

Vendredi **24 avril 2015**

Séminaire

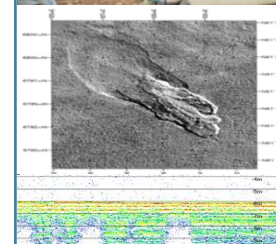
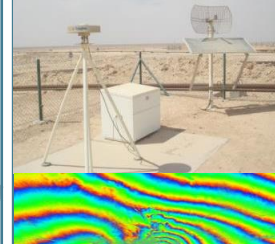
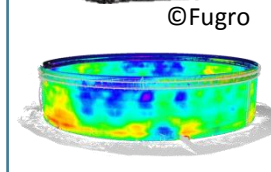
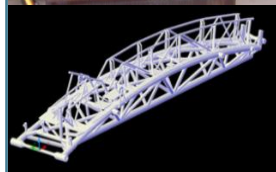
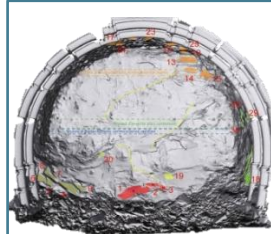
Montpellier SupAgro
Campus de la gaillarde

La 3D en agriculture & en environnement

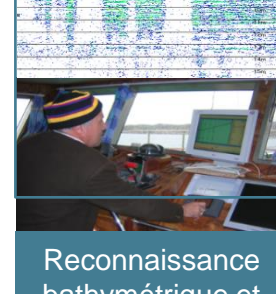
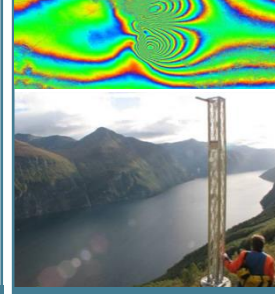
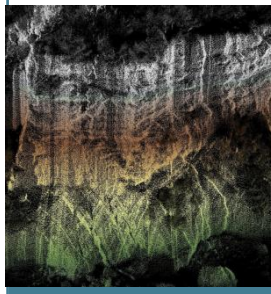
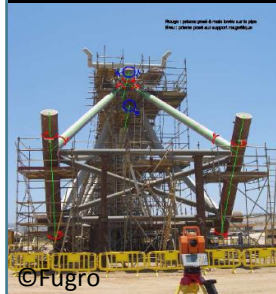
Pléiades, drones, RTK, Lidar

Quelle technologie pour quelle application?

- **FUGRO GEOID** : Créé en 1986 - 40 personnes – 22 Ingénieurs (topographes, géodésiens, géophysiciens)
- **Expert en géodésie** : GPS depuis 1989, auparavant système Satellitaire Transit Doppler
- **Ensemble des services proposés par Fugro Geoid** :



Géodésie



Contrôle Dimensionnel

Laser scanner

Geomonitoring

Reconnaissance bathymétrique et géophysique marine

Positionnement marin

ETAT DE L'ART DES TECHNOLOGIES GPS

- **Partie A : GNSS ou GPS ?**
- **Partie B : Les applications du GNSS**
- **Partie C : Les différents modes du GNSS**
- **Partie D : Configuration d'utilisation en pratique**
- **Conclusion**

ETAT DE L'ART DES TECHNOLOGIES GPS

- **Partie A : GNSS ou GPS ?**
 - **GNSS**
 - Systèmes mondiaux
 - Systèmes régionaux
 - Systèmes d'augmentation
 - **GPS (USA)**
 - **GLONASS (Russie)**
 - **BeiDou / Compass (Chine)**
 - **Galileo (Europe)**
- **Partie B : Les applications du GNSS**
- **Partie C : Les différents modes du GNSS**
- **Partie D : Configuration d'utilisation en pratique**
- **Conclusion**

Partie A : GNSS ou GPS ?

■ GPS ou GNSS ?

- GPS : Global Positioning System
- GNSS : Global Navigation Satellite System

■ Systèmes GNSS mondiaux

- Opérationnels: GPS et GLONASS
- En cours de déploiement : BeiDou et Galileo (prévu en 2020)
- Intérêt : constellations redondantes
 - Fiabilité
 - Permanence
 - Zone d'utilisation
 - Précision nominale



■ Systèmes GNSS régionaux (densification de signaux/satellites dans certaines zones)

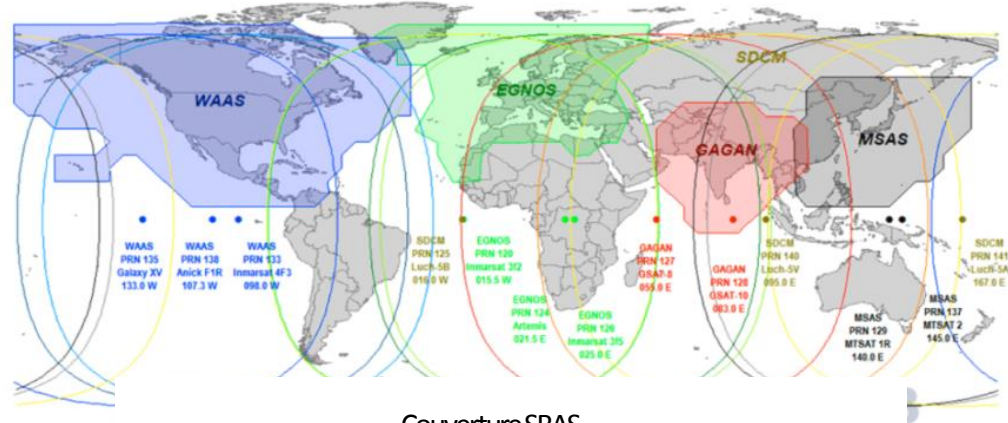
- IRNSS: Indian Regional Navigation Satellite System
- QZSS: Japan's Quasi-Zenith Satellite System



Partie A : GNSS ou GPS ?

