Positionnement par GNSS : du métrique au centimétrique

François Fund

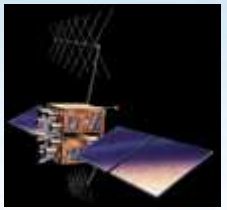
Bureau de la Géodésie et du Nivellement
DITTT

31/07/2013

GNSS : Signal In Space ➔ Status (06/2013)

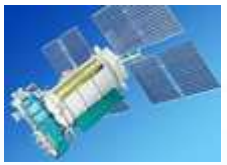
GPS : 31 satellites + 1 lancé le 15/05/2013 non opérationnel

Bloc	IIA	IIR	IIR-M	IIF
#	9	12	7	3
Bi-fréquences	X	X	X	X
L2C				
Tri-fréquences				



Plus de 100 satellites
30 satellites visibles simultanément

t1 non opérationnel



Galiléo : 4 satellites et premiers positionnements réalisés !
A terme : 30 satellites

Beidou-2: 15 satellites

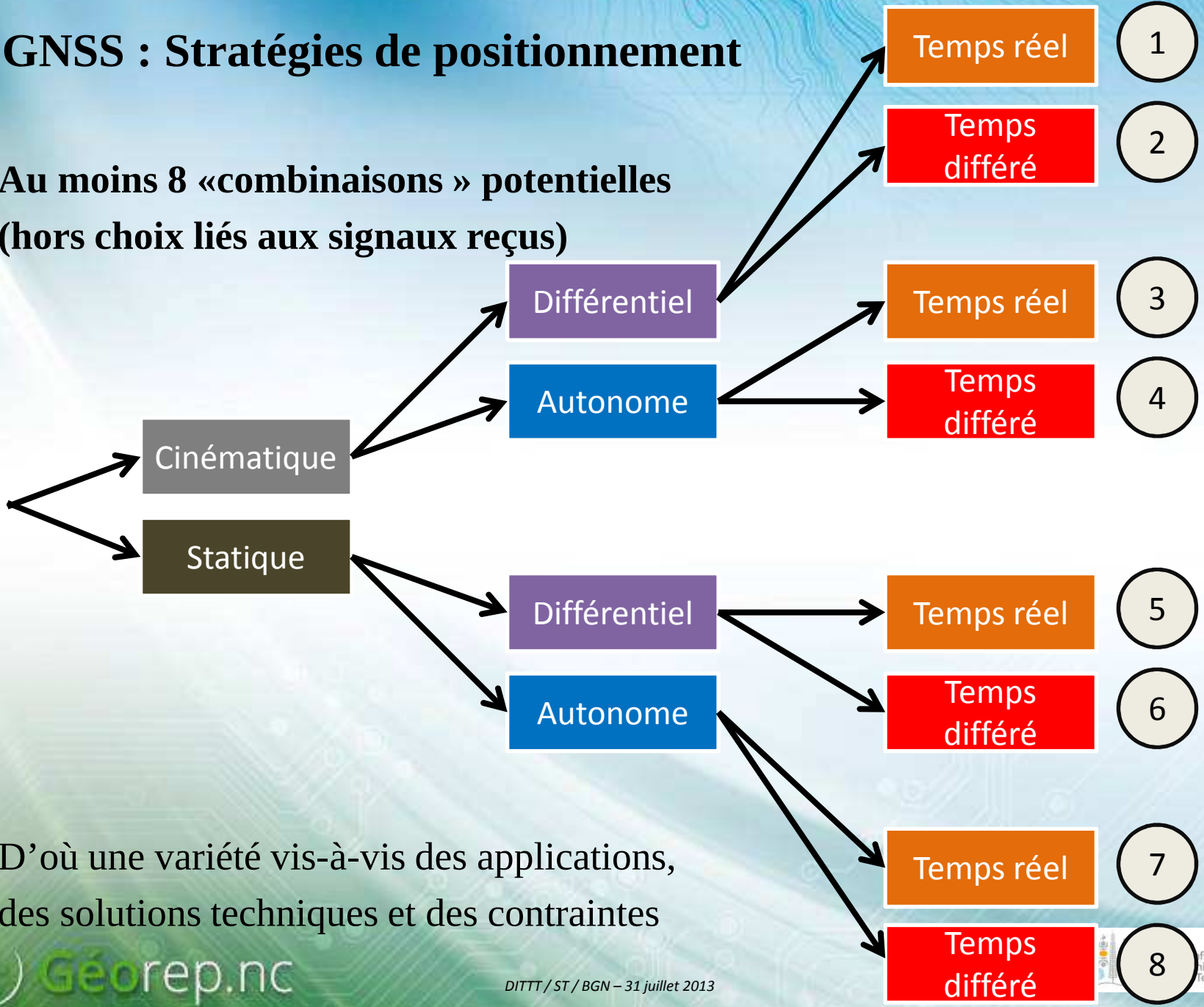
Orbite	GEO	IGSO	MEO
#	5	5	4
# Prévus	5	5	27

