



TELECOM LAB -
SIGNAL PROCESSING AND
NAVIGATION RESEARCH
GROUP



- 1 -

Contrôle d'intégrité pour utilisateurs mobiles en milieu urbain

Philippe Brocard
Journée de la recherche, ENAC
20/02/2014



TELECOM LAB -
SIGNAL PROCESSING AND
NAVIGATION RESEARCH
GROUP



- 2 -

- **Commencée en Novembre 2012**
- **Cofinancement**
 - ENAC
 - Egis Avia
 - Groupe de conseil et d'ingénierie spécialisé dans le transport aérien
 - GSA (Agence du GNSS Européen)
 - Gère les programmes européens de navigation par satellite
- **GENIUS (GNSS Education Network for Industry and Universities)**
- **« Contrôle d'intégrité pour utilisateur mobile en zone urbaine »**

I. Applications visées par la thèse

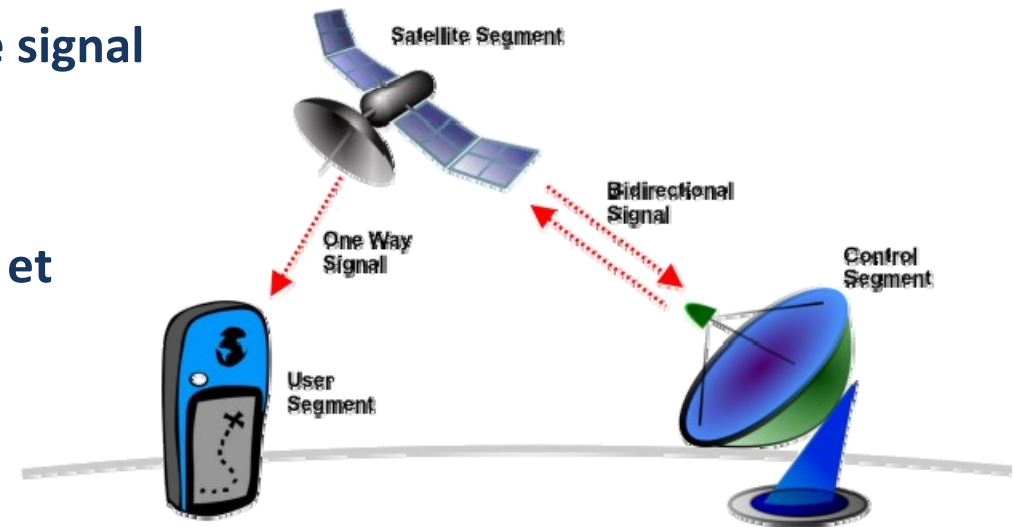
- **Utilisation du GNSS pour le contrôle et la signalisation ferroviaire**
 - Application critique pour la sécurité des usagers
 - European Train Control System (ETCS) pour une meilleure interopérabilité
 - Le train estime sa position via odométrie/balises RF
 - Exigences élevées en terme d'intégrité $P_{\text{int}} \leq \underline{10^{-11}/h}$ ($10^{-7}/h$ pour l'aviation civile)
 - GNSS pour minimiser la densité du réseau de balises (balise virtuelle)
- **Utilisation du GNSS pour le péage électronique routier**
 - Application critique d'un point de vue juridique
 - GNSS déjà utilisé en Allemagne et en République Tchèque
 - Taxation des poids lourds
 - GNSS pour minimiser les infrastructures et améliorer la fluidité du trafic

Domaines de recherche:

- **Traitement des signaux GNSS dans le récepteur**
 - **Mitigation des erreurs dues aux multitrajets**
 - **Contrôle de qualité des signaux**
 - **Sélection des mesures à prendre en compte pour le positionnement**
- **Analyse et développement de techniques de contrôle d'intégrité adaptées aux applications**

