



Commission GeoPos

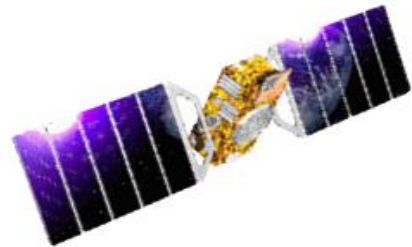
**Galileo Aujourd'hui et Demain,
Perspectives du Service de Positionnement
Précis**

Bernard BONHOURE

CNES

11 Octobre 2018

DEVELOPPEMENT DU SYSTEME GALILEO



Galileo System Testbed v2
2 initial test satellites

2005-2008

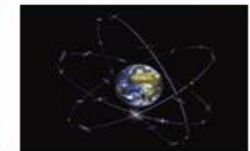


2011-2013

In-Orbit Validation
4 IOV satellites plus
ground segment



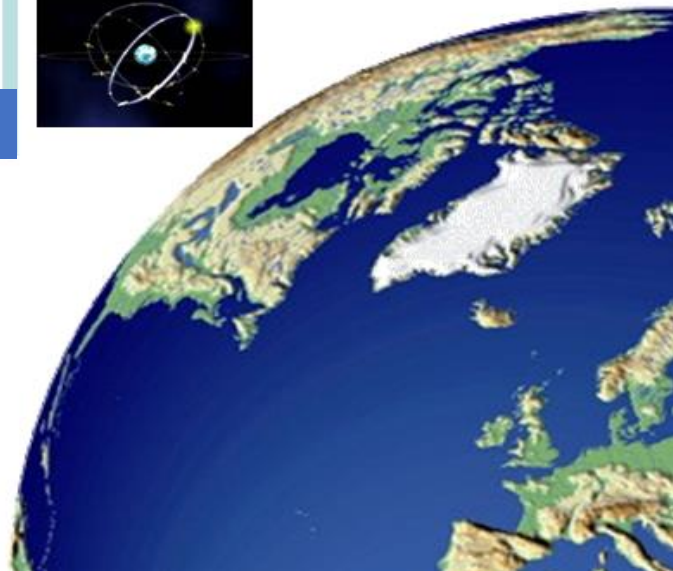
2016
~10-12 satellites



Initial Open Service, Search & Rescue
Service, Public Regulated Service




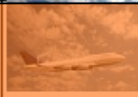



2020

All services
30 satellites



LES SERVICES GALILEO

Source Commission Européenne

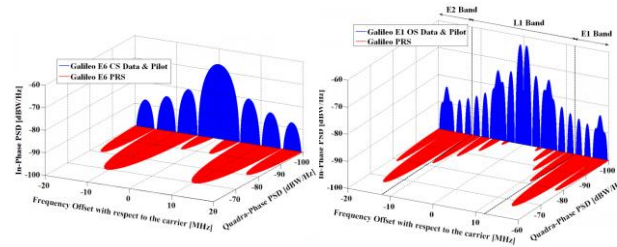
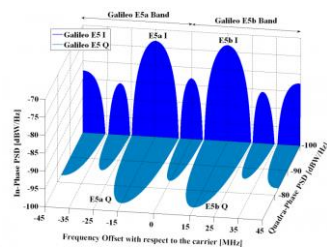
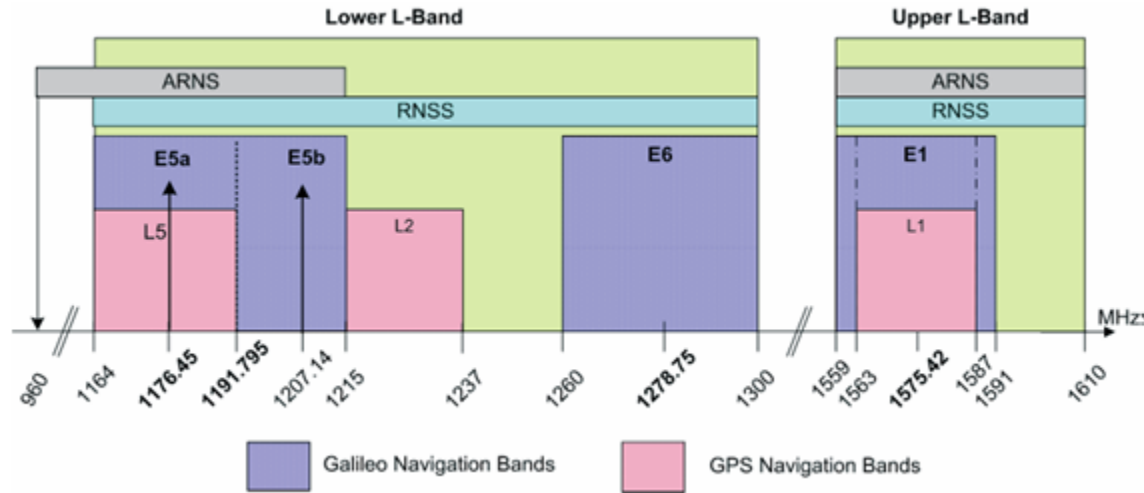
Service			Receiver	Benefits	Target user groups	Availability
Open Service	OS		Single frequency	<ul style="list-style-type: none"> Additional satellites for better multi-system coverage (e.g., deep urban) Coding and modulation advances for increased sensitivity and multi-path mitigation Pilot signal for fast acquisition 	<ul style="list-style-type: none"> Low end mass market (e.g., LBS, outdoor) 	Open
			Double frequency	<ul style="list-style-type: none"> As above + increased accuracy with 2nd frequency 	<ul style="list-style-type: none"> High end mass market (e.g., car navigation, maritime) 	Open
Commercial Service	CS		Double frequency	<ul style="list-style-type: none"> Increased accuracy using additional frequencies and signals Additional features under investigation (e.g., data rate capacity) 	<ul style="list-style-type: none"> Professional markets (e.g., surveying, precision agriculture) 	Commercial basis
Safety of Life Service	SoL		Single frequency (Level B)	<ul style="list-style-type: none"> As OS + Integrity and authentication of signal Continuity and service guaranty 	<ul style="list-style-type: none"> Aviation (en route) 	Certified receivers
			Double frequency (Level A and C)	<ul style="list-style-type: none"> As above at higher performance levels suitable for stringent dynamic conditions 	<ul style="list-style-type: none"> Aviation (A) Maritime (C) Road, Train (A) 	Certified receivers
Public Regulated Service	PRS		Dual frequency	<ul style="list-style-type: none"> As OS + High Continuity (in times of crisis) Improved Robustness (vs jamming, spoofing) 	<ul style="list-style-type: none"> Law enforcement Strategic infrastructure 	Regulated
Search and rescue	SAR		Single frequency	<ul style="list-style-type: none"> Almost instantaneous reception of emergency calls Exact positioning of emergency beacon 	<ul style="list-style-type: none"> Emergencies 	Certified & registered beacons

Service décidé comme gratuit pour PPP 20 cm

Service en « standby »
Service régional futur
GPS/Galileo bi-fréquence via EGNOS V3

