



Low-Cost RTK: Navigation Précise et Robuste dans les Milieux Urbains par Traitements Avancés des Mesures de Phases GNSS

A. Sidibe, M. Sahmoudi, P. Paimblanc
06/10/2015, TéSA, Toulouse

Objectifs du projet COPNAV

- **Problématique:** Positionnement précis RTK/PPP (1m ~ 50cm) par des récepteurs GNSS bas coût mono-fréquence dans des environnements contraints (péri-urbain ou urbain).
- **Applications et besoin du marché:** L'augmentation croissante du positionnement précis par satellites GNSS (RTK & PPP), dans des secteurs variés: l'agriculture de précision, les transports (guidage automatique, assistance à la conduite, péage des routes), systèmes autonomes, robotique mobile, etc.



- **Technologies existantes:** Le positionnement précis repose sur des équipements couteux (flux de corrections via des abonnements onéreux, récepteurs hautes gamme, antenne géodésique et un lien de communication.).
- **Challenges :** 1) Le coût du matériel, 2) mesures fortement dégradées en milieux urbains et 3) disponibilité très réduite.

Plan de la présentation

❑ Rappels du Principe du Positionnement GNSS

- Systèmes GNSS (exemple du GPS)
- Structure du signal (exemple du GPS)
- Génération des mesures et calcul de la position
- Modes de positionnement: standard, lissage avec mesures de phase, différentiel DGPS / DGPS avec mesures de phase, positionnement relatif, positionnement relatif et précis RTK et PPP.

❑ Positionnement précis

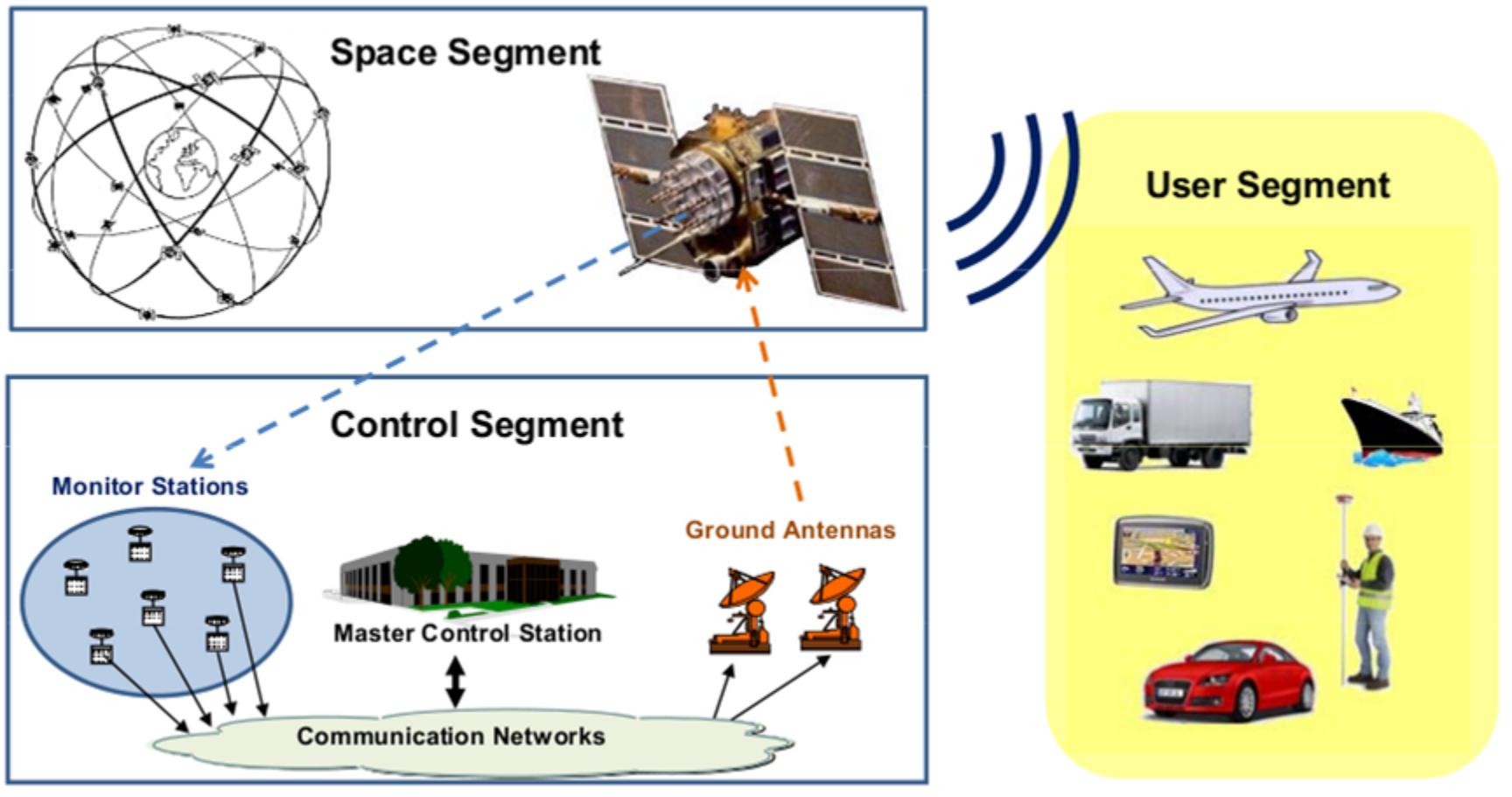
- Modélisation des mesures et erreurs
- Résolution des ambiguïtés de la phase
- Détection et traitement des sauts de cycle
- Utilisation de l'Outil Open Source RTKLib