II. Principe du positionnement par satellite

- GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU
- Segment spatial
 - Satellites défilants émetteurs (24 pour GPS)
 - Chaque satellite émet son propre signal
- Segment sol
 - Stations sols calculant les orbites et corrections nécessaires
- Segment utilisateur
 - Récepteurs GNSS
 - Le récepteur estime lui-même sa position en se synchronisant avec les signaux reçus



<http://www.azosensors.com/Article.aspx?ArticleID=29>

II. Principe du positionnement par satellite

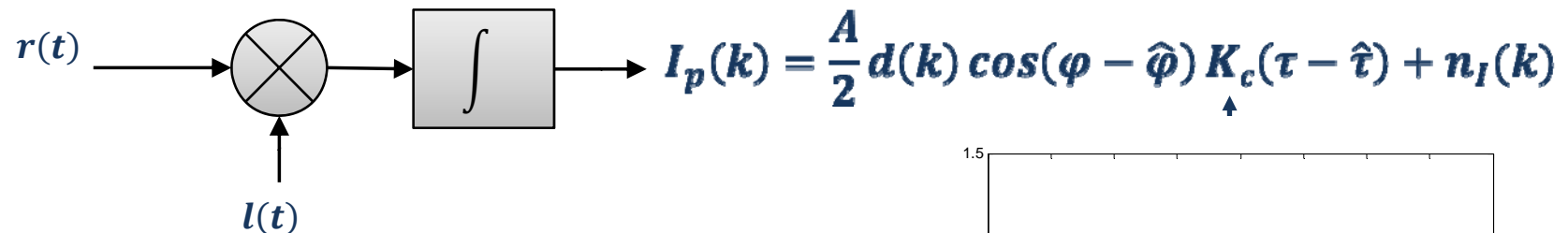
- **Signal GPS reçu**

- $r(t) = Ad(t - \tau)c(t - \tau) \cos(2\pi f_0 t + \varphi) + n(t)$

- **Réplique locale**

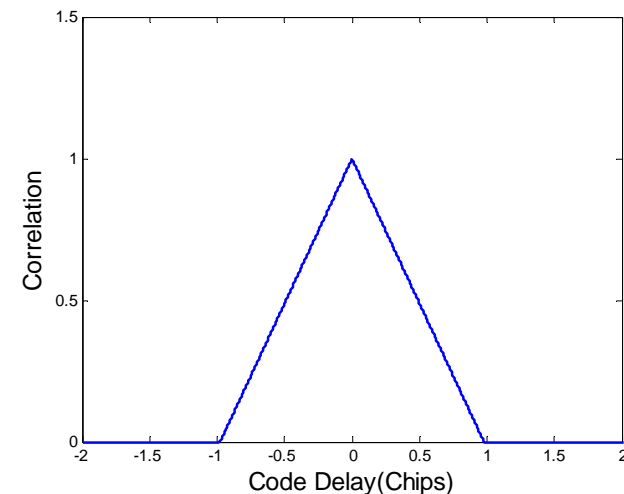
- $l(t) = c(t - \hat{\tau}) \cos(2\pi f_0 t + \hat{\varphi})$