CORRESPONDANCE SERVICES/SIGNAUX GALILEO

- Service Ouvert : E1(BC), E5a, E5b
- Service « Commercial » E6(BC) en complément des signaux Service Ouvert
- Service PRS **E1(A) et E6(A)**



Source ESA

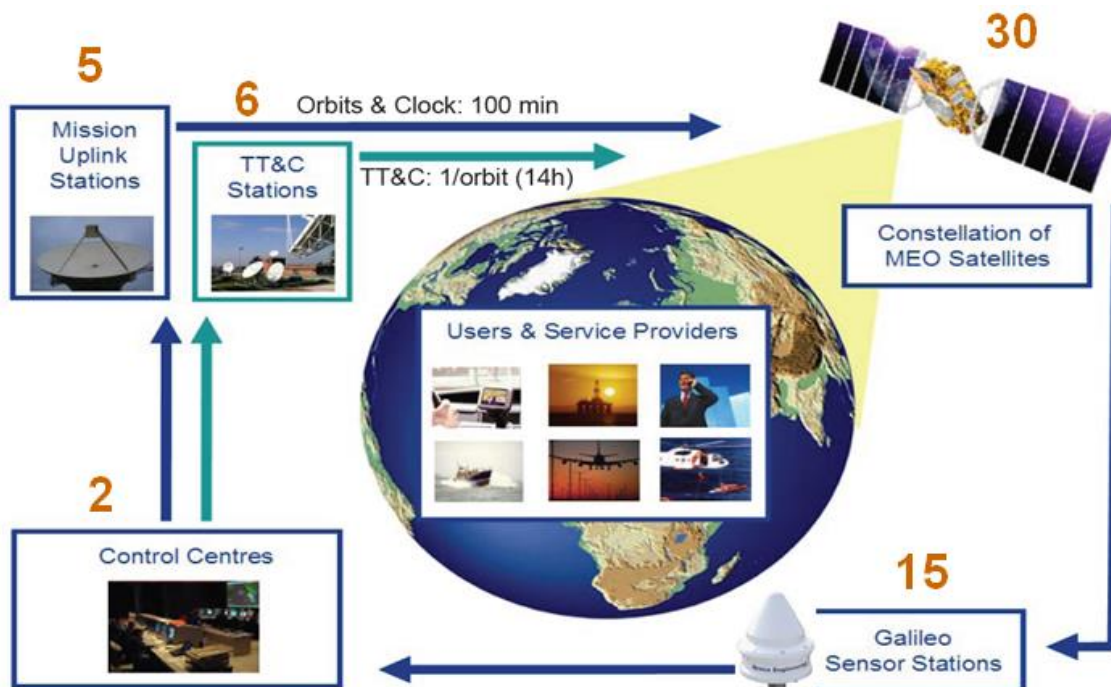
DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME GALILEO

Précisions requises horizontale & verticale en bi-fréquence à 95% de 4 & 8 m en environnement ouvert, disponibilité de service 99.5%

Constellation Walker 3 plans, 30 satellites dont 6 « spares » avec 2 satellites par plan

5 stations ULS pour rafraîchir les éphémérides satellites sous les 100 minutes (UpLink Stations)

15 récepteurs de référence (GSS) pour calcul orbito-synchro avec erreur distance induite ≤ 65 cm RMS



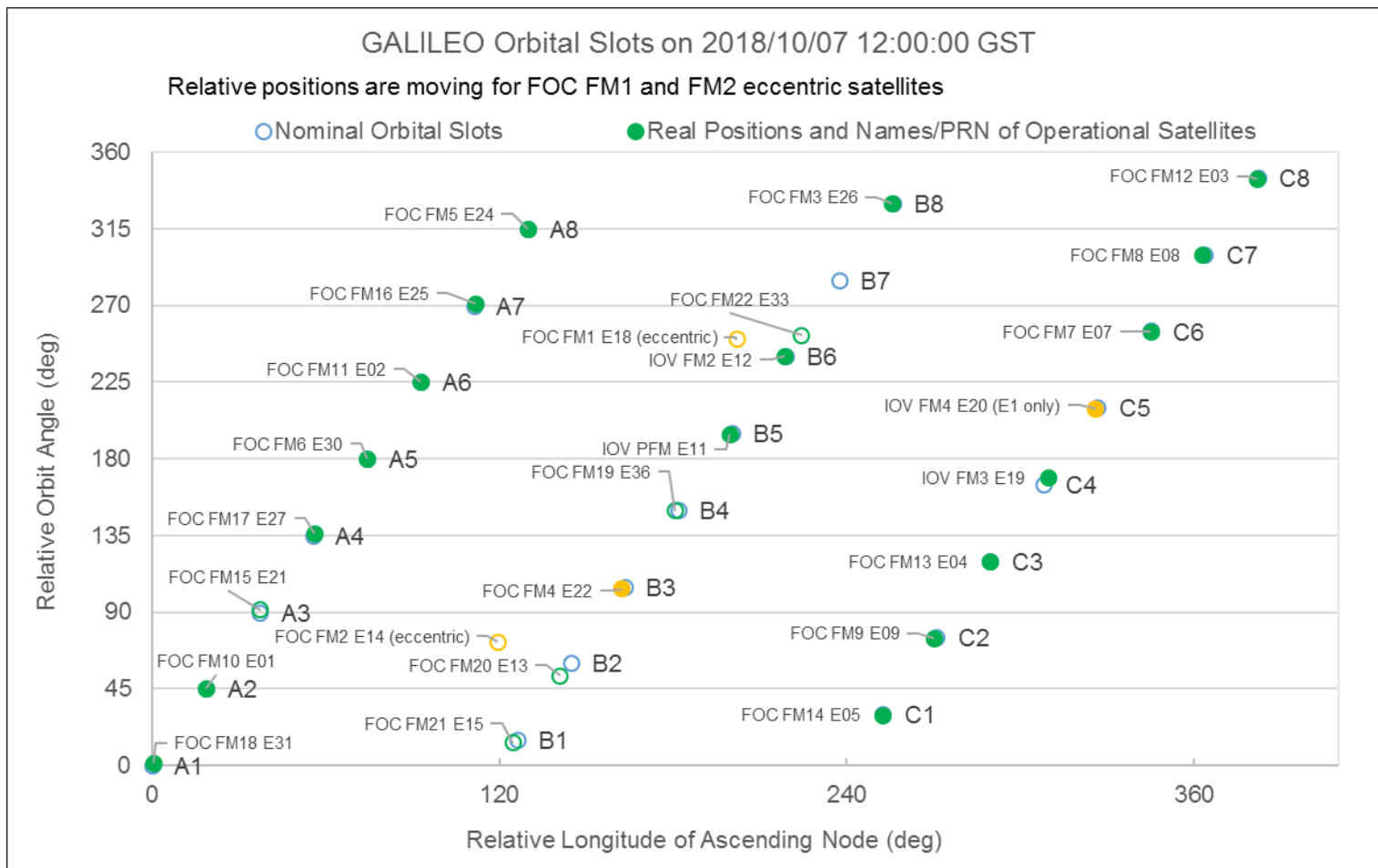
BILAN DE DEPLOIEMENT DU SYSTEME GALILEO

- 26 satellites GALILEO lancés
- 4 In Orbit Validation (IOV) en 2011 et 2012
- 22 Full Operation Capability (FOC) de août 2014 à juillet 2018
- IOV Flight Model 4 en émission mono-fréquence E1 suite à panne permanente, pas d'éphémérides diffusées, puissance réduite
- FOC FM1 & FM2 en orbite elliptique suite à panne lanceur Soyouz, éphémérides diffusées, utilisation « technique » possible mais discussions mise en opérationnel en cours
- Satellite FOC FM4 mis en « spare » le 8 décembre 2017