❑ Résultats de la campagne de mesure

❑ Conclusions et améliorations envisagées

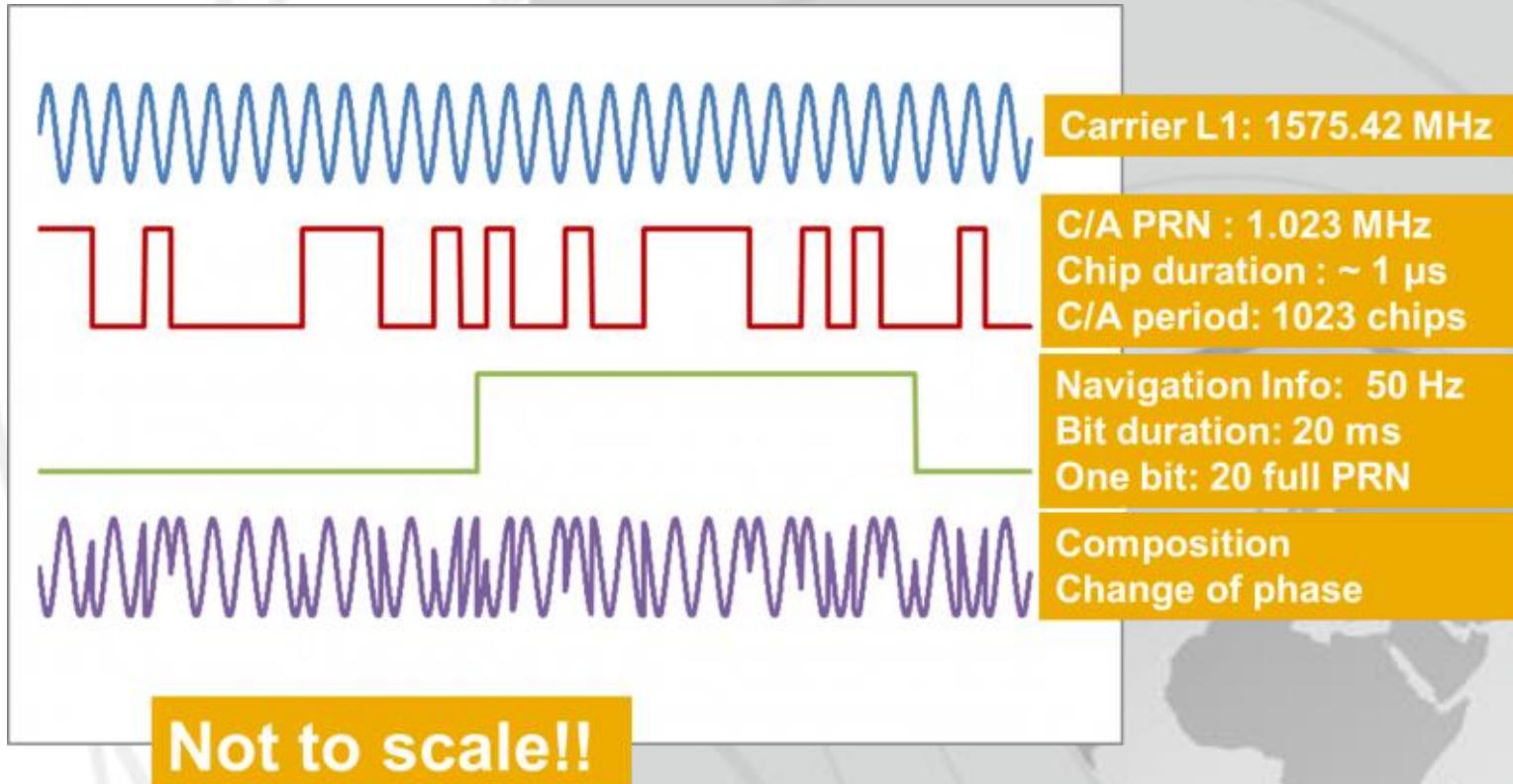


1. Systèmes GNSS



Source: www.navipedia.net

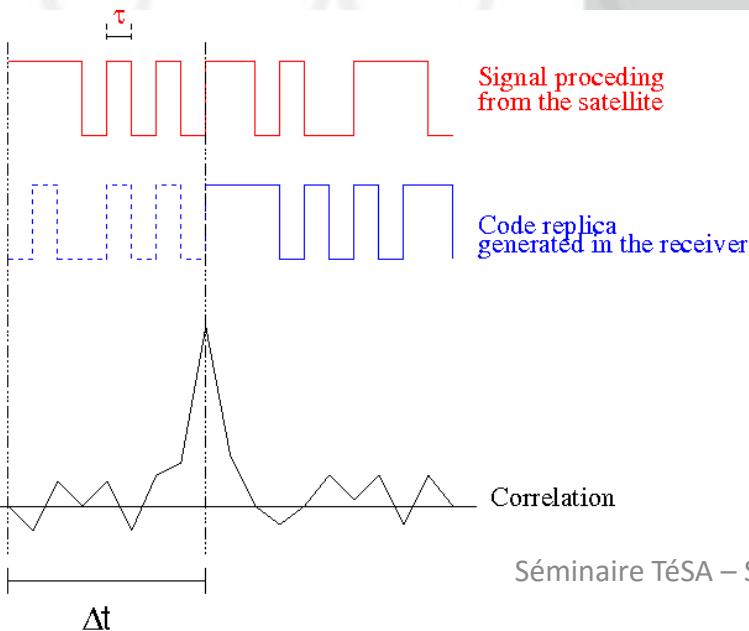
1. Positionnement GNSS: structure du signal GPS



1. Positionnement GNSS: Génération des observables

Le signal diffusé par les satellites est poursuivi par trois boucles:

- **DLL (Delay Lock Loop)**: estimation du retard lié au temps de propagation du signal
- **F/PLL (Frequency/Phase Lock Loop)**: estimation du Doppler et de la phase de la porteuse



➤ Mesures de Pseudodistance :

$$R_p = \rho + c(dt_r - dt^s) + T + I + M_p + \varepsilon_p$$

➤ Mesures de phase :

$$\Phi_L = \rho + c(dt_r - dt^s) + T - I + \lambda_L N_L + m_L + \epsilon_L$$

Positioning Technologies/Modes

❑ Point Positioning (for static and dynamic applications)

- Single Point Positioning → uses code measurements only and currently mostly single frequency)
- Carrier Smoothed Positioning → uses carrier measurements to smooth the code.
- Precise Point Positioning (PPP) → uses code and carrier measurements on multiple frequencies, solving ambiguities and using post processed precise orbit and clock models. Uses only one receiver.

❑ Differential Positioning

- Traditional DGPS → a nearby reference receiver at a known location is used to compute corrections.
- Real Time Kinematic (RTK) Positioning → employs two receivers and a real time orbit and clock prediction service.
- Wide Area DGPS → a network of stations are employed to compute corrections of multiple error sources.

Alternative Positioning Models

❑ Relative Positioning

- **Single Difference Positioning** → measurements from a reference and rover receiver are combined to cancel local errors at reception. Estimates the baseline vector instead of the absolute state vector (i.e. user coordinates to be deduced).
- **Double Difference Positioning** → measurements from two satellites and two receivers are combined to cancel errors at transmission and reception.

Alternative Positioning Models

Recall that code measurements are noisy but unambiguous whilst carrier measurements are precise but ambiguous.

- **Carrier Smoothing:** We can obtain the smoothed code observable as follows (called the Hatch Filter):

$$P_k = \frac{1}{n} \rho + \frac{n-1}{n} [P_{k-1} + (\varphi_k - \varphi_{k-1})] \text{ with initial value } P_1 = \rho_1$$

A limit N on n is used to maintain some influence of the code so $n = k$ for $k < N$ and $n = N$ for $k \geq N$

The algorithm must be reinitialised if a cycle slip occurs...the event of the receiver incorrectly accumulating phase increments over time. A smoothing time constant N of 100s is used for most aviation applications.

2. Positionnement Précis

- **Caractéristiques de la mesure de phase:**
 - Le niveau de bruit de mesure et l'amplitude des multitrajets est plus faible que sur la mesure de code
 - Les mesures sont affectées d'une ambiguïté entière spécifique à chaque satellite
- **Objectif:** Estimer les ambiguïtés des mesures de phase.
- **Deux méthodes:**
 - RTK: Real Time Kinematic
 - PPP: Precise Point Positioning

5. RTK

Precise Positioning

	Standard Positioning (code-based)	Precise Positioning (carrier-based)
Observables	Pseudorange (Code)	Carrier-Phase + Pseudorange
Receiver Noise	30 cm	3 mm
Multipath	30 cm - 30 m	1 - 3 cm
Sensitivity	High (<20dBHz)	Low (>35dBHz)
Discontinuity	No Slip	Cycle-Slip
Ambiguity	-	Estimated/Resolved
Receiver	Low-Cost (~\$100)	Expensive (~\$20,000)
Accuracy (RMS)	3 m (H), 5 m (V) (Single) 1 m (H), 2 m (V) (DGPS)	5 mm (H), 1 cm (V) (Static) 1 cm (H), 2 cm (V) (RTK)
Application	Navigation, Timing, SAR,...	Survey, Mapping, ...