- **Corrélation**



- **Delay Lock Loop (DLL) minimise $\tau - \hat{\tau}$**

- **Phase Lock Loop (PLL) minimise $\varphi - \hat{\varphi}$**

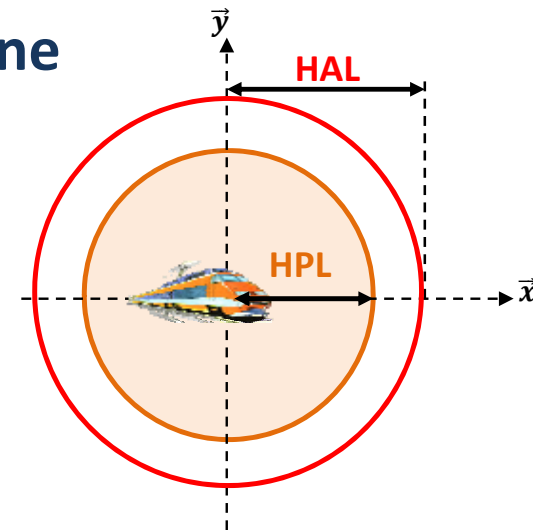


II. Principe du positionnement par satellite

- $P^i = c\hat{\tau}_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} + c\Delta t_{u,i} + n_i$
 - P^i est la mesure de pseudodistance par rapport au ième satellite
 - x_i, y_i et z_i sont les coordonnées du satellite
 - n_i constitue l'ensemble des erreurs de mesures
 - $\Delta t_{u,i}$ est le décalage entre le temps GPS et temps utilisateur
- Le filtre de navigation estime la solution de position, vitesse et temps (PVT)
 - Filtrage de Kalman
 - Méthode des Moindres carrés

III. Concepts de base du contrôle d'intégrité

- Développé à l'origine pour l'aviation civile
- Nécessité d'utiliser un système d'augmentation
 - GBAS, SBAS ou ABAS
- Le système d'augmentation calcule le niveau de Protections Horizontal (HPL) et Vertical (VPL) en temps réel
- L'alerte limite horizontale (HAL) est la borne maximale tolérée pour le niveau de protection horizontal
 - Exigences standardisées pour l'aviation civile
 - Aucune spécification pour le rail ni pour le péage routier actuellement
- Le système est dit disponible si $HPL \leq HAL$



III. Concepts de base du contrôle d'intégrité

- Lorsque la condition de disponibilité est remplie
- Si un biais anormal sur une mesure de pseudodistance est détecté par le système d'augmentation, une alerte est émise
 - Le Time-to-Alert est la borne maximale tolérable pour le temps d'émission de l'alerte
- Le risque d'intégrité P_{int} est défini comme
 - $P \left(\|X - \hat{X}\|_H \geq \text{HPL} \mid \nexists \text{ d'alerte avant TTA} \right) \leq P_{int}$

IV. L'intégrité en milieu urbain

- **Bi-constellation pour une géométrie améliorée**
- **Inertie et odométrie pour améliorer la disponibilité**
- **Nécessaire de pouvoir détecter les fort biais en réception**
 - Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM)
- **Deux types de mesures biaisées:**
 - **Non-Line-Of -Sight (NLOS)**
 - Réception d'un signal non direct => biais sur la mesure de pseudodistance
 - Ne déforme pas la fonction de corrélation
 - Pré détection et exclusion des NLOS, possibles techniques à étudier dans la thèse:
 - Caméra fisheye
 - Masques pour sélectionner certaines mesures
 - Cartes 3D de l'environnement
 - **Line-Of-Sight (LOS) + reflections de forte puissance**
 - Pré détection et exclusion en surveillant la fonction de corrélation

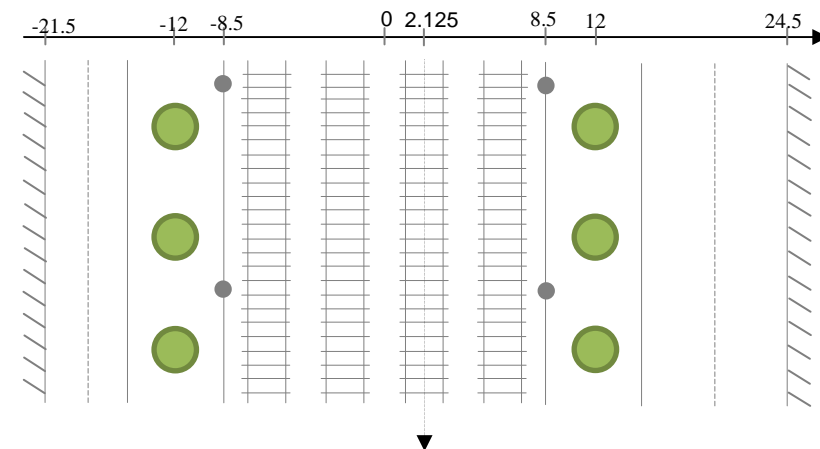
V. Travail effectué durant la thèse: détermination de $\sigma_{mp,i}$ par simulation