■ Systèmes GNSS d'augmentation

- Conçus pour améliorer le système GNSS (disponibilité, fiabilité, ...)
- Exemples :
 - Starfix (Fugro),
 - Starfire (NavCom Technology),
 - Veripos (Subsea 7),
 - WAAS (US Wide Area Augmentation System),
 - EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service),
 - GAGAN (Inde),
 - MTSAS (Japon)



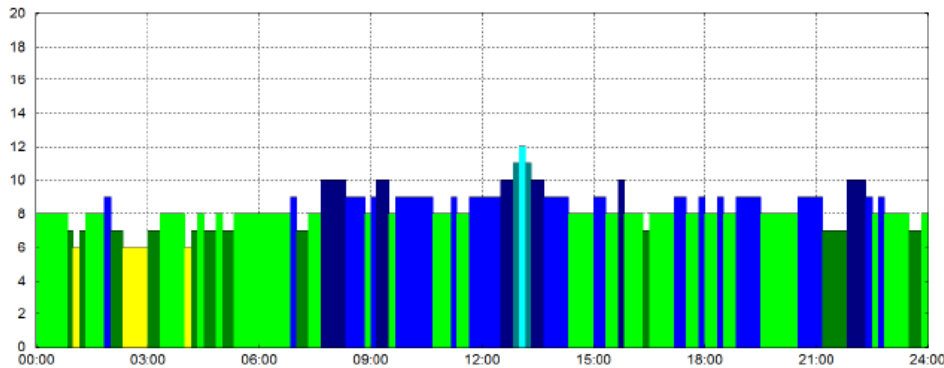
Couverture globale du SBAS

Couverture SBAS

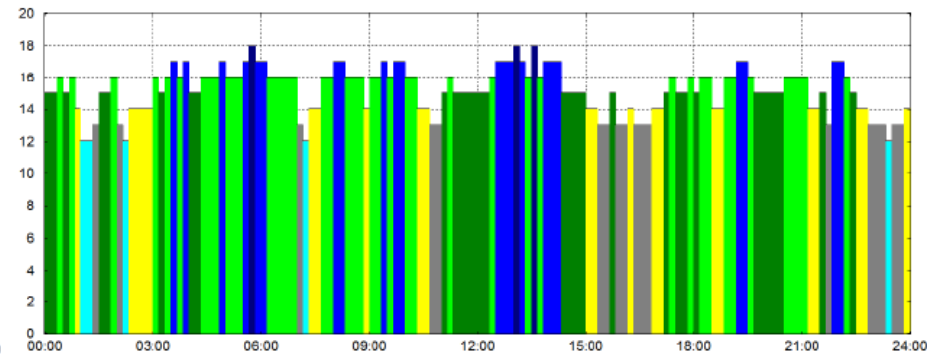
Partie A : GNSS ou GPS ?

■ Visibilité

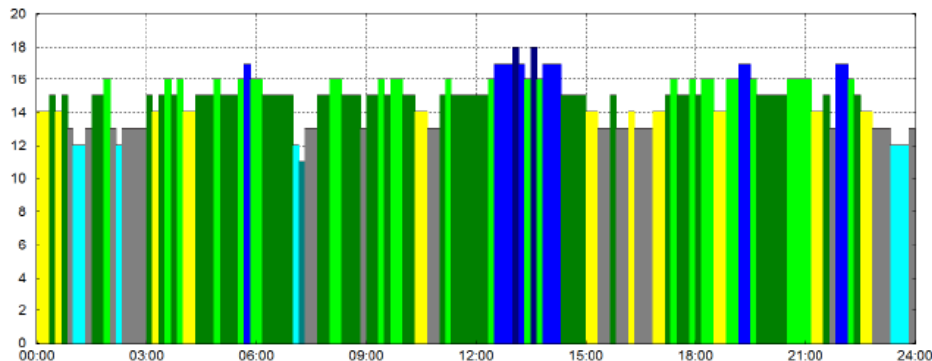
- GPS uniquement



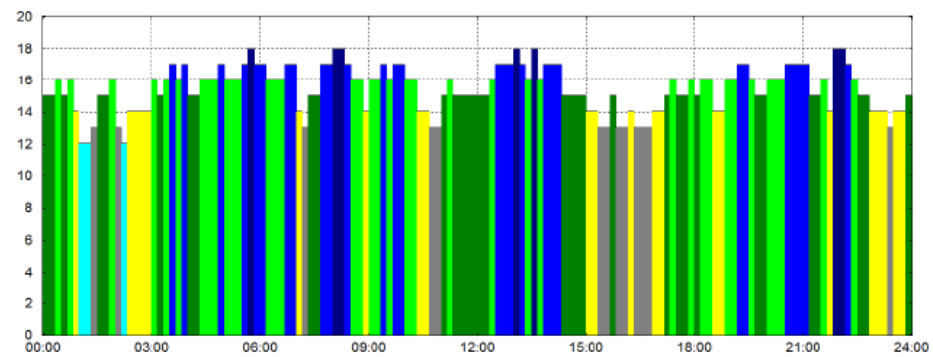
- GPS avec GLONASS et Galileo



- GPS avec GLONASS



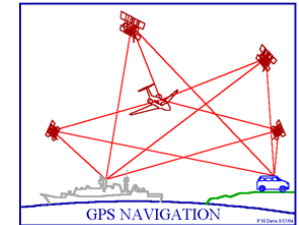
- GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo



■ GPS (USA)