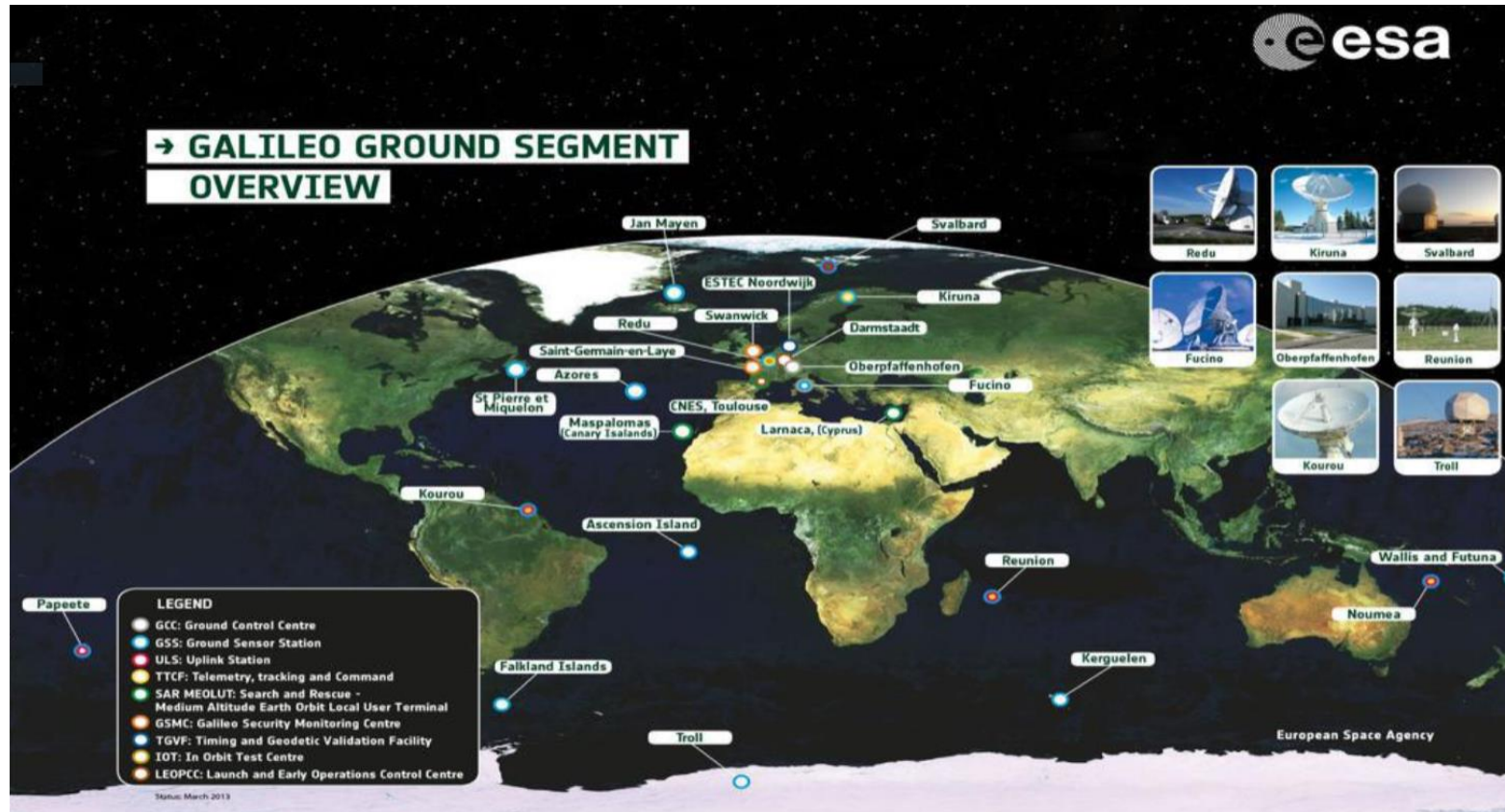
ETAT DU SYSTEME GALILEO AUJOURD'HUI ET A MOYEN TERME

- 17 satellites opérationnels
- 5 satellites en recette en vol
- 22 satellites opérationnels attendus début 2019
- Prochain tir Ariane 6-2 en tir double vers fin 2020
 - 12 satellites récurrents déjà commandés pour finaliser la constellation avec la mise en orbite de satellites « spare »

POSITIONS ORBITALES GALILEO (17 satellites opérationnels)



LE SEGMENT SOL GALILEO DEPLOYÉ : 2 centres de contrôle et mission, 6 stations de contrôle des satellites, 5 stations mission de montée des éphémérides, corrections PPP etc..., 15 stations de référence GSS,