Georep.nc

DITTT
Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres

GNSS : Stratégies de positionnement

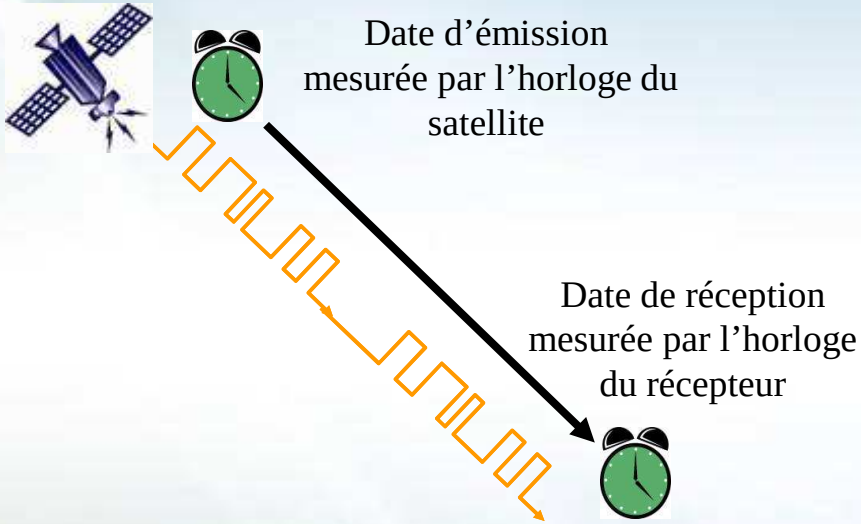
Au moins 8 «combinaisons » potentielles
(hors choix liés aux signaux reçus)



D'où une variété vis-à-vis des applications,
des solutions techniques et des contraintes

Positionnement GNSS autonome (ou solution de navigation)

Solution Low-Cost : téléphonie, automobile…; **Précision métrique**



Signal émis : code pseudo-aléatoire

Date d'émission fournie par le satellite, en temps satellite.

Date de réception calculée par le récepteur, en temps récepteur.

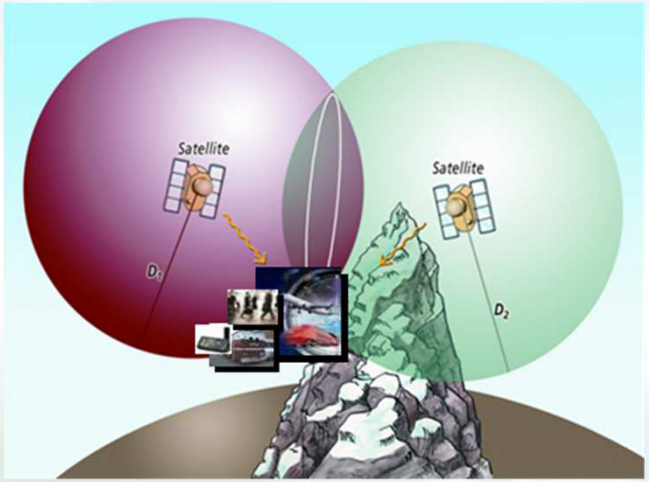
Date de réception – Date d'émission = Temps de propagation biaisé

Temps de propagation × Vitesse lumière = ||Pseudo-distance satellite – récepteur||

Positionnement GNSS autonome (ou solution de navigation)

Positions des satellites : **connues**
Dérives des horloges des satellites/temps GPS : **connues**

Dérive de l'horloge de récepteur : **inconnue**



Multilatération spatiale

1 mesure ⇨ solution : 1 sphère

2 mesures ⇨ solution : 1 cercle

3 mesures ⇨ solution : 2 points dont 1 aberrant

Multilatération possible si mesures synchrones !!