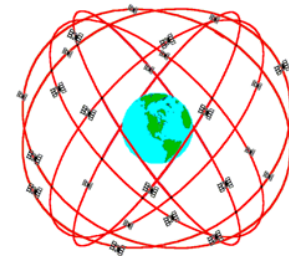
• Description du système

- Secteur spatial
- Secteur de contrôle
- Secteur utilisateur





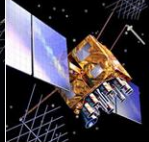
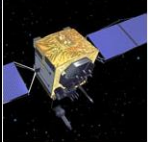
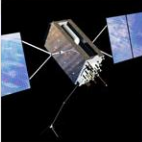
• Détail du secteur spatial

- Premier satellite lancé en 1978 par l'armée américaine
- Opérationnel depuis Février 1994
- Satellites volent en orbite terrestre moyenne à une altitude d'environ 20 200 km.
- Chaque satellite tourne autour de la Terre deux fois par jour.
- Satellites disposés en six plans orbitaux équidistants à un angle de 56 degrés de l'équateur,
- les utilisateurs peuvent pratiquement visualiser au moins quatre satellites à partir de ne importe quel point de la planète.
- Précession 4mn par jour (23h56)



■ Signaux GPS

- Deux phases porteuses modulées par des codes pseudo-aléatoires: C / A, P (Y) et NavData (heure GPS, éphémérides des satellites, informations relatives à chaque satellite, almanachs, modèle de paramètre s ionosphériques...)

LEGACY SATELLITES			MODERNIZED SATELLITES	
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR(M)	BLOCK IIF	GPS III
6 operational	12 operational	7 operational	5 operational	Now in production

■ Satellites GPS

- Bloc IIA (lancé en 1990-1997)
Acquisition grossière (C / A) sur la fréquence L1 codes pour les utilisateurs civils et P précise (Y) du code sur L1 ~ 1575 MHz et L2 ~ 1227 MHz des fréquences pour les utilisateurs militaires
- Bloc IIF (lancé en 1997-2004 Code sur L1 et L2 code C / A sur L1 et P (Y)
- Bloc IIR-M (lancé en 2005-2009) Tous les signaux existants et signal civil L2 (2ème sur signal L2C ≠ L2 P) Plus de puissance efficace
- Bloc 2F (lancé depuis 2010) Tous les signaux Bloc IIR (M) et 3ème signal civil sur la fréquence L5 (L5 ~ 1176 MHz réservés pour l'aviation).
- GPS III (lancement à partir de 2016) Tous les signaux Bloc IIF et 4ème signal civil sur L1 (signal L1C ≠ L1 C / AP) La fiabilité du signal amélioré, l'exactitude et l'intégrité

■ GLONASS (Russie)

- 24 satellites opérationnels, constellation complète depuis 2011, deux sous-bandes de fréquences (L1 ~ 1602 MHz et 1246 MHz ~ L2)
- Utilisé dans de nombreux logiciels (TBC (Trimble), LGO (Leica)...) mais pas systématiquement
- Améliore les solutions GNSS standards (surtout en mode RTK)
- N'améliore pas les solutions GNSS très précises (réalisations de référentiels)



■ BeiDou / Compass (Chine)

- Aussi nommé COMPASS ou BeiDou-2
- Opérationnel en Chine à partir de fin 2011, puis opérationnel dans la région Asie-Pacifique à partir de fin 2012
- Toujours en phase de déploiement (achèvement prévu en 2020),

■ Galileo (Europe)

- Encore en phase de déploiement : constellation complète de 30 satellites prévue en 2020
- 3 plans orbitaux à un angle de 56 degrés de l'équateur pour assurer une couverture jusqu'aux régions polaires.
- 2 satellites tests (2005), puis 4 satellites (2011, 2012) et enfin 2 satellites lancés avec succès fin mars 2015

ETAT DE L'ART DES TECHNOLOGIES GPS

- **Partie A : GNSS ou GPS ?**
- **Partie B : Les applications du GNSS**
 - **GNSS : moyen de positionnement / géoréférencement**
 - Positionnement temps réel
 - Positionnement / géoréférencement en mode post traité
 - **GNSS : production de données 3D**
- **Partie C : Les différents modes du GNSS**
- **Partie D : Configuration d'utilisation en pratique**
- **Conclusion**

■ GNSS : moyen de positionnement / géoréférencement

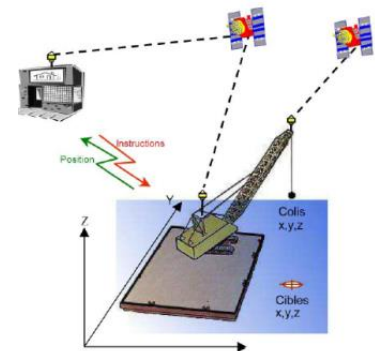
Souvent utilisé en combinaison avec d'autres capteurs : centrale inertielle (gyroscopes et accéléromètres), inclinomètres, gyrocompas, systèmes de positionnement acoustique etc.)

