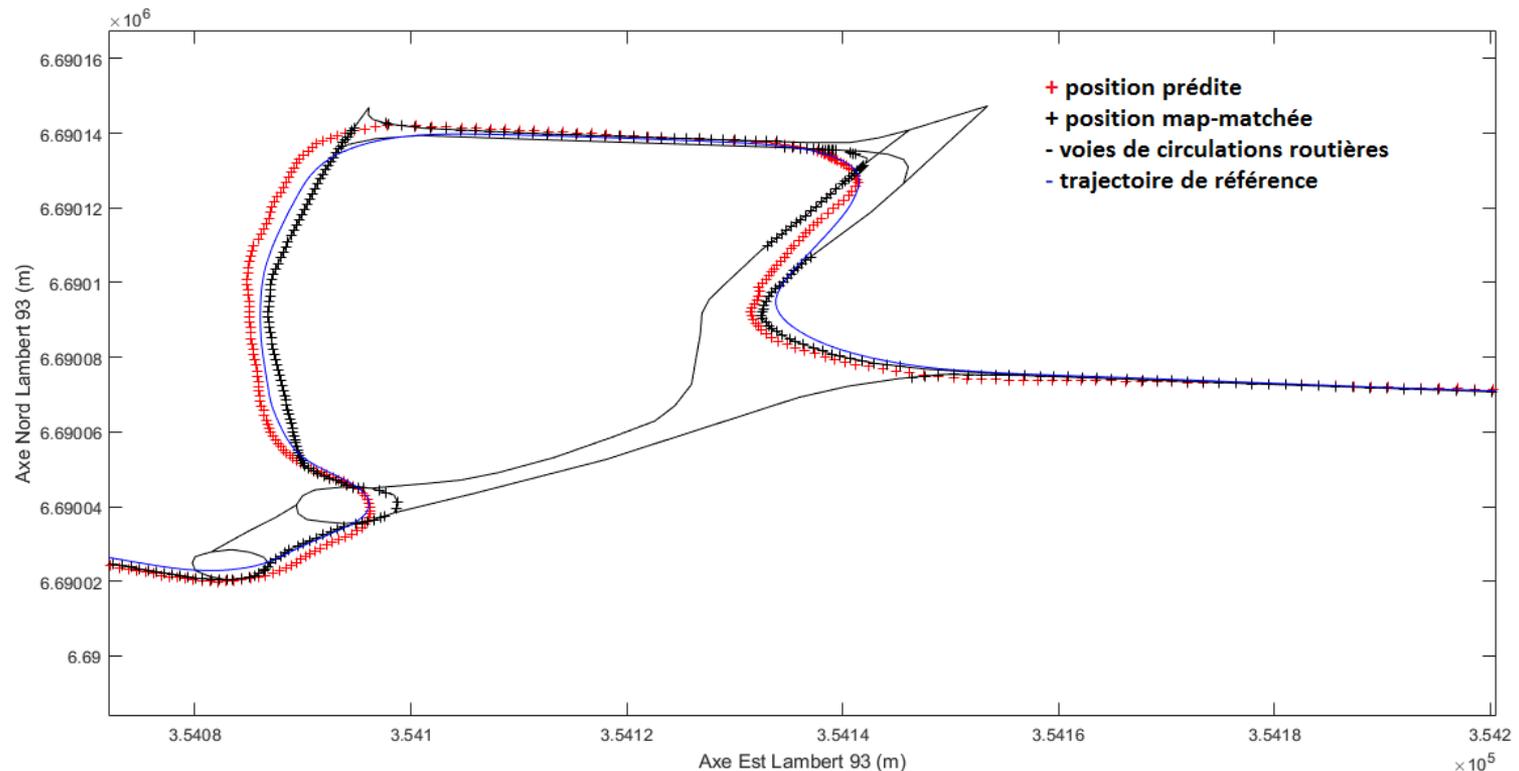
Map-matching

- Utilisation de la carte des voies de circulation routière (nouvellement créée, prototype IGN)



Map-matching

- Map-matching entre la position prédite et les voies de circulation
- Calcul de la correction UMM à partir de cette position map-matchée



Map-matching

- Apport du map-matching

Filtre implémenté	HPE médian	HPL médian	Intégrité (tx MI)
Input odo-gyro et correction UMM, nouvelles variances de bruits	1,71m	8,61m	0,67%
Input odo-gyro et correction UMM par map-matching, nouvelles variances de bruits	1,69m	8,46m	0,46%

– Amélioration de $\Gamma = \begin{pmatrix} 75.73 & 1.68 \\ 2.24 & 18.20 \end{pmatrix}$

Intérêt et présentation du nouveau test

- Deux intérêts majeurs
 - Évolution depuis 2014
 - Visualiser et quantifier l'apport de Galileo (multi-constellation)
- Récepteur UBlox F9P
 - Deux enregistrements à 5Hz
 - GPS seul
 - GPS et Galileo
- Récepteur Ublox LEA6T
 - GPS seul à 5Hz
- Pas d'odo-gyro



