

Vendredi **24 avril 2015**

Séminaire

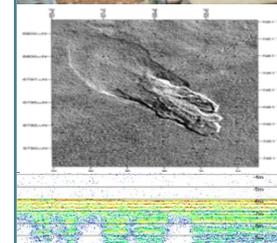
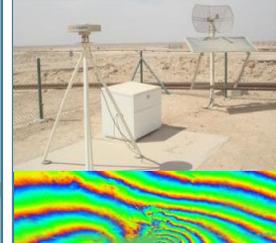
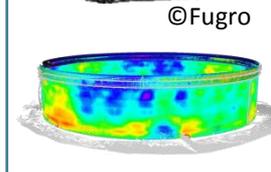
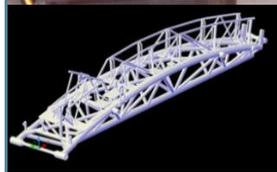
Montpellier SupAgro  
Campus de la gaillarde

# La 3D en agriculture & en environnement

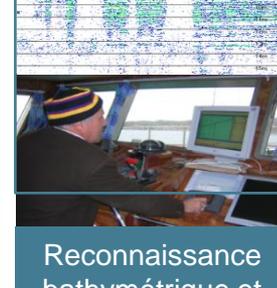
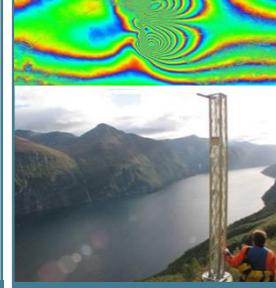
*Pléiades, drones, RTK, Lidar*

*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**

## ■ 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



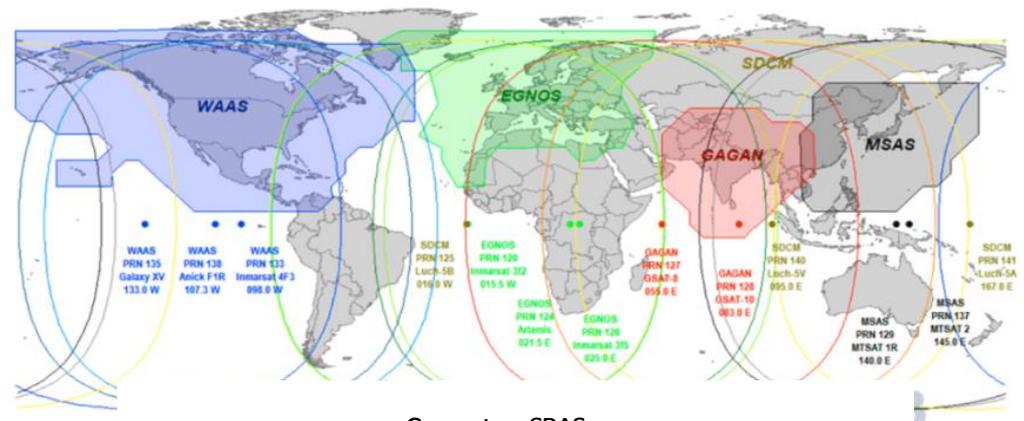
## ■ Systèmes GNSS régionaux (densification de signaux/satellites dans certaines zones)

- 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)



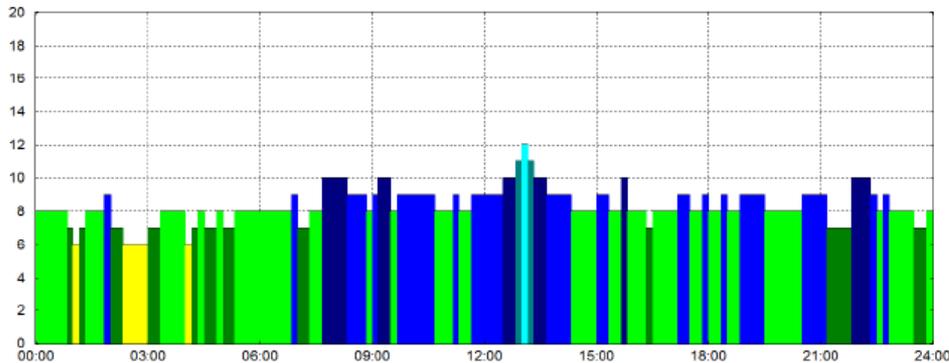
Couverture globale du SBAS

Couverture SBAS

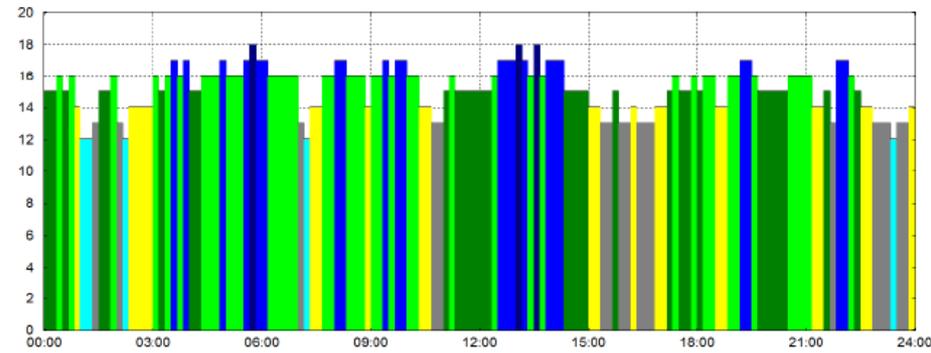
# Partie A : GNSS ou GPS ?