• Positionnement temps réel

- De mobile (construction, génie civil)
 - Engins de génie civil
 - Grues
 - Engins agricoles, engins d'exploitation de mines à ciel ouvert, salines
 - Avions, drones,
 - Barges de construction, navires océanographiques et de dragage
 - Vedettes hydrographiques
 - Ballons sondes
 - Voitures (mobile mapping)



Trancheuse équipée de Récepteurs GPS

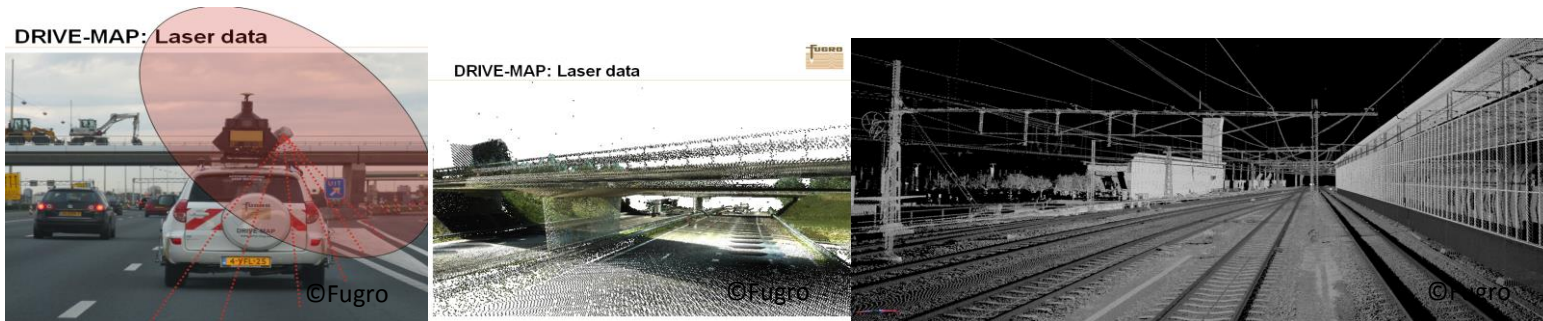


Principe de fonctionnement d'un système de positionnement

Grue équipée de Récepteurs GPS

Partie B : Les applications du GNSS

- **Positionnement / géoréférencement en mode post traité**
 - Photogrammétrie (trajectoire de l'aéronef, points de calage au sol)
 - Corrélation d'image (points homologues identifiés, besoin de points de calage)
 - Géo référencement d'images acquises depuis des capteurs embarqués dans un avion (optiques, radar, hyper spectrales)
 - LiDAR / Laser scanner :
 - Lasergrammétrie terrestre (laser scanner terrestre sur trépied, embarqué sur voiture, train, bateau)



- Lasergrammétrie aérienne (l'acronyme LiDAR est alors toujours utilisé)

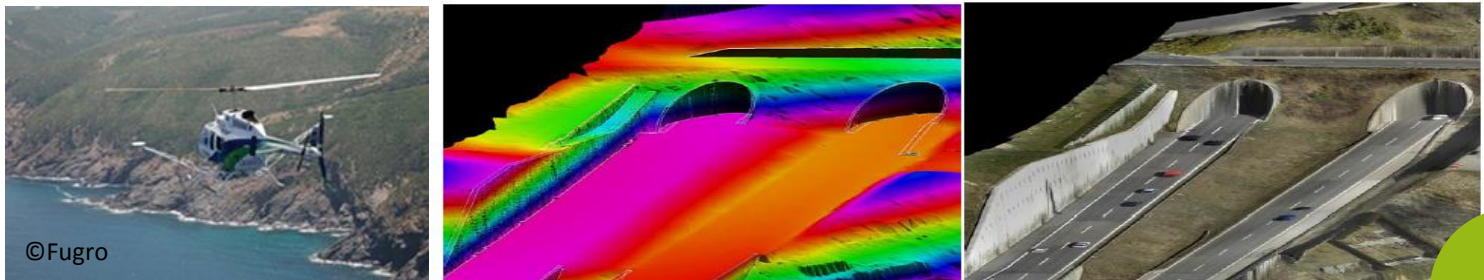
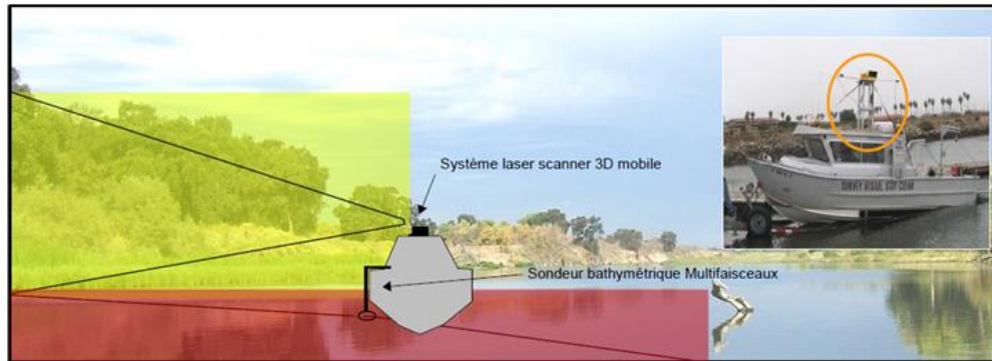


Figure 1 : MNT et lignes de rupture à gauche et Orthophoto drapée sur le MNT à droite sur l'axe entre Vennes et Chexbres.

Partie B : Les applications du GNSS

- Levés bathymétriques et géophysiques marins

BOAT-MAP™ : L'intégration de la Bathymétrie Multifaisceaux et de la Numérisation 3D mobile



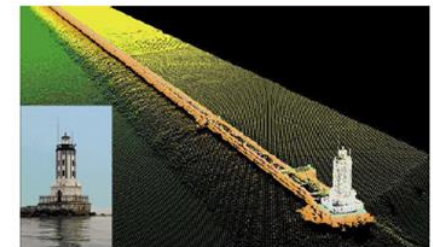
BOAT-MAP : le couplage de la bathymétrie et de la numérisation laser 3D mobile