Nécessité d'estimer la dérive de l'horloge du récepteur/temps GPS

Au moins 4 satellites nécessaires

Amélioration de la qualité du positionnement GNSS

Principes : réduire les erreurs ou utiliser leur modélisation

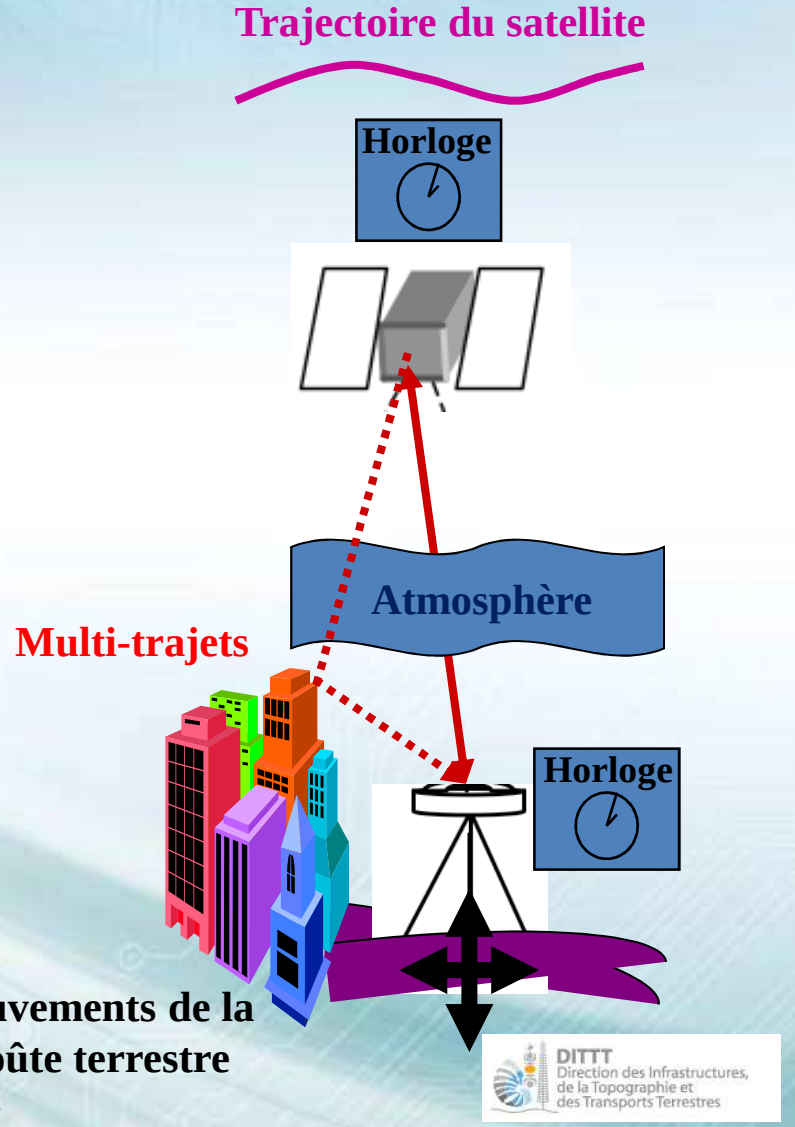
- Erreurs d'orbite
- Erreurs d'horloge des satellites
- Biais électroniques au niveau du satellite
- Erreur d'antenne du satellite

- Retards ionosphériques
- Retards troposphérique

- Réflexions multiples (multitrajets)