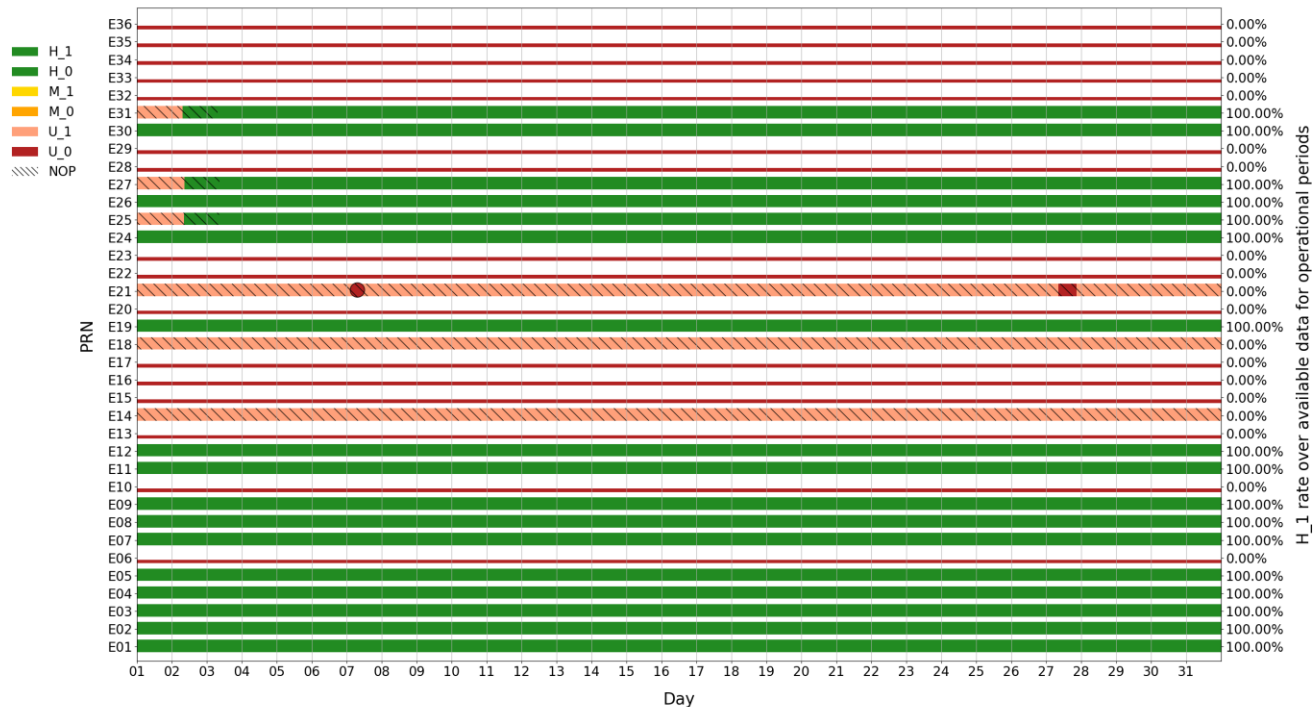
PERFORMANCES GALILEO

- Bon “User Range Error” i.e. part d’erreur des éphémérides dans l’erreur de pseudo-distance
 - 35 cm à 95% en « Global Average », RMS dans la gamme 15-20 cm << 65 cm requis
 - Meilleur URE GNSS à ce jour, à pondérer par les autres postes d’erreurs ionosphère et troposphère/multi-trajets-masking/bruit récepteur au niveau local selon l’environnement
- Erreur de pseudo-distance code non lissé bi-fréquence ~80 cm à 95% pour les meilleurs récepteurs et environnements
- Disponibilité moyenne d’un satellite déclaré opérationnel >98% depuis la déclaration des Initial Services le 15 décembre 2016
- Peu d’événements avec impact significatif utilisateur, pouvant dans tous les cas être corrigés par ailleurs (RAIM etc...)

DISPONIBILITES SATELLITES GALILEO AOÛT 2018 : 100% POUR LES 17 SATELLITES DECLARES OPERATIONNELS



SV health and availability monthly synthesis 2018 AUG
Constellation: Galileo; Source: FNAV/258; Input sampled data: SP3 from COM; Sampling rate: 5 minutes



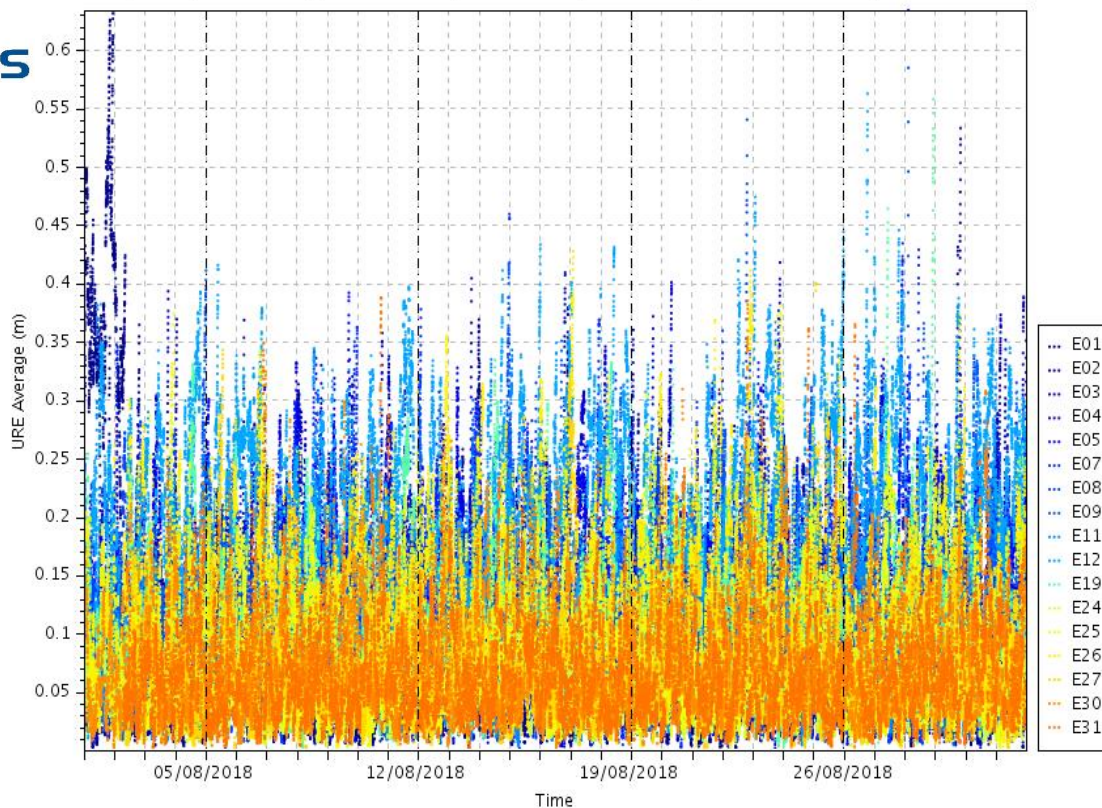
H = Healthy, M = Marginal, U = Unhealthy from nav records
0 = no data, 1 = with data from input sampled data-- NOP = not operational PRN
Produced by CNES NTMF with NTMF SHAMAN V1.3 on 2018/09/17 at 02:11:20

USER RANGE ERROR SATELLITES GALILEO AOÛT 2018, EPHEMERIDES FNAV E1/E5a

Amélioration notée avec un rafraîchissement rapide des éphémérides < 100 minutes

URE Global average with mean BRDC/SP3 clock adjustment per epoch, 20180801, All satellites

Step 120s, Min 0.001m, Mean 0.097m, RMS 0.117m, Std 0.065m, 95% value 0.227m, Max 0.635m



EXEMPLE DE PVT GALILEO SEUL A BRUXELLES

- 17 satellites GALILEO utilisables en mode “Healthy”
- Exemple positionnement récepteur à l’Observatoire de Bruxelles (BRUX)
- PVT sur le mois d’août 2018 en bi-fréquence E1/E5a avec éphémérides FNAV
- Calcul a posteriori à partir des mesures de pseudo-distance non lissées dans les fichiers RINEX à 30s
- Solution moindres carrés non pondérée, élévation minimale satellites standard de 5 deg

EXEMPLE DE PVT GALILEO SEUL A BRUXELLES (périodes PDOP<6)

Excellents résultats :