- **Caractérisation de l'erreur nominale sur la pseudo-distance**
 - **Distributions normales, centrées et indépendantes**
 - $\sigma_{UERE}^2 = \sigma_{clk\&eph}^2 + \sigma_{iono}^2 + \sigma_{tropo}^2 + \sigma_{noise}^2 + \sigma_{mp}^2$
- **Calculée dans la thèse pour un train en milieu urbain**
- **Une méthode est proposée pour quantifier cette valeur**

V. Travail effectué durant la thèse: détermination de $\sigma_{mp,i}$ par simulation

A. Modèle de canal urbain développé par le DLR

- Génération du signal direct (LOS) de manière déterministe
- Génération des échos de manière statistique
- Paramétrer un scénario



- Toulouse $+43^{\circ} 35' 58.04''$, $+1^{\circ} 27' 29.82''$
- Traitement du canal par un simulateur de récepteur GNSS

V. Travail effectué durant la thèse: détermination de $\sigma_{mp,i}$ par simulation

B. Interférences multitrajets

- **Modèle du signal reçu**

$$r(t) = \underbrace{Ad(t)c(t - \tau) \cos(2\pi f_0 t + \varphi)}_{\text{LOS}} + \underbrace{\sum_{k=1}^N \alpha_k c(t - \tau_k) \cos(2\pi f_0 t + \varphi_k)}_{\text{Réflexions}}$$

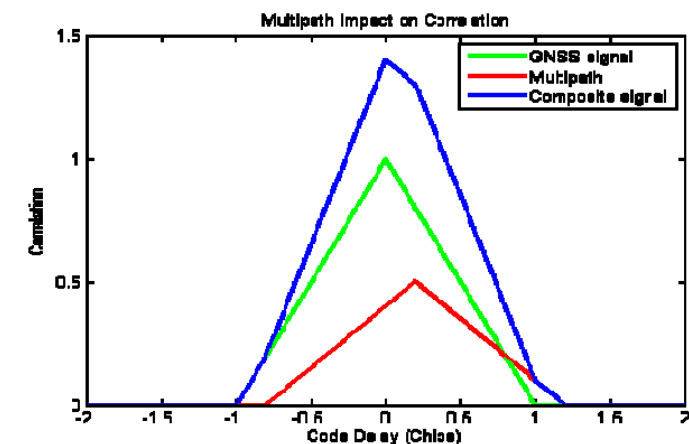
- **Impact sur la corrélation**

$$I_p(k) = Ad(t)d(k) \cos(\varphi - \hat{\varphi}) K_c(\tau - \hat{\tau}) + \sum_{k=1}^N \alpha_k K_c(\tau_k - \hat{\tau}) \cos(\varphi_k - \hat{\varphi})$$