- Biais électronique au niveau du récepteur
- Erreurs d'antenne du récepteur

- Mouvements de la croûte terrestre
- …

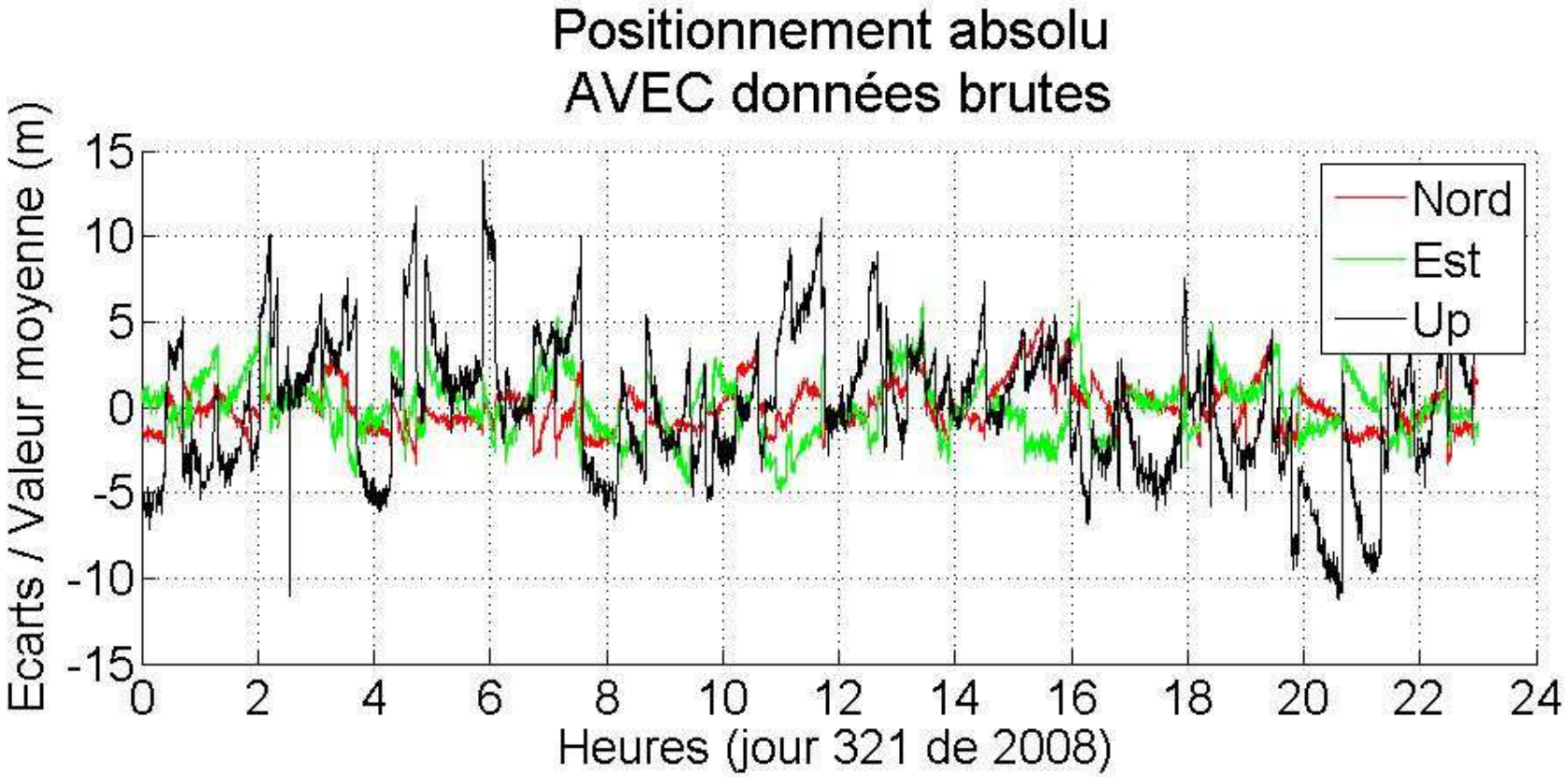


Géorep.nc

DITTT
Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres

Positionnement GNSS autonome (ou solution de navigation)