Période Août 2018

Positions filtrées avec PDOP<6

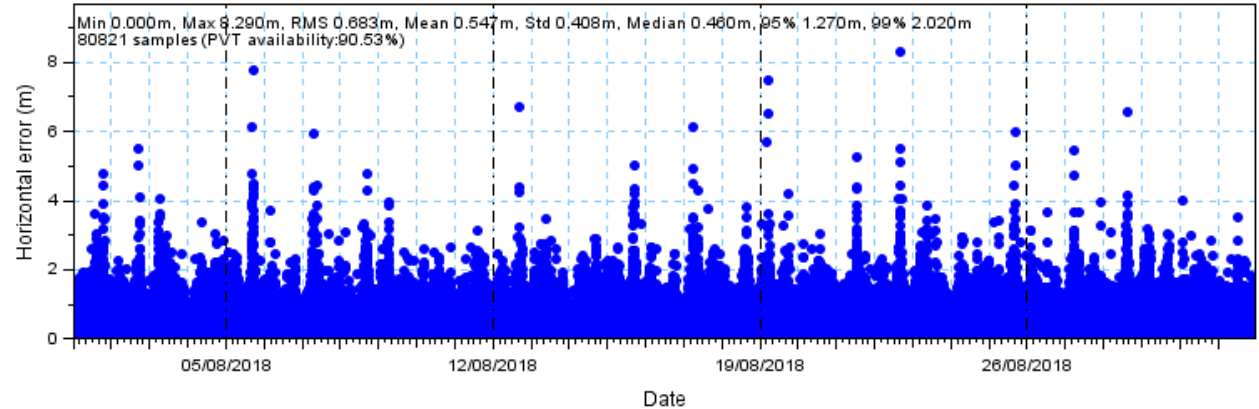
Précision horizontale à 95% 1.27 m

Précision verticale à 95% 1.83 m

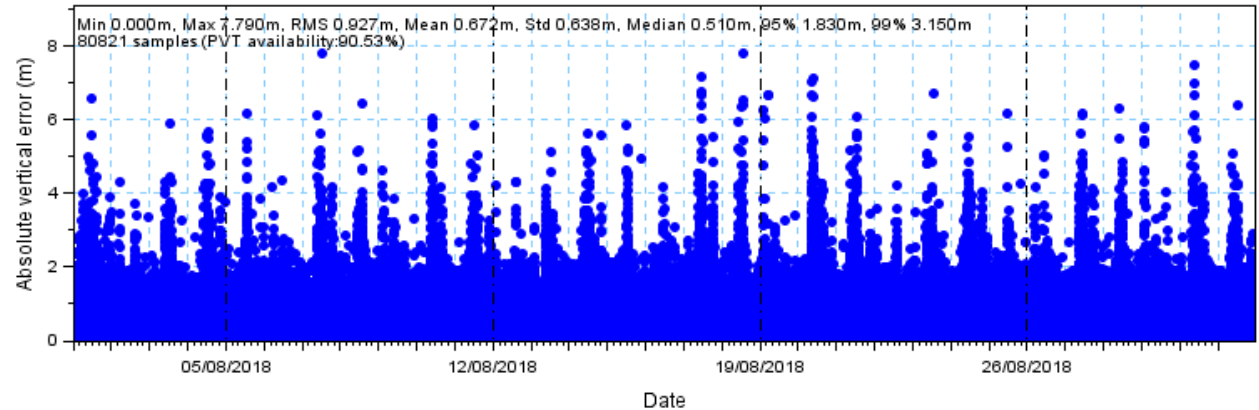
Disponibilité de la solution en bonne géométrie (PDOP<6) 90.5%

Projection précision future
horizontale à 1 m à 95% avec 24
satellites

BRUX - Horizontal position error - 2018AUG - Sampling 30s - GAL258_E1E5a_C1C-C5Q



BRUX - Absolute vertical position error - 2018AUG - Sampling 30s - GAL258_E1E5a_C1C-C5Q



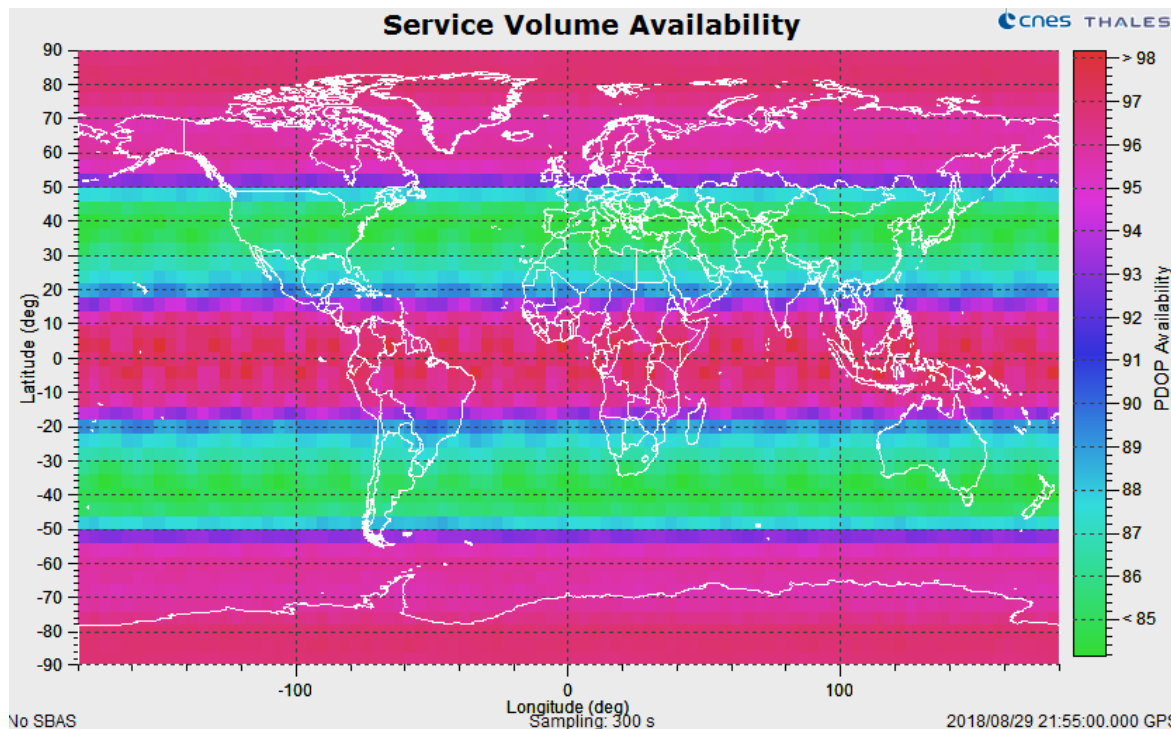
DISPONIBILITE PDOP<6 « SERVICE VOLUME » AVEC 17 SATELLITES OPERATIONNELS (HORS PANNES SATELLITES)

Calcul sur un pseudo-cycle GALILEO de 9.97 jours

Elévation minimale des satellites standard de 5 degrés, soit en environnement ouvert

Disponibilité théorique > 84%

Disponibilité meilleure aux pôles et à l'équateur



Pourcentage de temps où PDOP<6 en fonction de la position récepteur

GALILEO POUR LE POSITIONNEMENT PRECIS

- Signaux GALILEO compatibles avec RTK et PPP
- Flux CNES CLK93 des corrections RTCM MSM disponible pour du PPP, dans le cadre du service Real-Time IGS
 - 17 satellites GALILEO opérationnels corrigés
- Levée des ambiguïtés réalisée récemment en temps différé et en temps-réel en tri-fréquence avec E6
- Service corrections PPP sur fréquence E6 GALILEO du service dit anciennement « Commercial »