Carrier-Phase

Definition:

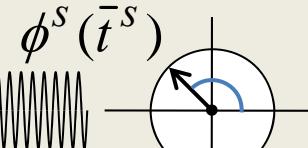
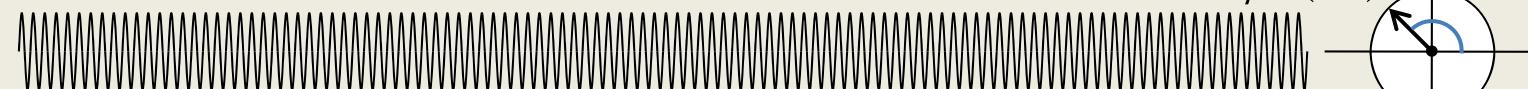
$$\phi_r^s = \phi^s - \phi_r + N$$

(cycle)

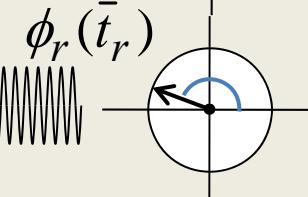
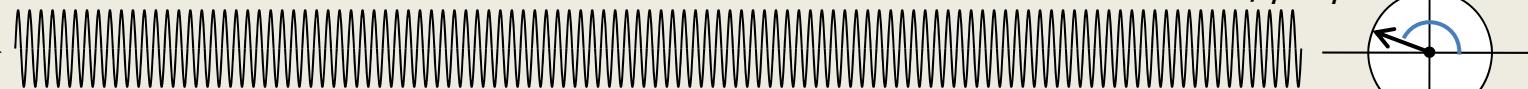
... actually being a measurement on the beat frequency between the received carrier of the satellite signal and a receiver-generated reference frequency. (RINEX 2.10)



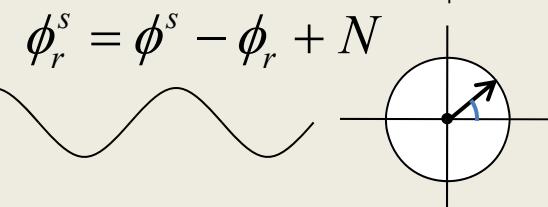
Received Satellite Carrier:



Local Reference Frequency:



Carrier Beat Frequency:



Carrier-Phase Model (1)

Carrier-Phase:

$$\begin{aligned}\phi_r^s &= \phi_r(t_r) - \phi^s(t^s) + N_r^s + \varepsilon_\phi & (\phi_{r,0} = \phi_r(t_0), \phi_0^s = \phi^s(t_0)) \\ &= (f(t_r + dt_r - t_0) + \phi_{r,0}) - (f(t^s + dT^s - t_0) + \phi_0^s) + N_r^s + \varepsilon_\phi\end{aligned}$$

$$= \frac{c}{\lambda}(t_r - t^s) + \frac{c}{\lambda}(dt_r - dT^s) + (\phi_{r,0} - \phi_0^s + N_r^s) + \varepsilon_\phi \quad (\text{cycle})$$

$$\begin{aligned}\Phi_r^s &\equiv \lambda\phi_r^s = c(t_r - t^s) + c(dt_r - dT^s) + \lambda(\phi_{r,0} - \phi_0^s + N_r^s) + \lambda\varepsilon_\phi \\ &= \underline{\rho_r^s + c(dt_r - dT^s)} - \underline{I_r^s + T_r^s} + \underline{\lambda B_r^s + d_r^s} + \varepsilon_\Phi \quad (\text{m})\end{aligned}$$

Carrier-Phase Bias Other Correction Terms

Pseudorange:

$$P_r^s = \underline{\rho_r^s + c(dt_r - dT^s)} + \underline{I_r^s + T_r^s} + \varepsilon_P$$

Carrier-Phase Model (2)

Carrier-Phase Bias:

$$\underline{B_r^s} = \phi_{r,0} - \phi_0^s + N_r^s \quad (\text{cycle})$$

N_r^s : Integer Ambiguity

$\phi_{r,0}$: Receiver Initial Phase

ϕ_0^s : Satellite Initial Phase

Other Correction Terms:

$$\begin{aligned} \underline{d_r^s} = & -\mathbf{d}_{r,pco}^T \mathbf{e}_{r,enu}^s + \left(\mathbf{E}_{sat \rightarrow ecef} \mathbf{d}_{pco}^s \right)^T \mathbf{e}_r^s + d_{r,pcv} + d_{pcv}^s - \mathbf{d}_{disp}^T \mathbf{e}_{r,enu}^s \\ & + d_{pw} + d_{rel} \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$\mathbf{d}_{r,pco}$: Receiver Antenna Phase Center Offset

$d_{r,pcv}$: Receiver Antenna Phase Center Variation

\mathbf{d}_{pco}^s : Satellite Antenna Phase Center Offset

d_{pcv}^s : Satellite Antenna Phase Center Variation

\mathbf{d}_{disp} : Site Displacement

d_{pw} : Phase Wind-up Effect

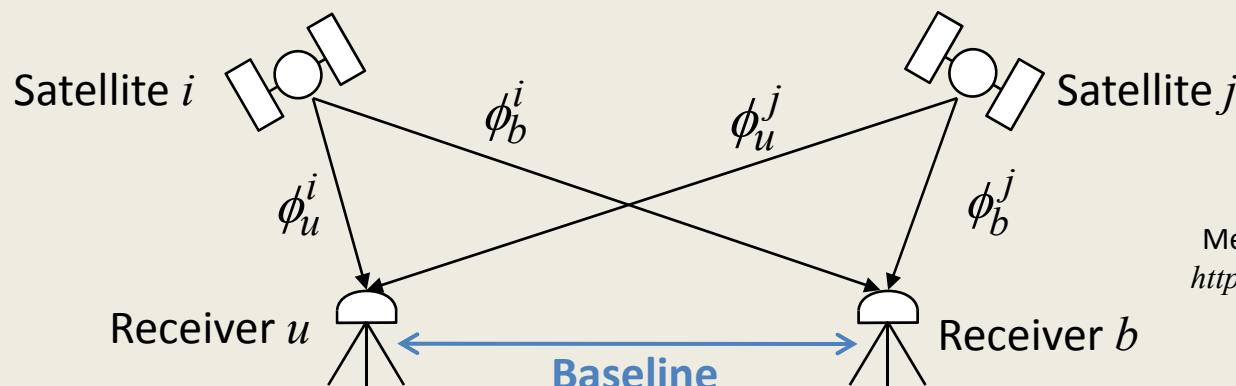
d_{rel} : Relativistic Effect

DD (Double Difference)

$$\begin{aligned}
 \Phi_{ub}^{ij} &\equiv \lambda((\phi_u^i - \phi_b^i) - (\phi_u^j - \phi_b^j)) \\
 &= \rho_{ub}^{ij} + c(dt_{ub}^{ij} - dT_{ub}^{ij}) - I_{ub}^{ij} + T_{ub}^{ij} + \lambda B_{ub}^{ij} + d_{ub}^{ij} + \epsilon_\Phi \\
 &= \rho_{ub}^{ij} - I_{ub}^{ij} + T_{ub}^{ij} + \lambda N_{ub}^{ij} + d_{ub}^{ij} + \epsilon_\Phi \\
 dt_{ub}^{ij} &= dt_u^{ij} - dt_b^{ij} = 0, dT_{ub}^{ij} = dT_{ub}^i - dT_{ub}^j \approx 0 \\
 B_{ub}^{ij} &= (\phi_{u,0} - \phi_0^i + N_u^i) - (\phi_{b,0} - \phi_0^i + N_b^i) - (\phi_{u,0} - \phi_0^j + N_u^j) + (\phi_{b,0} - \phi_0^j + N_b^j) = N_{ub}^{ij}
 \end{aligned}$$