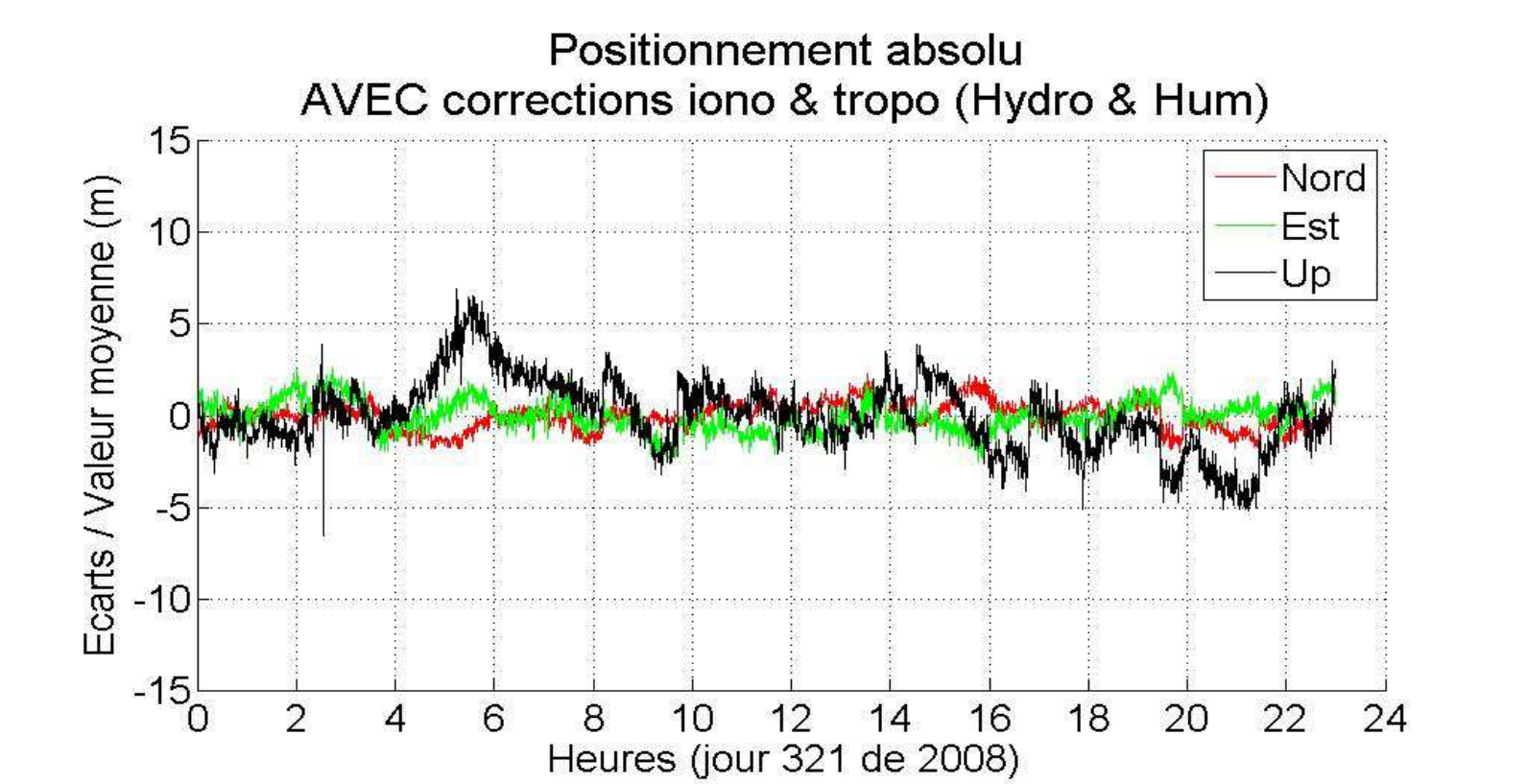
Exemple: station permanente sur 24h → Une position toutes les 30s



σ_{Nord}~1.4m ; σ_{Est}~1.8m ; σ_{Up}~4.0m

Positionnement GNSS autonome (ou solution de navigation)

Impact des corrections ionosphériques et troposphériques (fichiers de navigation)



σ_{Nord}~0.7m ; σ_{Est}~0.9m ; σ_{Up}~2.0m ➔ Réduction de 50% !!

Amélioration de la qualité du positionnement GNSS

1) Utilisation des mesures de code de type « P » (en navigation : C/A)

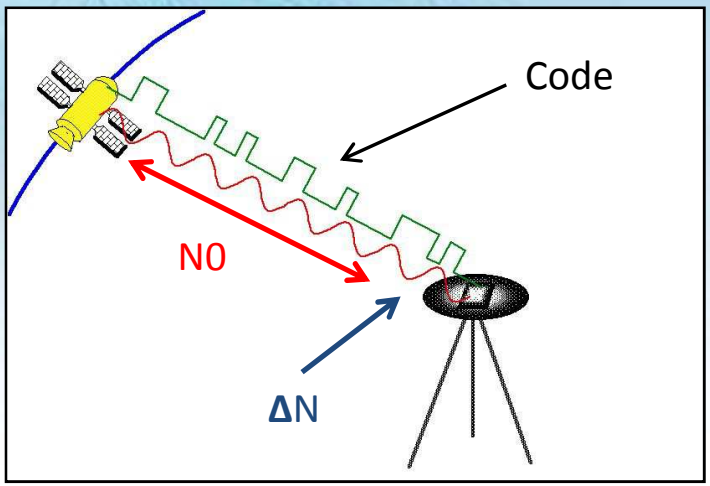
2) Utilisation des mesures de phase porteuse

Signaux GPS	Fréquence	Longueur d'onde λ	Bruit (~<1% λ)
Code C/A	1.023 MHz	300 m	~3 m
Code P1, P2(Y)	10.23 MHz	30 m	~30 cm
Phase L1, L2	1.6 GHz, 1.2 GHz	19 cm, 24 cm	< 3 mm

La mesure de phase permet d'accéder à des mesures de «distance» millimétriques (100 fois plus précises que la mesure de code C/A).