LES SERVICES NOVATEURS GALILEO DONT LE POSITIONNEMENT PRECIS

Décision implémentation de la CE des services haute précision et authentification :

- « High Accuracy (HAS) » : diffusion dans signal E6B
- « Open Service Navigation Message Authentication (OSNMA) » : authentification des données de navigation, diffusion dans signal E1B
- « Commercial Authentication (CAS) » : authentification par code crypté C6C (pilote), accès contrôlé a priori payant

Source Galileo Advanced Services, Commission Européenne, Toulouse Space Show, Juin 2018

	CS high accuracy	CS authentication	
		Specifications common to the OS and the CS: Authentication of geolocation information	Specifications specific to the CS: Authentication through encrypted codes
General specifications	Provision of high-accuracy data to obtain positioning errors of less than one decimetre in nominal utilisation conditions	Provision of authentication data for OS geolocation information contained in the signals	Authentication of signals through access to encrypted codes contained in the signals
Components of the signals used	E6, component E6-B (data) for the supply of high-accuracy data	E1, component E1-B for the authentication data for OS geolocation information	E6, component E6-B for the access data to the encrypted codes and component E6-C (pilot)
User segment specifications	High-accuracy positioning obtained from the precise positioning algorithms integrated into the receiver and using data transmitted in the signals	Authenticity of the data verified by an asymmetrical cryptography protocol and transmitted in the signals and a public cryptographic key	Authenticity of the signals verified by decrypting the signal encrypted using a private cryptographic key
Geographical coverage	Global	Global	Global

LE SERVICE DE POSITIONNEMENT PRECIS GALILEO

Source Galileo Advanced Services, Commission Européenne,
Toulouse Space Show, Juin 2018

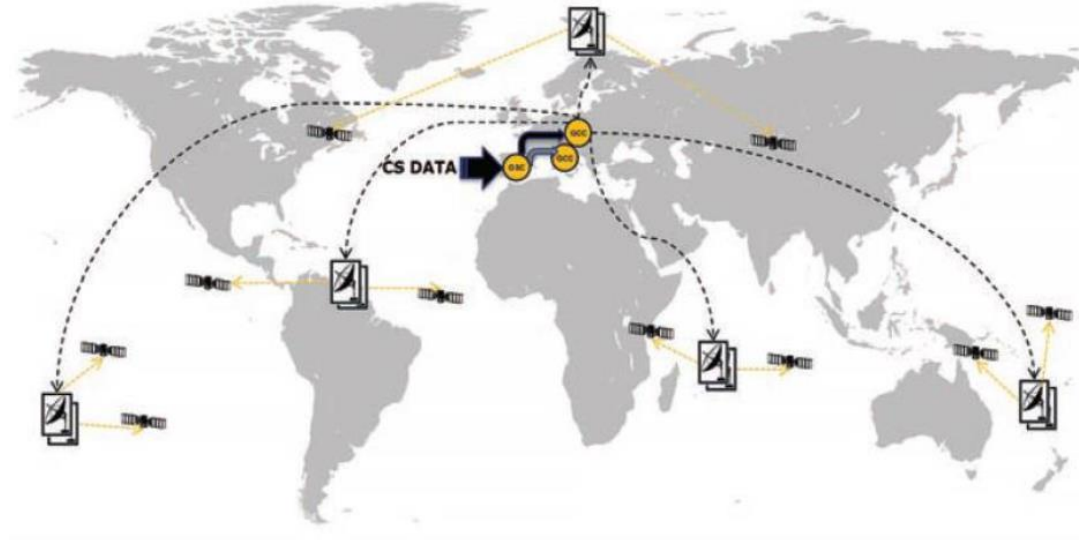
- **Service voté comme gratuit au niveau Européen**
- Couverture globale, niveau de précision 20 cm, en vision des futures applications véhicules autonomes, drones etc...
- Eventuellement une amélioration régionale avec corrections ionosphériques
- Documentation de spécification de mission et service, et interface utilisateur "Interface Control Document" ICD en cours de consolidation
- ICD basé sur un standard ouvert

	Signal and Data features
Frequency	1278.75 MHz
Signal	E6B
Min. Power	-158 dBW
Modulation	BPSK(5)
Chip Rate	5.115 Mcps
Code Length	1 ms
Symbol Rate	1000 sps
Data Rate	492 bps
HA Data Rate	448 bps
Data Coding	FEC, as per Galileo OS SIS ICD, + interleaving 123 x 8
Spreading Code Encryption	No
Data Format	TBD, but based on an open ICD.
Data (TBC)	Orbit and clock corrections, code and phase biases, SQM, flags, ionospheric information.

INFRASTRUCTURE POUR LE POSITIONNEMENT PRECIS GALILEO

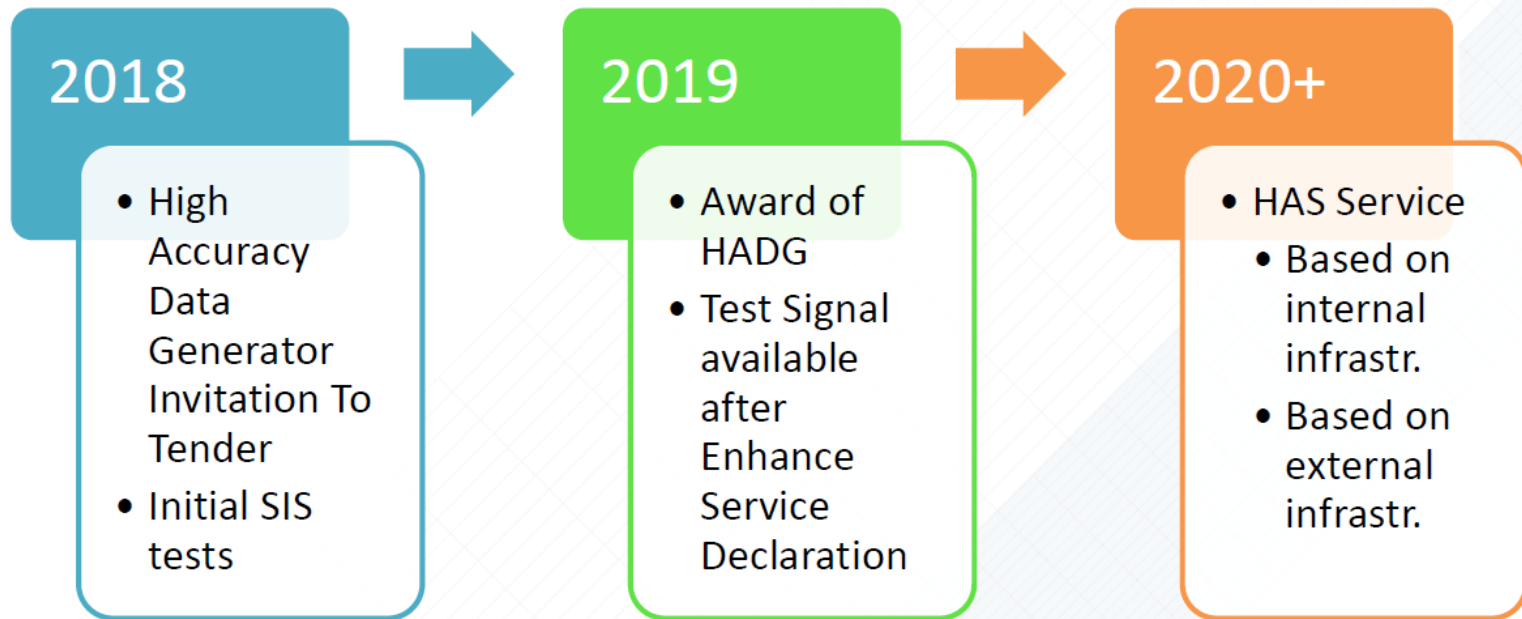
- 5 stations déjà en place avec couverture quasi-globale avec 4 antennes sur chaque site (20 satellites adressables)
- Latence des corrections de quelques secondes visée pour le FOC en 2020
- Infrastructure sol permettant une connexion externe au niveau du Centre de Service Galileo
- Peu d'investissement dans l'infrastructure prévu