(short Baseline and same antenna type)

$$\begin{aligned}
 \Phi_{ub}^{ij} &\approx \rho_{ub}^{ij} + \lambda N_{ub}^{ij} + \epsilon_\Phi \\
 I_{ub}^{ij} &= I_{ub}^i - I_{ub}^j \approx 0, T_{ub}^{ij} = T_{ub}^i - T_{ub}^j \approx 0, d_{ub}^{ij} = d_{ub}^i - d_{ub}^j \approx 0
 \end{aligned}$$



Memo for Misra & Enge:
[http://gpspp.sakura.ne.jp/
diary200608.htm](http://gpspp.sakura.ne.jp/diary200608.htm)

Carrier-based Relative Positioning

Nonlinear-LSE:

Parameter Vector:

$$\boldsymbol{x} = (\boldsymbol{r}_u^T, N_{ub}^{s_2 s_1}, N_{ub}^{s_3 s_1}, \dots, N_{ub}^{s_m s_1})^T$$

Measurement Vector:

$$\boldsymbol{y} = (\boldsymbol{y}_{t_1}^T, \boldsymbol{y}_{t_2}^T, \dots, \boldsymbol{y}_{t_n}^T)^T$$

Meas Model, Design Matrix:

$$\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}) = (\boldsymbol{h}_{t_1}(\boldsymbol{x})^T, \boldsymbol{h}_{t_2}(\boldsymbol{x})^T, \dots, \boldsymbol{h}_{t_n}(\boldsymbol{x})^T)^T$$

$$\boldsymbol{H} = (\boldsymbol{H}_{t_1}^T, \boldsymbol{H}_{t_2}^T, \dots, \boldsymbol{H}_{t_n}^T)^T$$

Meas Error Covariance:

$$\boldsymbol{R} = blkdiag(\boldsymbol{R}_{t_1}, \boldsymbol{R}_{t_2}, \dots, \boldsymbol{R}_{t_n})$$

Solution (Static/Float):

$$\hat{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{x}_0 + (\boldsymbol{H}^T \boldsymbol{R}^{-1} \boldsymbol{H})^{-1} \boldsymbol{H}^T \boldsymbol{R}^{-1} (\boldsymbol{y} - \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}_0))$$

$$\boldsymbol{y}_{t_k} = (\boldsymbol{\Phi}_{ub,t_k}^{s_2 s_1}, \boldsymbol{\Phi}_{ub,t_k}^{s_3 s_1}, \dots, \boldsymbol{\Phi}_{ub,t_k}^{s_m s_1})^T$$

$$\boldsymbol{h}_{t_k}(\boldsymbol{x}) = \begin{pmatrix} \rho_{u,t_k}^{s_2 s_1} - \rho_{b,t_k}^{s_2 s_1} + \lambda N_{ub}^{s_2 s_1} \\ \rho_{u,t_k}^{s_3 s_1} - \rho_{b,t_k}^{s_3 s_1} + \lambda N_{ub}^{s_3 s_1} \\ \vdots \\ \rho_{u,t_k}^{s_m s_1} - \rho_{b,t_k}^{s_m s_1} + \lambda N_{ub}^{s_m s_1} \end{pmatrix}$$

$$\boldsymbol{H}_{t_k} = \begin{pmatrix} -\boldsymbol{e}_{u,t_k}^{s_2 s_1 T} & \lambda & 0 & \cdots & 0 \\ -\boldsymbol{e}_{u,t_k}^{s_3 s_1 T} & 0 & \lambda & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\boldsymbol{e}_{u,t_k}^{s_m s_1 T} & 0 & 0 & \cdots & \lambda \end{pmatrix}$$

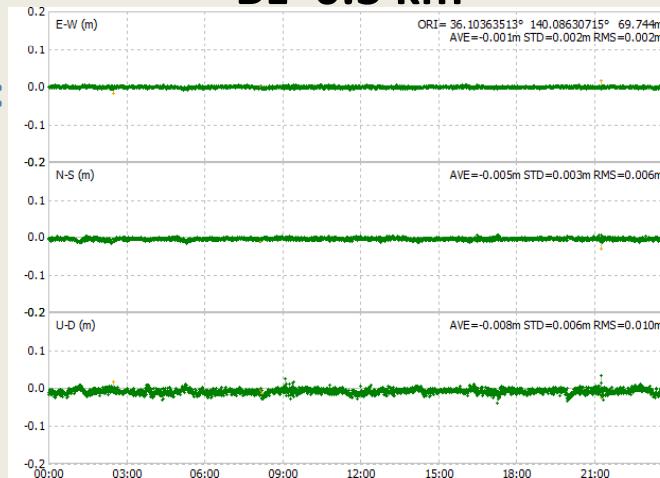
$$\boldsymbol{R}_{t_k} = \begin{pmatrix} 4\sigma_\phi^2 & 2\sigma_\phi^2 & \cdots & 2\sigma_\phi^2 \\ 2\sigma_\phi^2 & 4\sigma_\phi^2 & \cdots & 2\sigma_\phi^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 2\sigma_\phi^2 & 2\sigma_\phi^2 & \cdots & 4\sigma_\phi^2 \end{pmatrix}$$

\boldsymbol{r}_b : Fixed Base-Station Position

Effect of Baseline Length

RMS Error:
E: 0.2cm
N: 0.6cm
U: 1.0cm
Fix Ratio:
99.9%

BL=0.3 km



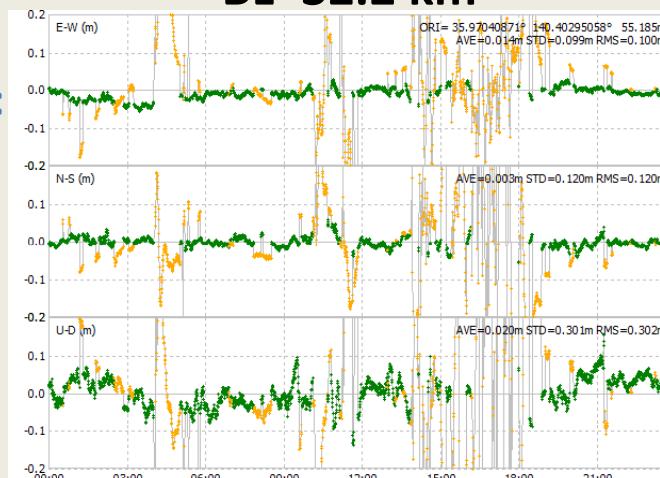
BL=13.3 km



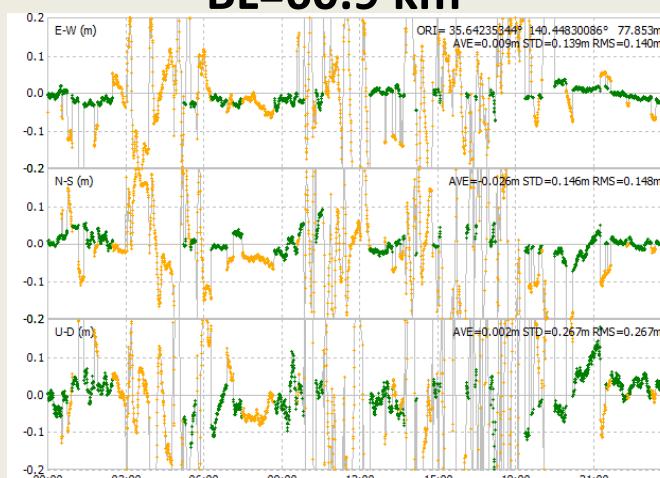
RMS Error:
E: 2.2cm
N: 2.4cm
U: 10.6cm
Fix Ratio:
94.2%