- Distorsion de la fonction de corrélation

- **Distribution de l'erreur non gaussienne**

- **Nécessité de majorer la distribution par une loi normale**

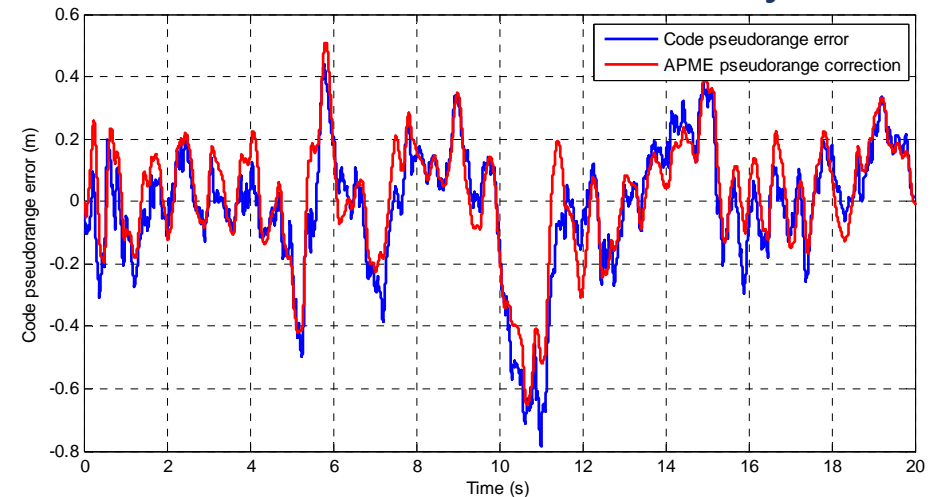


V. Travail effectué durant la thèse: détermination de $\sigma_{mp,i}$ par simulation

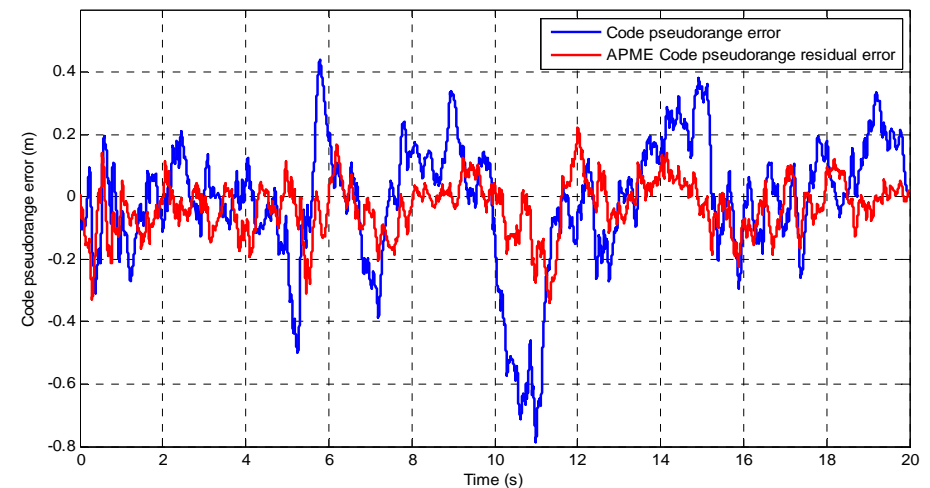
C. Réduction de l'effet des multitrajets au niveau récepteur

- 3 techniques testées dans la thèse:
 - Correlateur étroit (NovAtel)
 - Réduction de l'espacement Early-Late < 1 CI
 - Réduction du σ de 58%
 - Techniques $\Delta\Delta$
 - Utiliser des corrélateurs additionnels
 - Plusieurs Implémentations:
 - Ashtech's *Strobe Correlator*,
 - Rockwell Collins' *High Resolution Correlator (HRC)*,
 - NovAtel's *Pulse Aperture Correlation*
 - Réduction du σ de 66%
 - APME (Septentrio)
 - Module d'estimation des multitrajets
 - Réduction du σ de 68%

Estimation de l'erreur multitrajets



Correction de l'erreur multitrajets



Suite de la thèse

- Design des algorithmes de contrôle d'intégrité adaptés aux applications (rail et péage routier)
- Installation d'un véhicule de mesure dédié au laboratoire
 - Outil de trajectoire de référence
 - Plateforme de test pour différents capteurs/récepteurs
- Campagne de test sur signaux réels en urbain
- Possible campagne de mesure sur tramway à Aubagne





TELECOM LAB -
SIGNAL PROCESSING AND
NAVIGATION RESEARCH
GROUP



Merci de votre attention,