Source Galileo Advanced Services, Commission Européenne, Toulouse Space Show, Juin 2018



ROADMAP POUR LE POSITIONNEMENT PRECIS GALILEO

- Première transmission prévue en 2019, service prévu pour le FOC vers 2020



Source Galileo Advanced Services, Commission Européenne, Toulouse Space Show, Juin 2018

PERSPECTIVES GALILEO/GNSS (1/2)

- Service « Full Operational Capability » avec 24 satellites annoncé pour 2020
- Très bonne disponibilité des services déjà attendue avec 22 satellites début 2019
 - Proche de 100% en milieu ouvert
- Utilisation des satellites GALILEO en combinaison avec les autres satellites GNSS GPS, GLONASS, BEIDOU...utilisation sur les récepteurs récents

PERSPECTIVES GALILEO/GNSS (2/2)

- Récepteurs bi-fréquence L1-L5 GPS & GALILEO en cours de sortie en mass-market (11 satellites GPS IIF opérationnels, 1^{er} tir GPS III en décembre)
 - Multi-trajets et bruit récepteur largement diminués avec GALILEO E5a & GPS L5 avec des signaux large bande
 - En vision des applications de « demain » de positionnement précis RTK/PPP
- Potentiel intéressant à consolider en tri-fréquence GALILEO avec E6 avec la levée immédiate des ambiguïtés de phase
 - Quelques centimètres de précision en PPP global en environnement ouvert à la clé
 - Potentiel de fortement diminuer les effets multi-trajets avec la phase, amélioration de la solution en milieu contraint avec hybridation notamment inertielle, double antenne pour le cap, odomètre pour le maintien de la solution en statique et aide vitesse etc...comme déjà fait avec le RTK
- GALILEO pionnier pour un Service de positionnement précis gratuit et mondial ~20 cm au début des années 2020



PPP à convergence instantanée

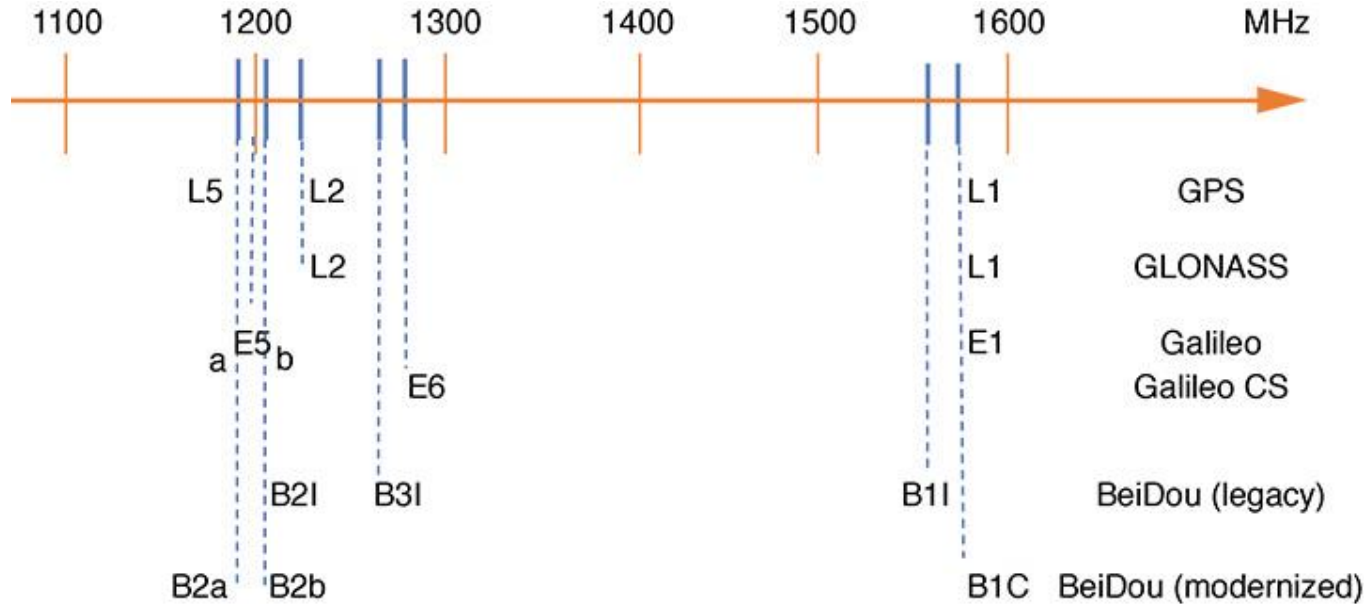
Utilisation du signal E6 Galileo

Extrait de l'article de GPS World Juillet 2018

“Innovation: Instantaneous centimeter-level multi-frequency precise point positioning”

Denis Laurichesse
CNES

Plan de fréquence GNSS modernisé



- Rappel: PPP-AR traditionnel (GPS L1/L2, widelane N2-N1, puis narrowlane N1)
 - 30 minutes de convergence

Ambiguïtés widelanes Galiléo

- Les ambiguïtés widelanes peuvent être résolues en cascade instantanément
- La première étape consiste à fixer l'extra-widelane E5a-E5b
- La deuxième étape consiste à fixer une widelane contenant E6
- On peut ensuite fixer plus facilement la widelane contenant E5a
- Lorsque toutes les widelanes sont fixées, on se retrouve avec une mesure iono-free de bruit 19.3 cm en range
- Le point obtenu est suffisamment précis pour fixer ensuite N1 avec l'aide des mesures GPS