RMS Error:
E: 10.0cm
N: 12.0cm
U: 30.2cm
Fix Ratio:
64.3%

BL=32.2 km



BL=60.9 km



RMS Error:
E: 14.0cm
N: 14.8cm
U: 26.7cm
Fix Ratio:
44.4%

(24 hr Kinematic •: Fixed Solution •: Float Solution)

Integer Ambiguity Resolution

- **Objectives**
 - More accurate than float solutions
 - Fast converge of solutions
- **Many AR Strategies**
 - Simple Integer rounding
 - Multi-frequency wide-lane and narrow-lane generation
 - Search in coordinate domain
 - Search in ambiguity domain
 - AFM, FARA, LSAST, LAMBDA, ARCE, HB-L³, Modified Cholesy Decomposition, Null Space, FAST, OMEGA, ...

ILS (Integer Least Square Estimation)

Problem:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{a}^T, \mathbf{b}^T)^T, \mathbf{H} = (\mathbf{A}, \mathbf{B})$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Hx} + \mathbf{v} = \mathbf{Aa} + \mathbf{Bb} + \mathbf{v}$$

$$\check{\mathbf{x}} = \underset{\mathbf{a} \in \mathbb{Z}^n, \mathbf{b} \in \mathbb{R}^m}{\arg \min} (\mathbf{y} - \mathbf{Hx})^T \mathbf{Q}_y^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{Hx})$$

Strategy:

(1) Conventional LSE

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{a}} \\ \hat{\mathbf{b}} \end{pmatrix} = \mathbf{Q}_x \mathbf{H}^T \mathbf{Q}_y^{-1} \mathbf{y}, \mathbf{Q}_x = \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_a & \mathbf{Q}_{ab} \\ \mathbf{Q}_{ba} & \mathbf{Q}_b \end{pmatrix} = (\mathbf{H}^T \mathbf{Q}_y \mathbf{H})^{-1}$$

(2) Search Integer Vector with Minimum Squared Residuals

$$\check{\mathbf{a}} = \underset{\mathbf{a} \in \mathbb{Z}^n}{\arg \min} (\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a})^T \mathbf{Q}_a^{-1} (\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a})$$

(3) Improve solution

$$\check{\mathbf{b}} = \hat{\mathbf{b}} - \mathbf{Q}_{ba} \mathbf{Q}_a^{-1} (\hat{\mathbf{a}} - \check{\mathbf{a}})$$

LAMBDA

Teunissen, P.J.G. (1995)

The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS integer ambiguity estimation. *Journal of Geodesy*, Vol. 70, No. 1-2, pp. 65-82.

- **ILS Estimation with:**

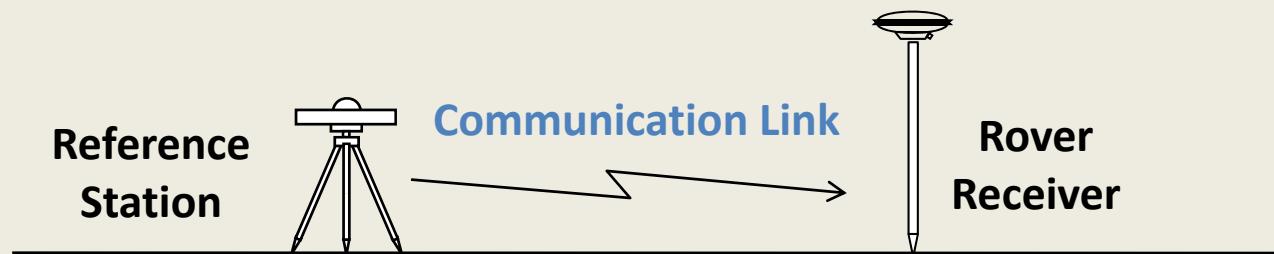
- Shrink Integer Search Space with "Decorrelation"
- Efficient Tree Search Strategy
- Similar to *Closest Point Search with LLL Lattice Basis Reduction* Algorithm

$$\breve{\boldsymbol{a}} = \arg \min_{\boldsymbol{a} \in \mathbf{Z}^n} (\hat{\boldsymbol{a}} - \boldsymbol{a})^T \boldsymbol{Q}_a^{-1} (\hat{\boldsymbol{a}} - \boldsymbol{a})$$

$$\begin{aligned}\hat{\boldsymbol{z}} &= \mathbf{Z}^T \hat{\boldsymbol{a}}, \boldsymbol{Q}_z = \mathbf{Z}^T \boldsymbol{Q}_a \mathbf{Z} \\ \breve{\boldsymbol{z}} &= \arg \min_{\boldsymbol{z} \in \mathbf{Z}^n} (\hat{\boldsymbol{z}} - \boldsymbol{z})^T \boldsymbol{Q}_z^{-1} (\hat{\boldsymbol{z}} - \boldsymbol{z}) \\ \breve{\boldsymbol{a}} &= \mathbf{Z}^{-T} \breve{\boldsymbol{z}}\end{aligned}$$

RTK (Real-time Kinematic)

- **Technique with Carrier-based Relative Positioning**
 - Real-time Position of Rover Antenna
 - Transmit Reference Station Data to Rover via Comm. Link
 - **OTF (On-the-Fly) Integer Ambiguity Resolution**
 - Typical Accuracy: $1 \text{ cm} + 1\text{ppm} \times \text{BL RMS}$ (Horizontal)
 - Applications:
 - Land Survey, Construction Machine Control, Precision Agriculture etc.



Problems with RTK-GNSS

- ❑ **Accuracy and reliability** → Needed for modern applications (agricultural environments, Drones, ITS, LBS).
- ❑ **Price** : low-cost robots, swarm robotics → Low-cost Receivers and Antennas. New solutions for receiving Iono, Orbital and Clocks corrections.
- ❑ Size and weight of antenna and receiver (UAV's)
- ❑ Availability of RTK infrastructure in rural sites.

2. Positionnement Précis

Détection des sauts de cycle

Définition : Un saut de cycle est une discontinuité de la mesure de la phase due à une perte du verrouillage de la PLL, liée à :

- Une obstruction,
- Un faible SNR
- Une forte dynamique du récepteur

Résolution :

- Calculer le vecteur d'ambiguïtés entières à chaque instant
- Déetecter le saut de cycle et réinitialiser l'ambiguïté dans ce cas
- Déetecter et réparer le saut de cycle afin de garder une ambiguïté entière constante.

Solution proposée :

Détection et correction des sauts de cycle à partir des mesures Doppler

2. Positionnement Précis

Détection des sauts de cycle

Données exploitées : mesures de Doppler et de phase sur deux instants consécutifs.

Modèle de mesure :

1. La différence entre mesures de phase sur deux instants consécutifs dépend de:
 - La variation de la distance émetteur récepteur
 - La variation du biais d'horloge récepteur
 - La variation du nombre d'ambiguïté
2. La moyenne du Doppler sur deux instants consécutifs dépend de :
 - La variation de la distance émetteur récepteur
 - La variation du biais d'horloge récepteur

Méthode d'estimation :

1. Valeur réelle du saut de cycle estimée par moindres carrés
2. Valeur entière estimée avec LAMBDA

2. Positionnement Précis

RTKLib

- Logiciel open source pour le post-traitement et le traitement temps réel des données GNSS.
- Développé depuis 2006, la dernière version disponible est 2.4.2
- Librairies de fonctions codées en C + interfaces
- Signaux GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, QZSS pris en compte.