Contrôle de stabilité des quais, Port de Los Angeles



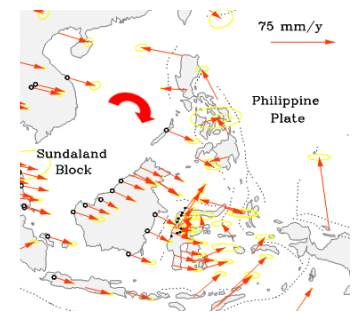
Levé du fleuve Sacramento – Projet de cartographie des plaines inondables - California Department of Water Resources



Auscultation de la digue de San Pedro, Port de Los Angeles

■ GNSS : Production de données 3D

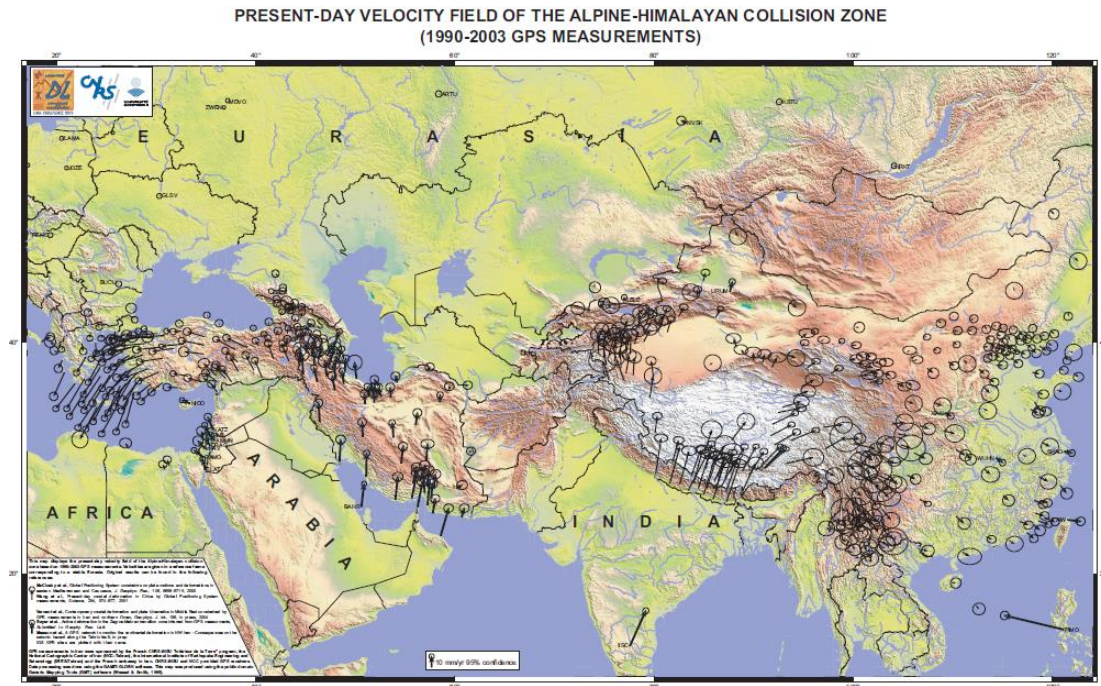
- Levés topographiques (zones de dimension réduite)
 - A pied avec canne ou sac à dos, avec un 4x4, un quad, une moto
- Systèmes de surveillance (en combinaison avec d'autres capteurs)
 - Monitoring de structure (barrage, viaduc, gratte ciel)
 - Monitoring de versant (glissements de terrain)
- Monitoring scientifique
 - Mesure de subsidence : champs pétroliers ou mines



©Fugro

Partie B : Les applications du GNSS

- Géodynamique



- **INSAR** (Interférométrie Radar, utilisée pour mesurer les déformations de la terre, souvent combinée à des observations GNSS pour corriger les artefacts atmosphériques)
- **Météorologie** (détermination du délai troposphérique zénithal, corrélé avec la fraction de vapeur d'eau précipitable contenue dans l'atmosphère)

ETAT DE L'ART DES TECHNOLOGIES GPS

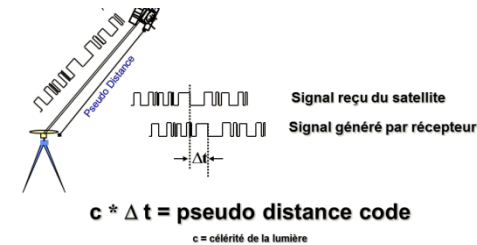
- **Partie A : GNSS ou GPS ?**
- **Partie B : Les applications du GNSS**
- **Partie C : Les différents modes du GNSS**
 - **Préambule : référentiel géodésique**
 - **Modes temps réel**
 - Stand Alone
 - DGPS
 - RTK
 - **Modes Post traités**
 - Mode PPP
 - Mode différentiel
 - Statique
 - Cinématique post traité PPK
- **Partie D : Configuration d'utilisation en pratique**
- **Conclusion**

■ Préambule: référentiel géodésique mondial

- GPS est géoréférencé dans le système géodésique WGS84
- GLONASS dans le système PZ-90
- Ephémérides Navstar / GPS sont définis dans le référentiel géodésique IGS08
- Ephémérides GLONASS dans le référentiel géodésique PZ-90.11
- Le canevas de géoréférencement terrestre est défini dans le système géodésique ITRS dont les réalisations successives sont les ITRF (frames), définis à une époque de référence. Actuellement, le référentiel géodésique en vigueur est l'ITRF 2008 (époque de référence 2005.0).
- L'ITRF combine les observations GNSS, VLBI (Very Long Baseline Interferometry), LLR (Lunar Laser Ranging), SLR (Satellite Laser Ranging), DORIS
- Du fait de la rotation des plaques tectoniques, les stations de référence ITRF sont toujours en mouvement dans ce référentiel (quelques cm par an).
- Les stations de référence ITRF2008 sont connues en position (coordonnées cartésiennes géocentriques X, Y et Z ou latitude, longitude et Hauteur au dessus de l'ellipsoïde) et en vitesse (VX, VY et VZ ou VLatitude, Vlongitude et Vhauteur ellipsoïdale)