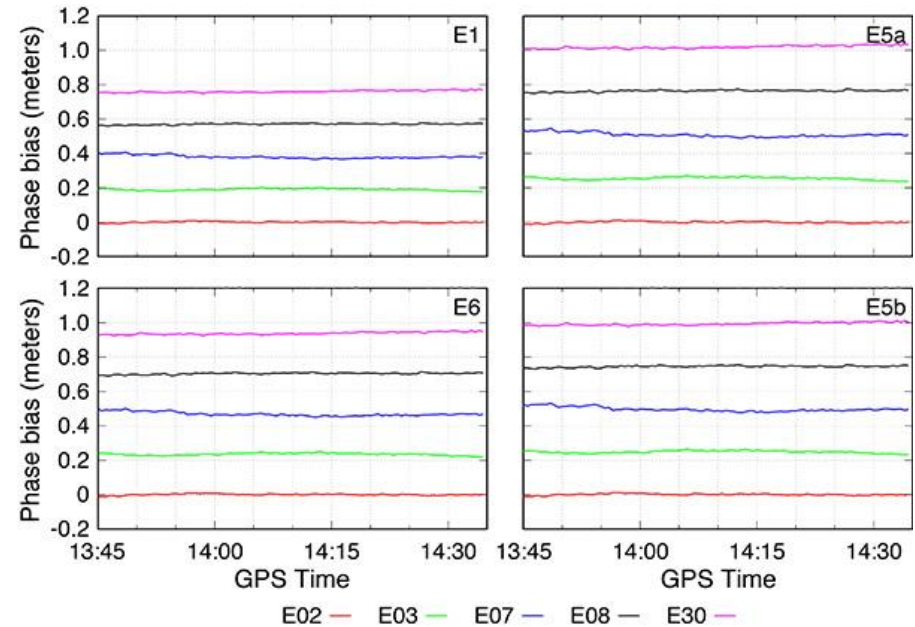
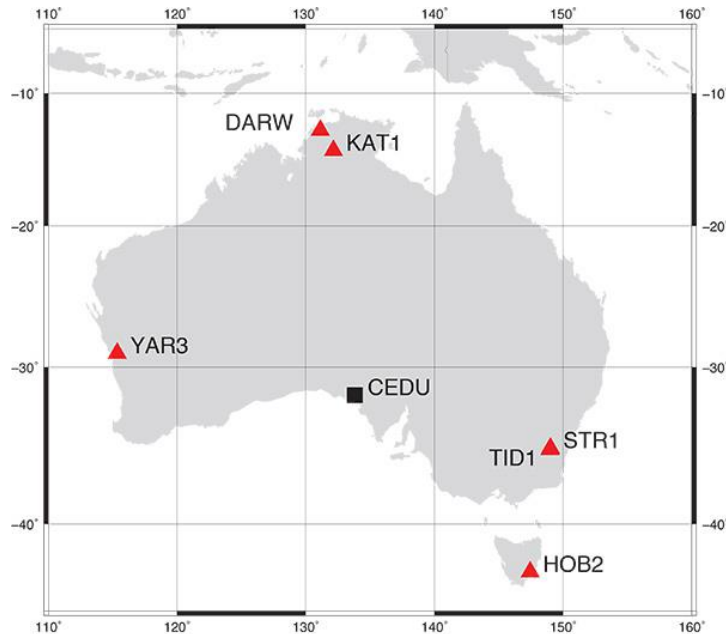
Parameters	Wavelength (meters)	Number of fixed ambiguities			
		0	1	2	3
Ambiguïty (E5a-E5b) (cycles)	9.77	0.034	0.000	0.000	0.000
Ambiguïty (E5b-E6) (cycles)	4.19	0.060	0.041	0.000	0.000
Ambiguïty (E1-E5a) (cycles)	0.75	0.286	0.235	0.183	0.000
Range (meters)	N/A	0.776	0.720	0.715	0.193

Precision of parameters in the Galileo four-frequency (E1, E5a, E5b, E6) single-satellite case

Identification des biais de phase (réseau Australie)

On suppose les quantités 'standard' déjà connues et disponibles à l'IGS (Orbites, horloges, biais de code)

- Biais identifiés sur 5 stations en Australie
- Le rover CEDU est au centre du réseau
- Les biais de phase sont très stables

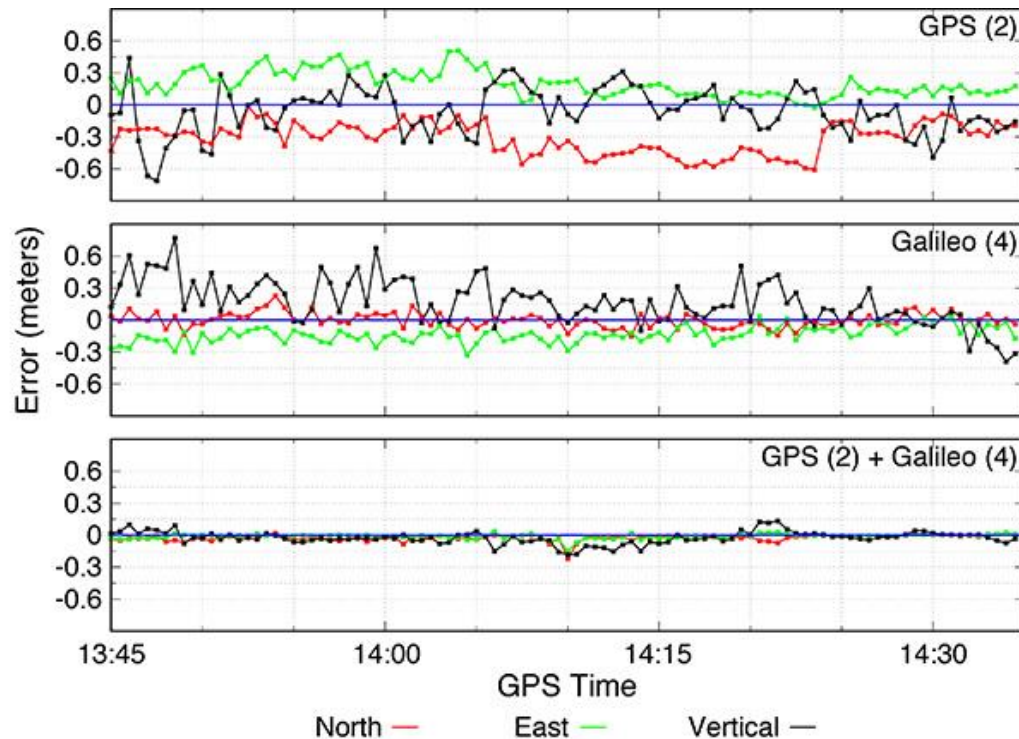


PPP instantané

- On peut résoudre instantanément
 - Toutes les widelanes Galileo
 - Une solution partielle des narrowlanes GPS (grâce à la méthode de résolution BIE, best Integer Equivariant)

Solution (number of frequencies)	North	East	Vertical
GPS (2)	0.343	0.231	0.226
Galileo (4)	0.067	0.155	0.271
GPS (2) + Galileo (4)	0.037	0.025	0.063

Precision (m)



En combinant GPS et Galileo, le positionnement est centimétrique