## ■ Visibilité

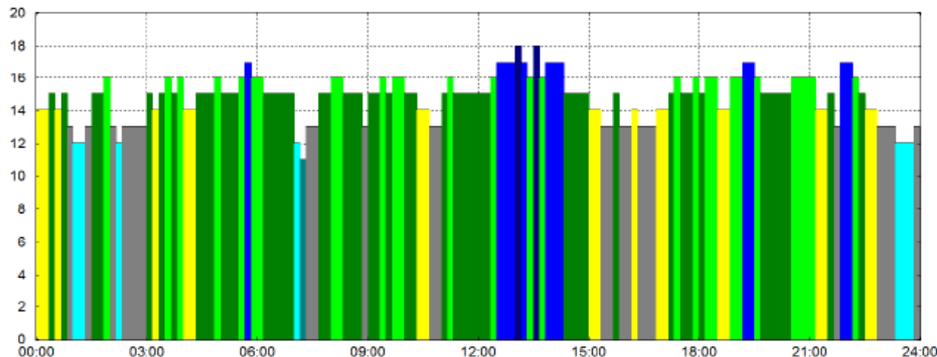
- GPS uniquement



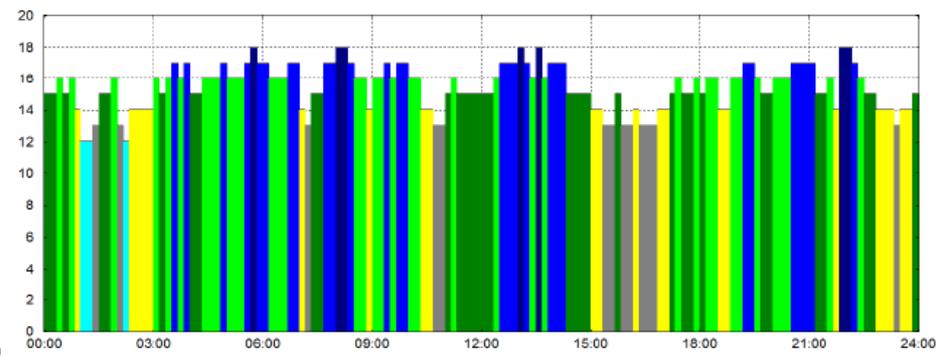
- GPS avec GLONASS et Galileo



- GPS avec GLONASS



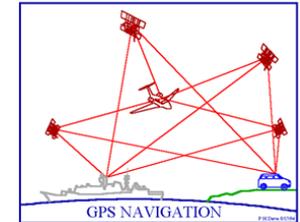
- GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo



## ■ GPS (USA)

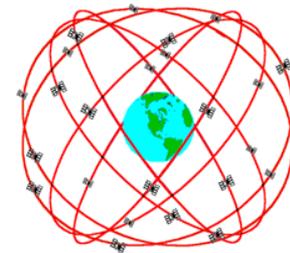
### • Description du système

- Secteur spatial
- Secteur de contrôle
- Secteur utilisateur



### • Détail du secteur spatial

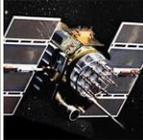
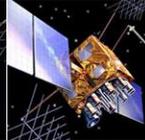
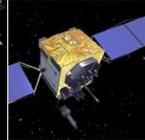
- Premier satellite lancé en 1978 par l'armée américaine
- Opérationnel depuis Février 1994
- Satellites volent en orbite terrestre moyenne à une altitude d'environ 20 200 km.
- Chaque satellite tourne autour de la Terre deux fois par jour.
- Satellites disposés en six plans orbitaux équidistants à un 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)



# Partie A : GNSS ou GPS ?

## ■ 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

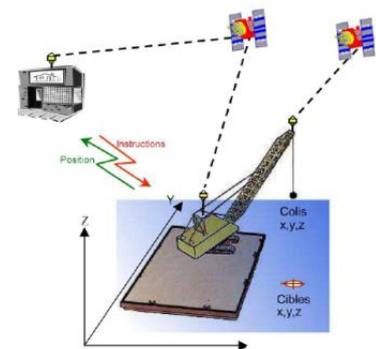
Souvent utilisé en combinaison avec d'autres capteurs : centrale inertielle (gyroscopes et accéléromètres), inclinomètres, gyrocompas, systèmes de positionnement acoustique etc.)