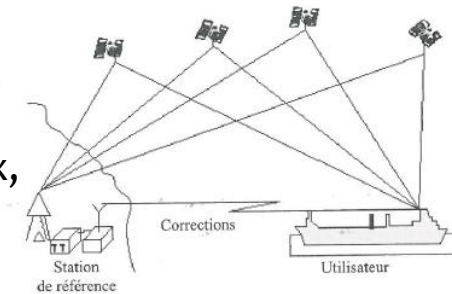
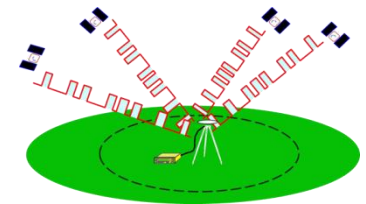
■ Description

- Les signaux GNSS sont des ondes radio électriques émises par les satellites
- 2 fréquences de porteuse (L1, L2) modulées par des codes pseudo-aléatoires (dont C/A et P)



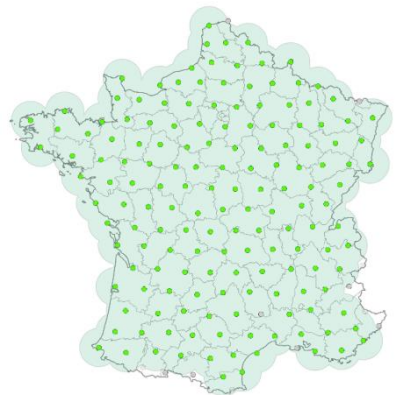
■ Modes temps réel

- **Mode naturel ou autonome (Stand Alone)**
 - Mesure au moins 4 pseudo-distances sur 4 satellites à partir d'un seul récepteur
 - Position absolue, instantanée, en temps réel avec une précision variant de quelques mètres à 40 m environ
- **Mode DGPS (Differential Global Positioning System)**
 - Mode station(s) spécifique(s) ou réseau (NDGPS)
 - Emission de corrections de pseudo-distances (Omnistar, Starfix, Phares et balises...)
 - Récepteurs utilisés monofréquence
 - 4 inconnues : Lat, Long, Hell, Temps



A proximité des aéroports et des côtes

- **Mode cinématique temps réel (RTK : Real Time Kinematic)**
 - Mode station(s) spécifique (s) ou réseau (NRTK)
 - Reconstitution des ambiguïtés entières de phase à partir des données de pseudo-distances (code) et de phase provenant des stations de référence locales, régionales ou virtuelles
 - Corrections envoyées par liaison radio spécifique ou réseau de télécommunication GSM/GPRS

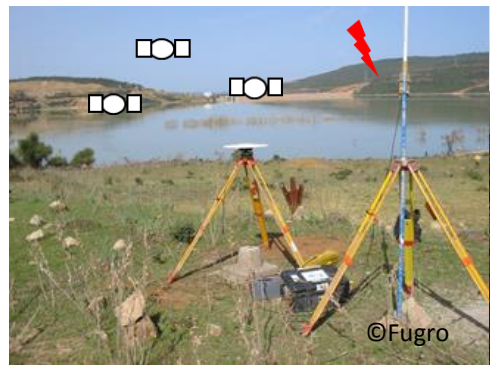


Zone de couverture Orphéon - Avril 2013

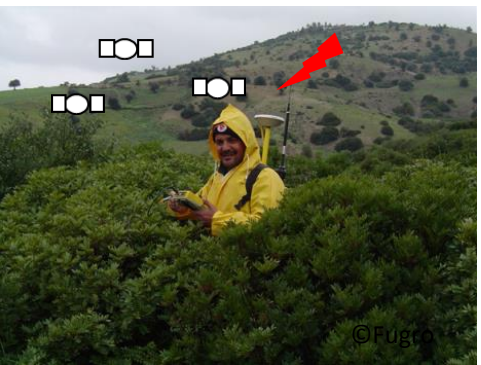
● Stations en fonctionnement	● Zone couverte par le service Orphéon
● Stations en cours d'installation	
● Stations à installer	



Réseau Teria



Station de référence
RTK



RTK mobile

■ Modes post traités

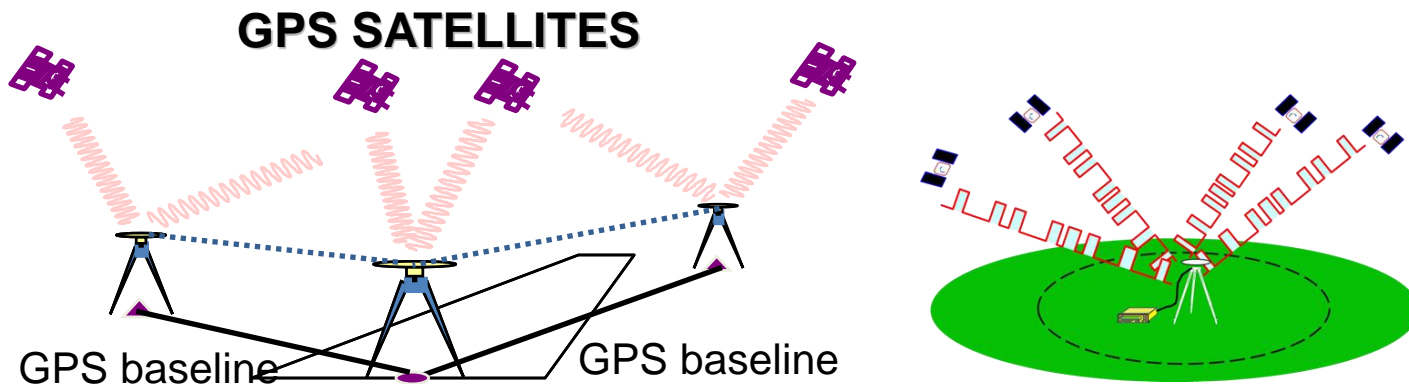
• Mode PPP (Precise Point Positioning)