The screenshot shows a web browser displaying the RTKLIB website at www.rtklib.com. The page title is "RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning". Below the title, there is a "Download" section containing a table of binary packages for Windows. The table includes columns for Version, Date, Binary AP Package for Windows, and Full Package with Source Programs. The table lists versions from 0.2.0 to 2.4.3, with file sizes ranging from 2.8MB to 55.2MB. Below the table, there is a note about patches and a link to GitHub for RTKLIB 2.4.3 betas.

Version	Date	Binary AP Package for Windows	Full Package with Source Programs
0.2.0	2006/12/16	-	rtklib_0.2.0.zip (2.8MB)
1.0.0	2007/01/25	-	rtklib_1.0.0.zip (10.5MB)
1.1.0	2007/03/20	-	rtklib_1.1.0.zip (6.2MB)
2.1.0	2008/07/15	-	rtklib_2.1.0.zip (22.9MB)
2.2.0	2009/01/31	rtklib_2.2.0_bin.zip (10.7MB)	rtklib_2.2.0.zip (23.4MB)
2.2.1	2009/05/17	rtklib_2.2.1_bin.zip (15.3MB)	rtklib_2.2.1.zip (30.6MB)
2.2.2	2009/09/07	rtklib_2.2.2_bin.zip (21.4MB)	rtklib_2.2.2.zip (33.8MB)
2.3.0	2009/12/17	rtklib_2.3.0_bin.zip (26.7MB)	rtklib_2.3.0.zip (35.8MB)
2.4.0	2010/08/08	rtklib_2.4.0_bin.zip (17.4MB)	rtklib_2.4.0.zip (26.5MB)
2.4.1	2011/06/11	rtklib_2.4.1_bin.zip (16.5MB)	rtklib_2.4.1.zip (26.4MB)
2.4.2	2013/04/29	rtklib_2.4.2_bin.zip (30.4MB)	rtklib_2.4.2.zip (55.2MB)
2.4.3	2015/03/31	rtklib_2.4.3_bin.zip (???.MB)	rtklib_2.4.3.zip (???.MB)

Please refer the [support information](#) to get the latest patches.
RTKLIB 2.4.3 betas are available at GitHub ([RTKLIB - branch rtklib_2.4.3](#))

[Open Repository in GitHub](#), [Tutorial and Demonstration](#), [GNSS-SDRLIB: Open Source GNSS Software Defined Radio Library](#) (SDR working with RTKLIB), [Google play: RTKGPS+](#) (Android frontend of RTKLIB).

Overview

RTKLIB is an open source program package for standard and precise positioning with GNSS (global navigation satellite system). RTKLIB consists of a portable program library and several APs (application programs) utilizing the library. The features of RTKLIB are:

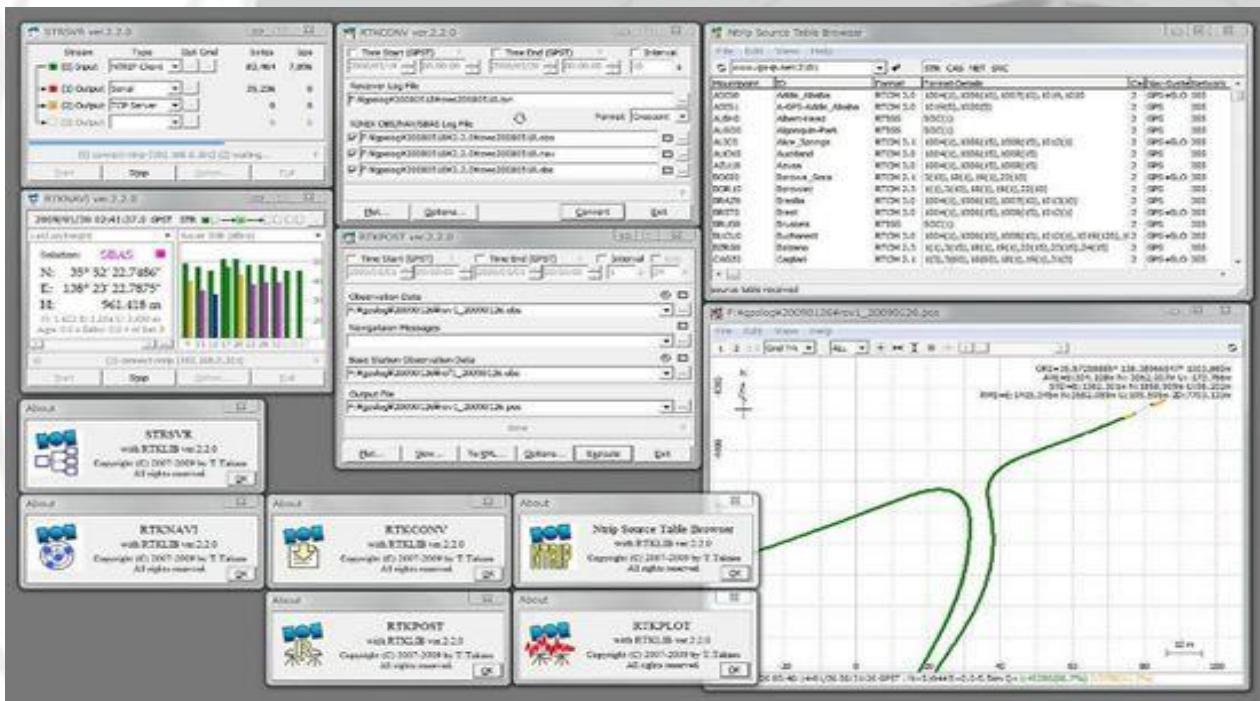
(1) It supports standard and precise positioning algorithms with: [GPS](#), [GLONASS](#), [Galileo](#), [QZSS](#), [BeiDou](#) and [SBAS](#)

(2) It supports various positioning modes with GNSS for both real-time and post-processing: [Single](#), [DGPS](#), [DGNSS](#), [Kinematic](#), [Static](#), [Moving-Baseline](#), [Fixed](#), [PPP-Kinematic](#), [PPP-](#)