Amélioration de la qualité du positionnement GNSS

Mesure de phase : mesure du nombre rationnel de cycles effectués par la porteuse (L1 ou L2) du signal entre son émission et sa réception.



Mais, le récepteur ne peut mesurer que la partie décimale ΔN (fonction des variations de la distance satellite-récepteur).

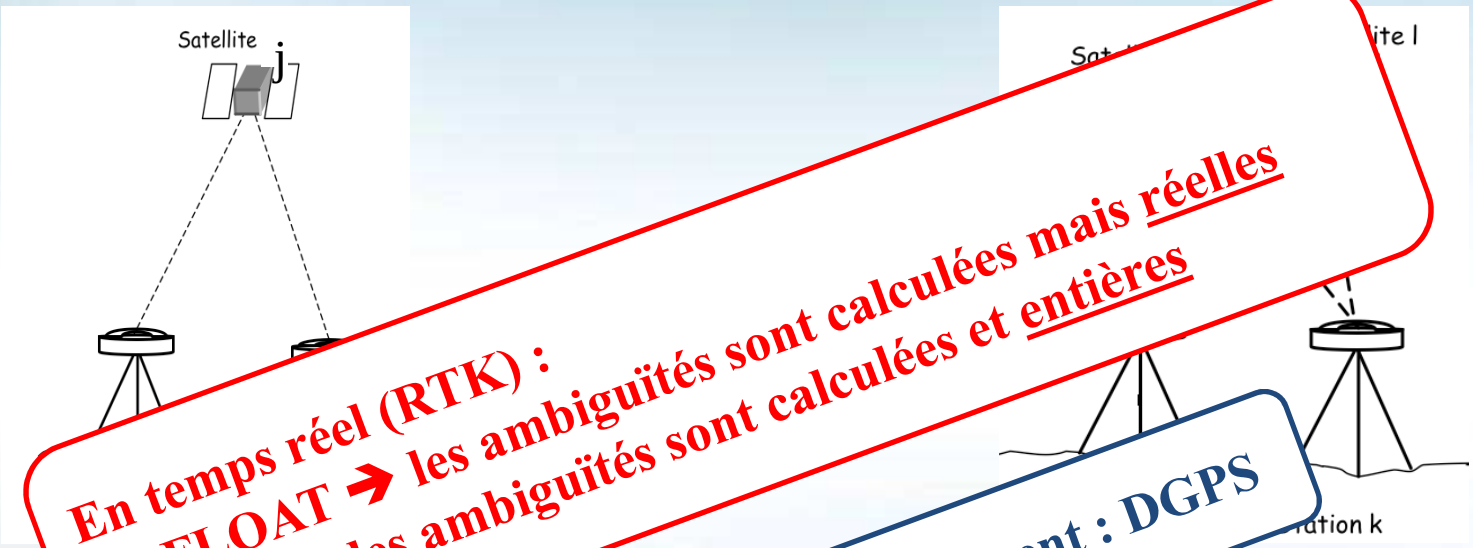
La partie entière N0 de cycles est appelée l'ambiguïté entière et doit être calculée pour chaque satellite en visibilité.

Elles sont constantes si aucune interruption.

La longueur d'onde (~20 cm) impose une précision subdécimétrique des erreurs

Amélioration de la qualité du positionnement GNSS

3) Utilisation de mesures reçues simultanément par plusieurs récepteurs et formation de différences ➡ **Positionnement GNSS différentiel/relatif**



En temps réel (RTK) :
- **FLOAT ➔ les ambiguïtés sont calculées mais réelles**
- **FIX ➔ les ambiguïtés sont calculées et entières**

Si mesures de code uniquement : DGPS

- Réduction des erreurs
- Réduction des erreurs d agation

Réduction des erreurs récepteurs
Réduction des erreurs de propagation

La réduction des erreurs « isole » l'ambiguïté de phase

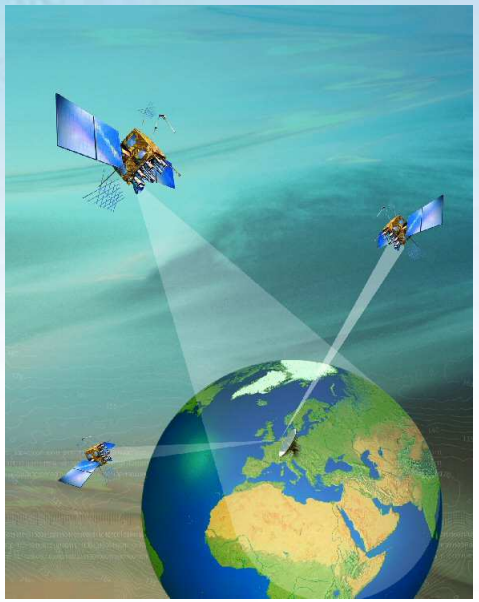
Amélioration de la qualité du positionnement GNSS