Setup du véhicule VERT pour le test de 2019

UBlox LEA6T

NEO/LEA-6T

u-blox 6 timing GPS modules



UBlox F9P

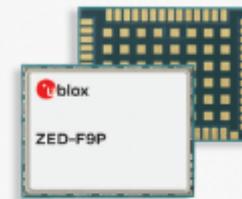
C099-F9P Application Board

Easy evaluation of u-blox ZED-F9P
with multi-band RTK



Kit includes

- 1 x application board with ZED-F9P
- 1 x active multi-band GNSS antenna
- 1 x Bluetooth / Wi-Fi antenna
- USB cable



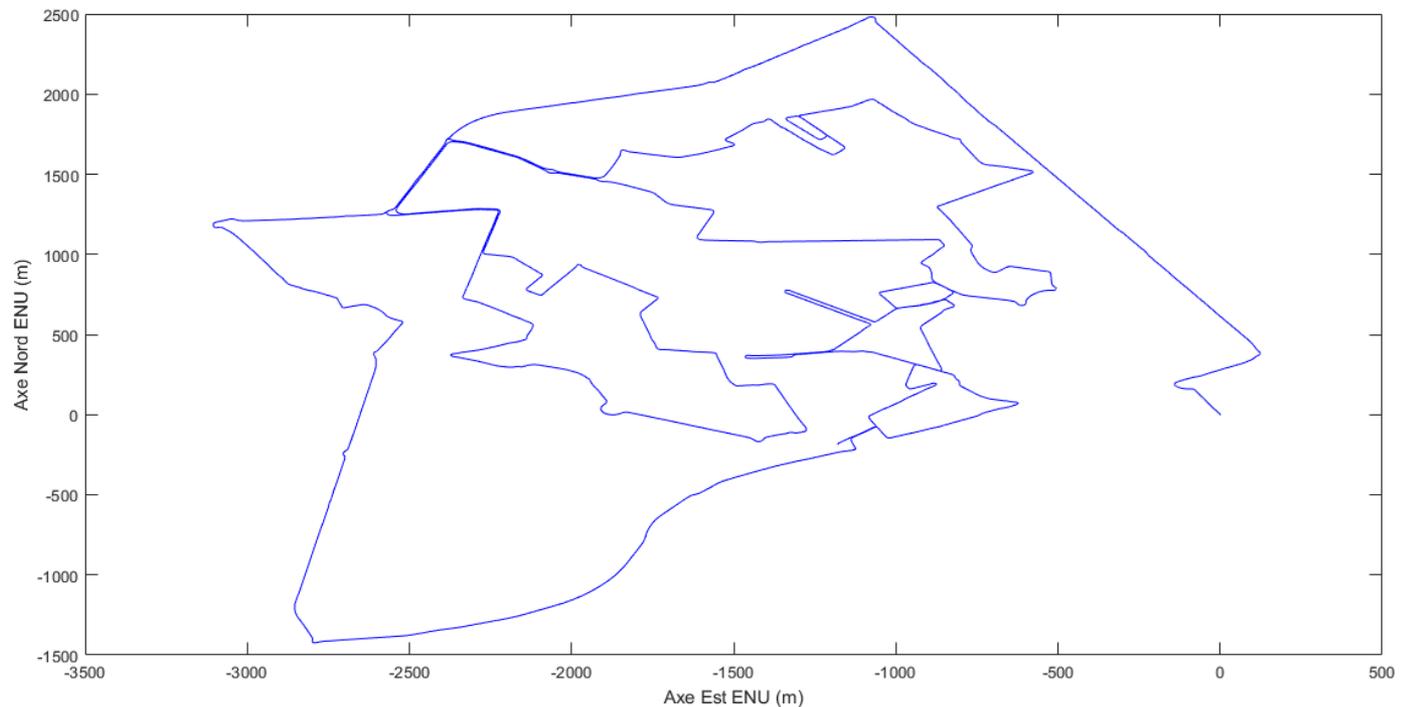
ZED-F9P module
u-blox F9 high precision
GNSS module



ANN-MB series
Multi-band, high precision
GNSS antennas

Intérêt et présentation du nouveau test

- Trajet effectué le 14 août 2019
 - 1h35min de trajet



Trajectoire effectuée dans le centre ville de Nantes le 14/08/2019

Résultats de cette nouvelle campagne de mesures

- F9P / LEA6T

Filtre basique implémenté	HPE médian	HPL médian	Intégrité (tx MI)
LEA 6T GPS en 2014 (7,45 sat. en moyenne)	2,19m	9,39m	1,10%
LEA 6T GPS (6,77 sat. en moyenne)	2,45m	12,51m	1,87%
F9P GPS seul	3,11m	13,15m	1,41%
F9P GPS + Galileo	2,39m	10,10m	1,61%

Conclusions

- Les données odo-gyro améliorent le positionnement par hybridation par entrée de commande : meilleur HPE (gain de 10%) et meilleure intégrité
- La correction UMM est satisfaisante si elle est effectuée à partir :
 - De la position prédite d'un filtre de Kalman hybridant des données GNSS & odo-gyro
 - Ou bien d'une position map-matchée sur carte multi-voies
- La bi-constellation GPS-Galileo permet d'améliorer le positionnement en ville : à noter une meilleure intégrité (moins de MI à HPL constant)
- Article/communication en préparation

Remerciements

- ENAC : Damien Rivoal, Anaïs Martineau
- IGN : Sébastien Busse, Thierry Blouin
- IFSTTAR :
 - Gilles Le Roux, Miguel Ortiz, GEOLOC
 - Quentin Bossard, SII