2. Positionnement Précis

RTKLib

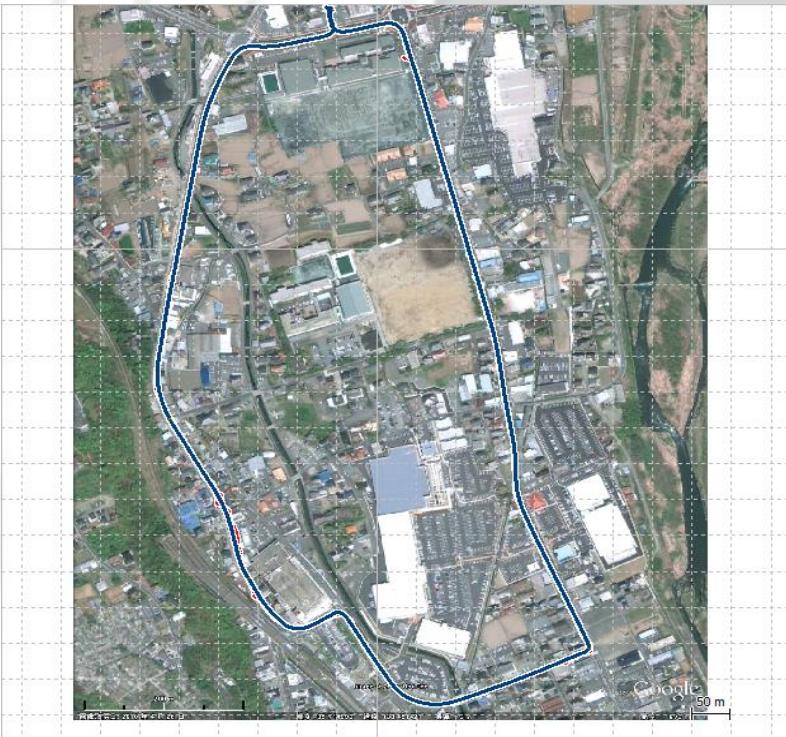
- RTKNAVI: Traitements données GNSS temps réel
- RTKPLOT: Tracé des solutions et des observations
- RTKPOST: Analyse de base des données post-traitées
- RTKCONV : Conversion RINEX des données du journal
- Etc.



2. Positionnement Précis

RTKLib

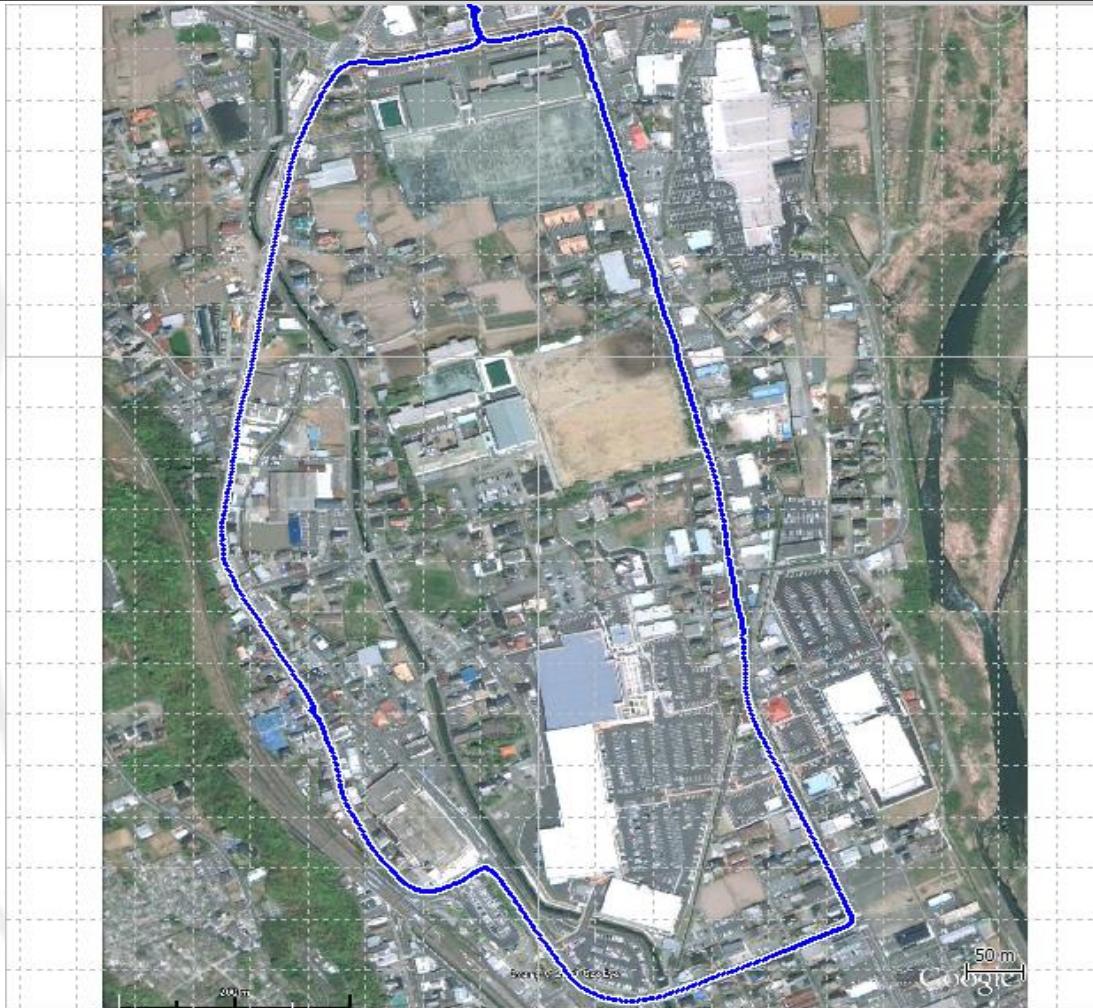
- Possibilité d'améliorer le rendu en y insérant une image map comme arrière plan (et de centrer celle-ci).
- Possibilité également d'utiliser un affichage directe sur Google Earth.