- Position déterminée en absolu dans l'ITRF 2008 à l'époque de la mesure ou dans le référentiel national du service utilisé
- Détermination des coordonnées tridimensionnelles d'un point isolé
- Utilise pour le calcul des modèles des différentes sources de perturbations de la mesure
 - Orbites précises des satellites
 - Horloges précises
 - Modèles ionosphérique et troposphérique
- Précision variable en fonction de la durée d'observation
- Logiciels en ligne : Fugro PPP, SCRS-PPP...

- **Mode différentiel**

- **Principe**

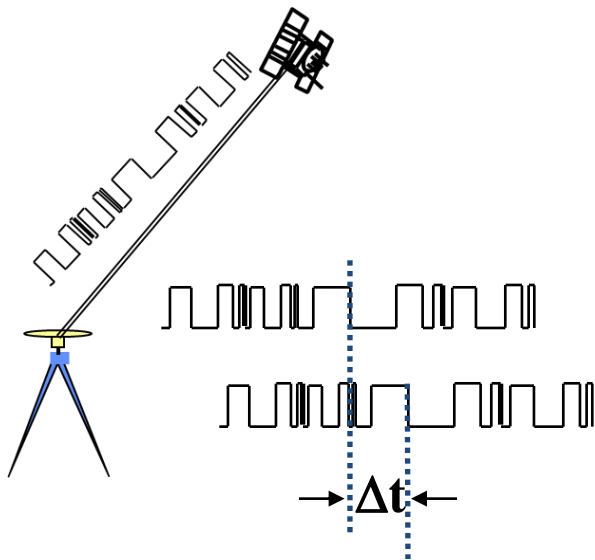
- Au moins 4 satellites visibles (Position 3D, décalage de temps)
- Au moins 2 récepteurs GNSS (en pratique bien plus : réseau GNSS)
- Erreurs GNSS analogues (corrélées spatialement)
 - Erreurs GNSS inconnues mais très voisines pour deux récepteurs GNSS enregistrant les mêmes données au même moment
 - Position du point incertaine mais ligne de base les reliant précisément connue
 - Les erreurs augmentent avec la distance entre les récepteurs



- **Observations en Post traitement**

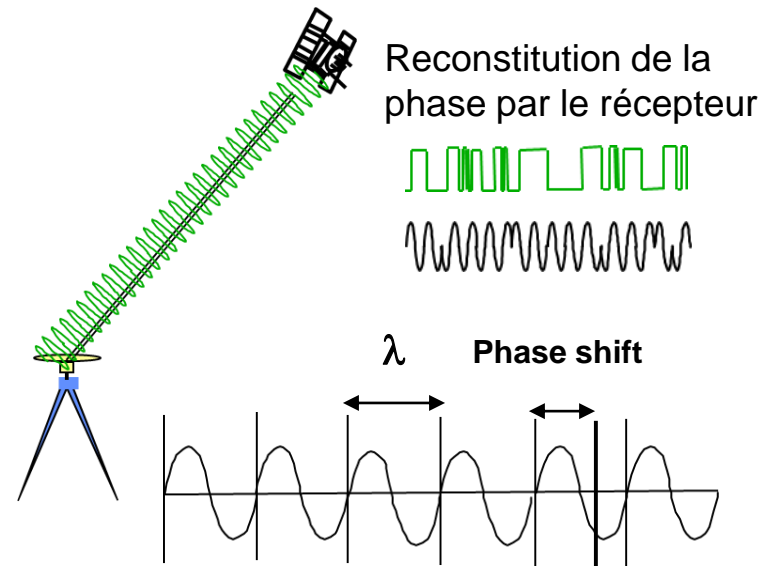
- Observables principales : Phase L1 et L2, Code C1 ou P1)

Pseudo-distances (C/A, P(Y) codes)



$c \cdot \Delta t = \text{pseudo-distance (Code)}$

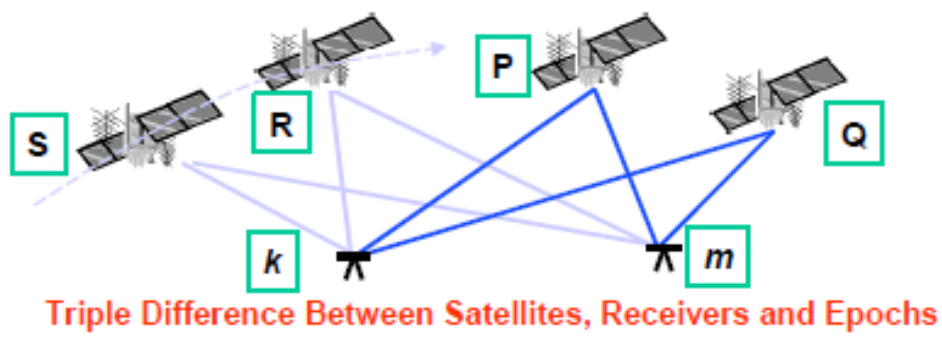
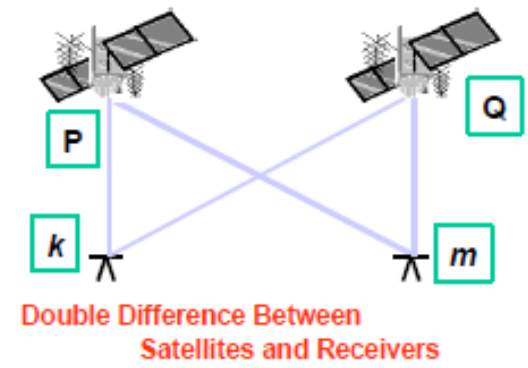
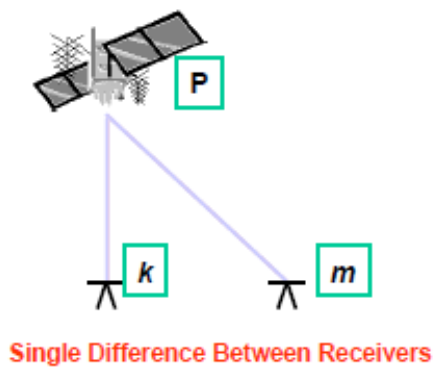
Phase (L1, L2)