1) Utilisation des mesures de code de type « P » (en navigation : C/A)
2) Utilisation des mesures de phase porteuse
3) Utilisation de mesures reçues simultanément par plusieurs récepteurs
4) Utilisation de combinaisons bi-fréquences

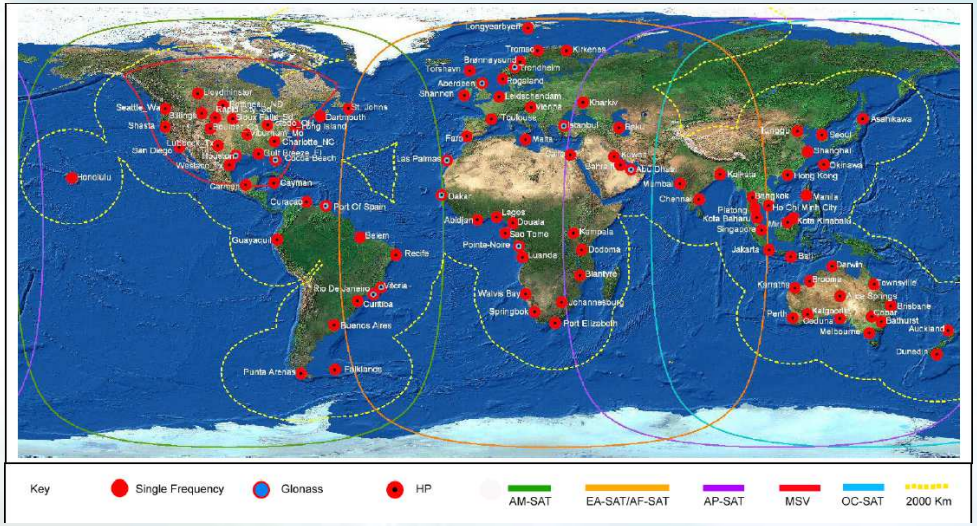
Combinaison	Type	Intérêt	Rôle
Iono-Free	Entre fréquences	Elimine les effets ionosphériques	Augmente la qualité du positionnement
Geometry-Free	Entre fréquences	Estime les effets ionosphériques	Génère des corrections iono pour les récepteurs mono-fréquence
Melbourne-Wübbena	Entre fréquences et codes (4 mesures)	Utile aux ambigüités si récepteur bi-fréquences	Permet de fixer les ambiguïtés

Amélioration de la qualité du positionnement GNSS

Sources de corrections temps réel décimétriques :



- SBAS globaux (GSBAS; ex : OmniSTAR)



- SBAS régionaux (RSBAS; ex : WAAS, EGNOS, MSAS…)

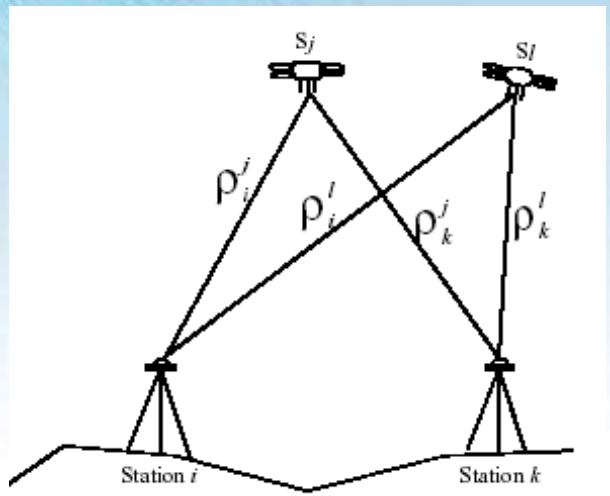
DITTT
Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres

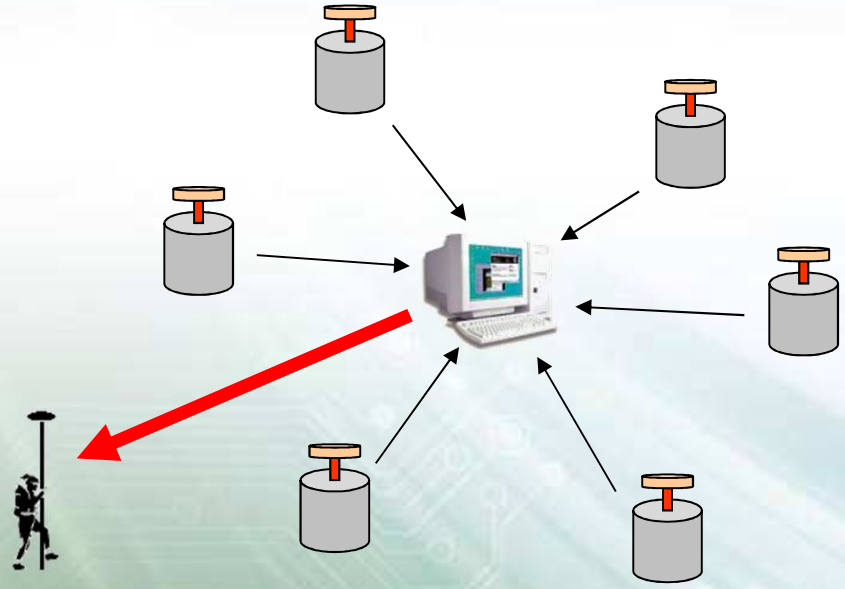
Amélioration de la qualité du positionnement GNSS

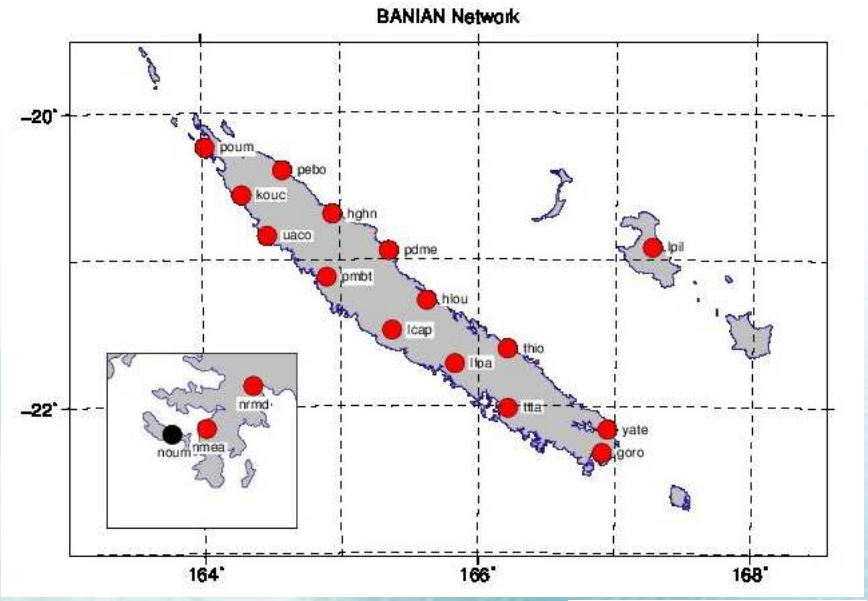
Sources de corrections temps réel centimétriques :

- Réseaux nationaux : corrections DGPS et/ou RTK réseau (FKP, VRS, MAC…)

➔ En Nouvelle-Calédonie : BANIAN







- DGPS/RTK simple

Géorep.nc

DITTT
Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres

Position et localisation, quelle différence ?

Un GNSS fourni à l'utilisateur des coordonnées tridimensionnelles. Ces coordonnées sont exprimées dans un repère géodésique conventionnel centré au centre de la Terre et tournant avec la Terre.

Cette position est calculée par le récepteur GNSS en s'appuyant sur les coordonnées des satellites connues dans ce même repère.

3 coordonnées dans un repère géodésique 3D conventionnel → position

Une position GNSS peut être comparée à un environnement local numérique (carte, plan…). Une fusion de la position et de l'environnement numérique localise un utilisateur sur/dans/par rapport à un « objet ».

Position + environnement numérique → localisation

La localisation par GNSS

/!\ Condition indispensable : position et environnement doivent être exprimés dans le même repère géodésique 3D (ex : WGS84)

Typiquement, un récepteur GNSS de navigation estime l'« objet » ayant la plus grande probabilité d'être celui sur lequel l'utilisateur se trouve.

Opérations de fusion/couplage dites de « map-matching »

Questions ?