2. Positionnement Précis

RTKLib

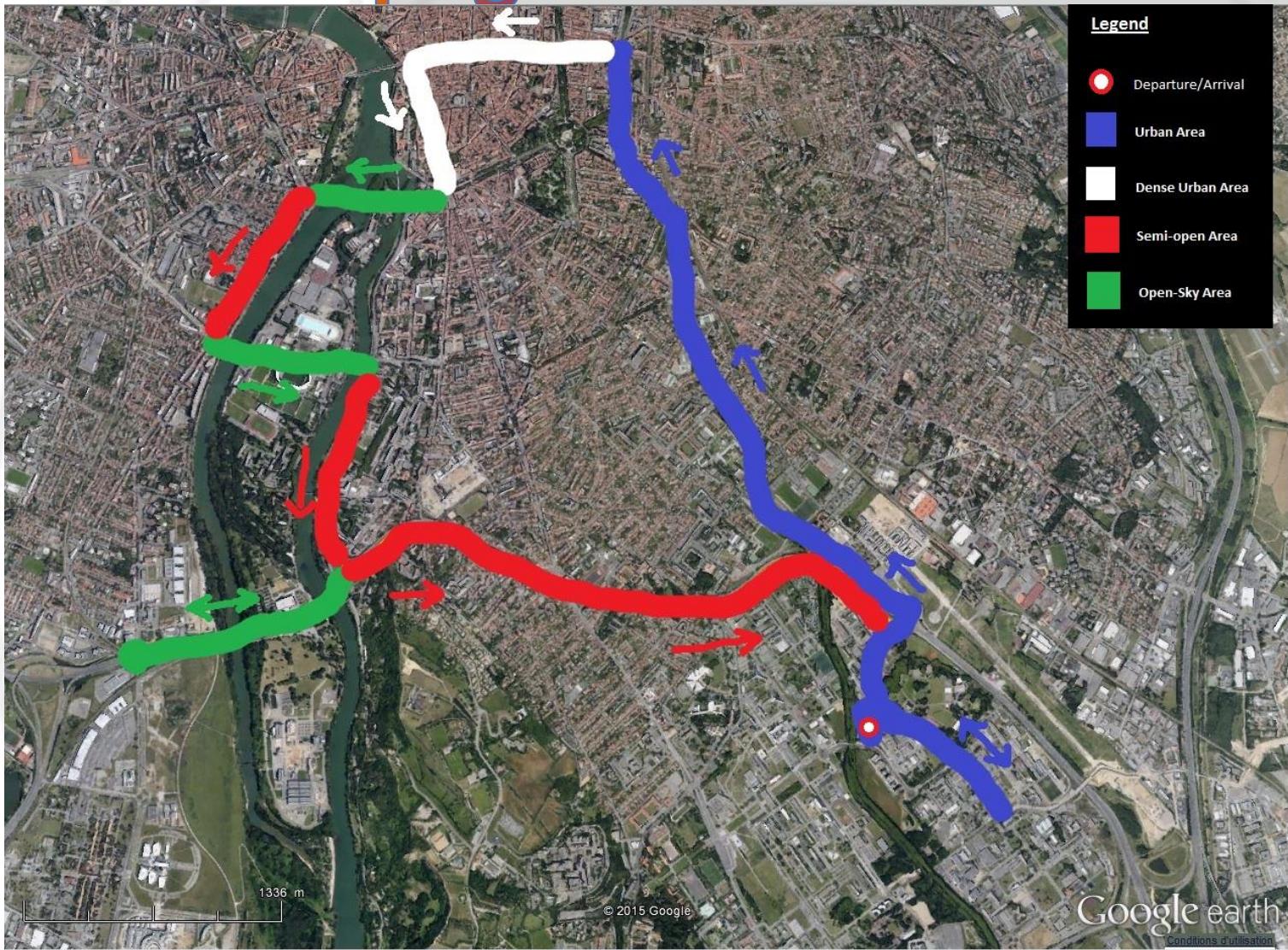
- Post-traitement avec RTK



3. Campagne de mesures

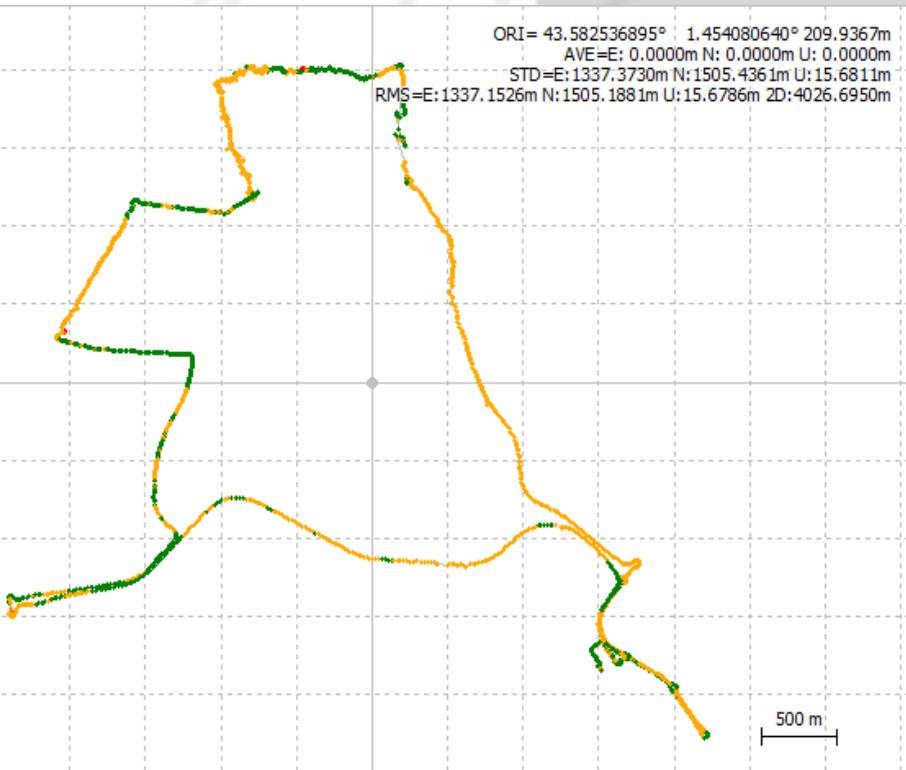


3. Positionnement Précis Campagne de mesures



3. Positionnement Précis

Résultats avec la station ISAE



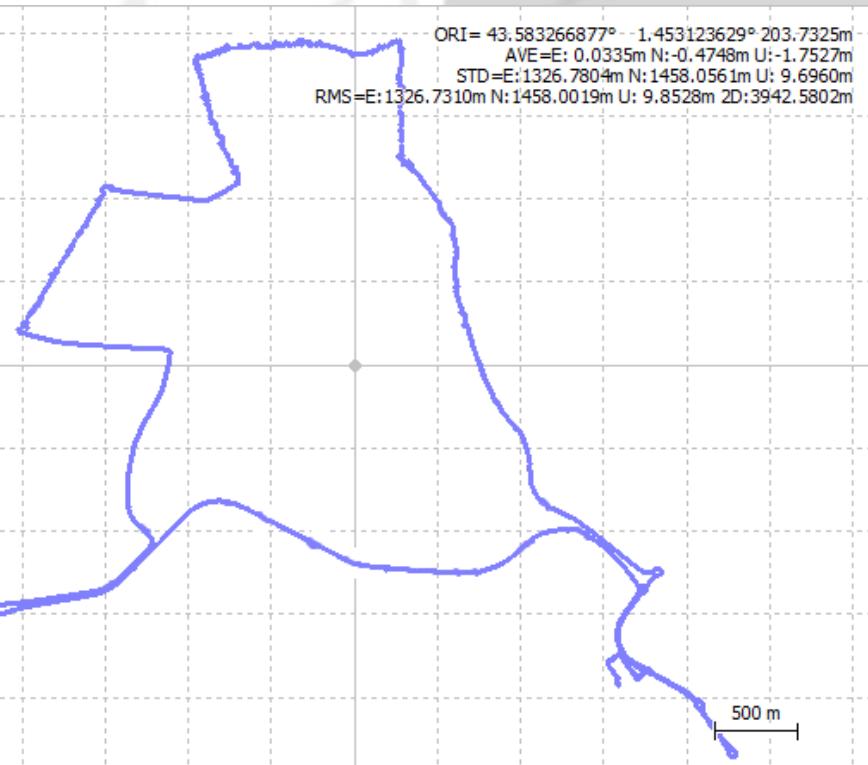
3. Positionnement Précis

Résultats avec la station IGN



3. Positionnement Précis

Station IGN+Détection sauts de cycle



Conclusions & Perspectives

- **Maîtrise du RTKLIB**
- Automatisation de la recherche des mesures des stations de référence du réseau IGN
- Amélioration de la détection des Sauts de Phase via mesures Doppler
- **Minimisation du cout d'une solution RTK:**
 - Récepteur Rover : récepteur U-Blox bas cout
 - Référence: station IGN ou IGS ou un autre récepteur U-Blox
 - Communication via internet au lieu d'un moyen onéreux

Conclusions & Perspectives

❑ Propositions

- Antenne Tallysman bonne qualité & bas cout
- Lien de communication: plusieurs options à étudier
- Un fort potentiel pour un travail de recherche R&D : intégrité de la solution RTK, effet des multitrajets et NLOS, validation de la résolution d'ambigüité, etc.
- Hybridation avec d'autres capteurs

Bilan

- Formation d'une petite équipe :
Stagiaire, M.S. et P.P.
- Développement d'un SW de
positionnement RTK en modifiant RTKLIB
- Matériel propre à TESA
- Positionnement au niveau national sur
la thématique du RTK et PPP

3. Valorisation

Déjà réalisé

- Participation au séminaire TéSA
- Présentation le 17/11/2015 pendant la conférence G2 à l'OMP
- Dépôt d'une fiche R&T CNES

En cours

- Proposition d'abstract à une conférence ION