Inconnue : nombre d'ambiguïtés entières
(nombre de cycles entiers entre satellites et récepteurs)

Partie C : Les différents modes du GNSS

- Principe du traitement en mode différentiel
 - Simples, doubles et triples différences : éliminent la plupart des erreurs



- Combinaison d'observables ex. : $LC = 2.5 L1 - 2.0 L2$ ou $LG = L2 - f_2/f_1 L1$

ETAT DE L'ART DES TECHNOLOGIES GPS

- Partie A : GNSS ou GPS ?
- Partie B : Les applications du GNSS
- Partie C : Les différents modes du GNSS
- **Partie D : Configuration d'utilisation en pratique**
 - **Mode Temps Réel**
 - **Mode Post traitement**
- Conclusion

Partie D : Configuration d'utilisation en pratique

▪ Modes Temps Réel

• DGPS :

- Réseaux permanents (ex. Réseaux côtiers Phares et Balises) ou station(s) spécifique(s) au projet
- Liaison radio dans différentes gammes de fréquences (UHF, HF, MF) depuis des antennes au sol ou via satellite (Omnistar, Starfix)

• RTK :

- Utilisation de réseaux GNSS permanents (et d'infrastructures de télécommunication type GSM/ GPRS) ou station(s) spécifique(s)
- Utilisation de station(s) spécifique(s) et liaison radio dédiée (quelques centaines de m à plusieurs dizaines de km) ou réseau de stations permanentes
 - Stations spécifiques : antenne directionnelle ou non, amplificateur de puissance ou non, configuration du terrain (relief / obstacles à la propagation des ondes)
 - Réseaux permanents : stations de référence virtuelles dans la zone d'intérêt

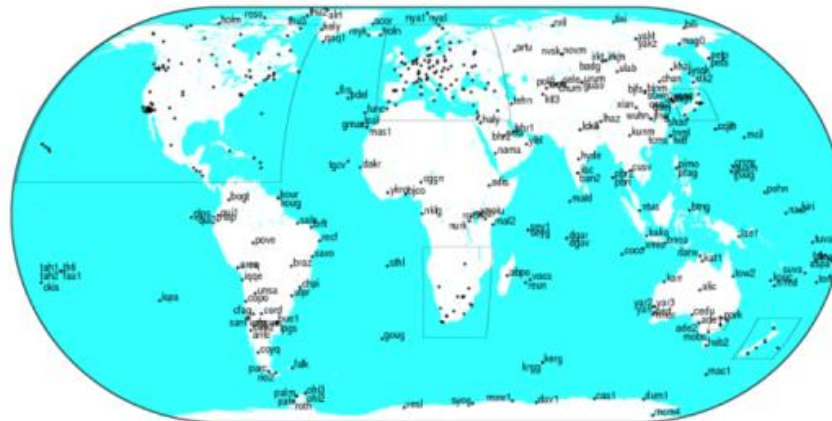
• Inconvénients : pas de véritable QA/QC

• Avantages : Rapidité d'acquisition et de traitement

Partie D : Configuration d'utilisation en pratique

■ Modes Post traitement

- Réseaux sans limite de distance (centaines de m à milliers de km)
- QA/QC complet
- Niveau de performance ajustable
- En mode différentiel : lignes de base (vecteurs) de précision relative de quelques ppm ou mm/km (10^{-6}) à quelques centièmes de ppm (10^{-8})



IGb08 reference frame sites

- Outils de Traitements
 - Logiciels en ligne (Auspos, CRS-PPP...)
 - Logiciels commerciaux constructeurs GNSS
 - TBC (Trimble), LGO (Leica), TopconTools (Topcon), etc...
 - Logiciels commerciaux hybrides GNSS et autres capteurs (centrales inertielles..)
 - POSPAC MMS (Applanix), Grafnav (Novatel), QINSY (QPS), Hypack (COASTAL)
 - Logiciels scientifiques
 - Mode PPP (ex. GIPSY OASIS)
 - Mode différentiel
 - ✓ Pour le calcul des lignes de bases
 - BERNESE (Institut d'Astronomie de Berne)
 - GAMIT (MIT: Massachusetts Institute of Technology)
 - ✓ Compensation par moindres carrés de réseaux / campagnes de mesures :
 - GEOLAB (BITWISE)
 - GLOBK (MIT)

■ Conclusion

- GPS < GNSS
- Domaines d'applications du GNSS en forte croissance
- Modes d'utilisation fonctions des types de projet et des contextes (spécifications de précision, intégrité, fiabilité, budget etc.)



Merci pour votre attention