### • 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

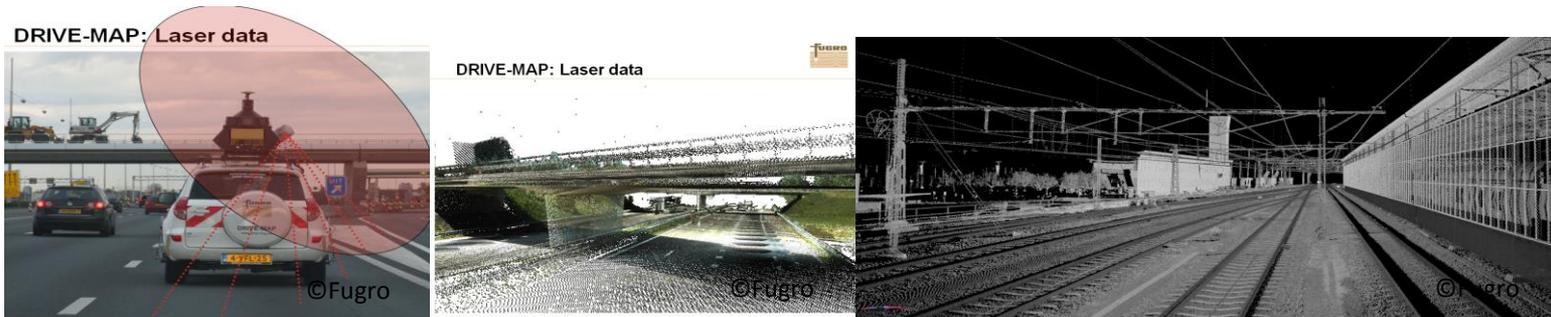


Principe de fonctionnement d'un système de positionnement

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)

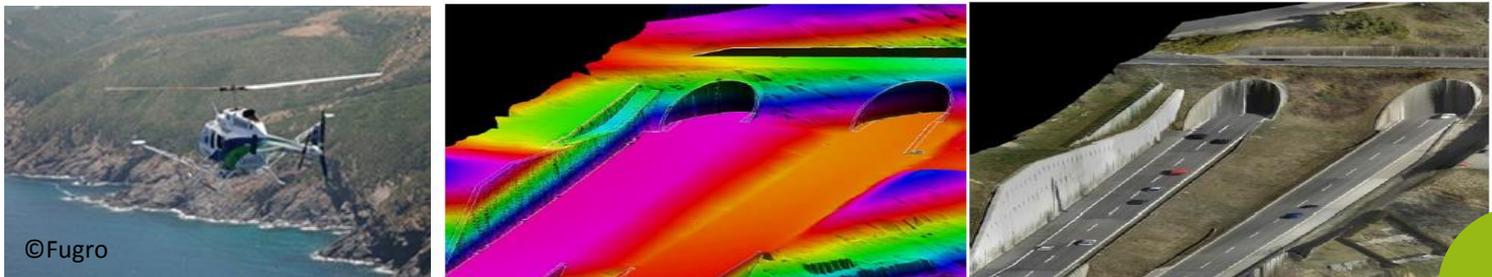
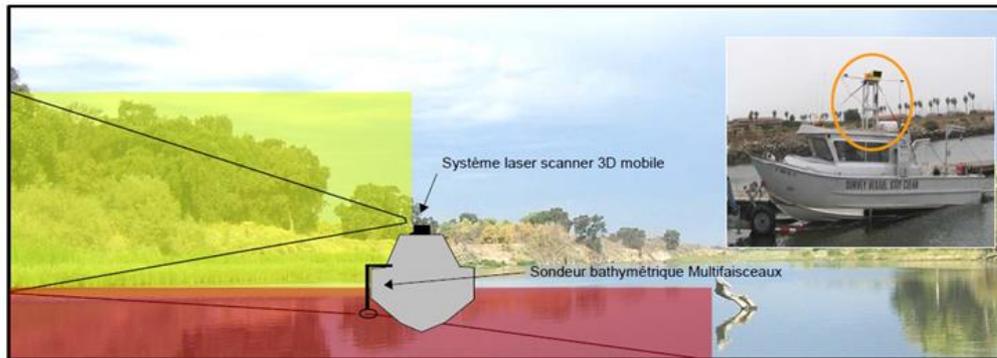


Figure 1 : MNT et lignes de rupture à gauche et Orthophoto drapée sur le MNT à droite sur entre Vennes et Chexbres.

# 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



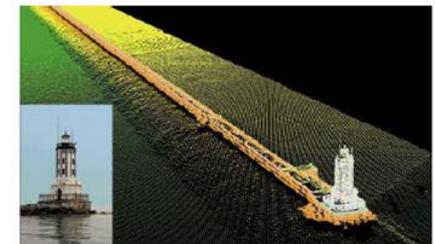
BOAT-MAP : le couplage de la bathymétrie et de la numérisation laser 3D mobile



Contrôle de stabilité des quais, Port de Los Angeles



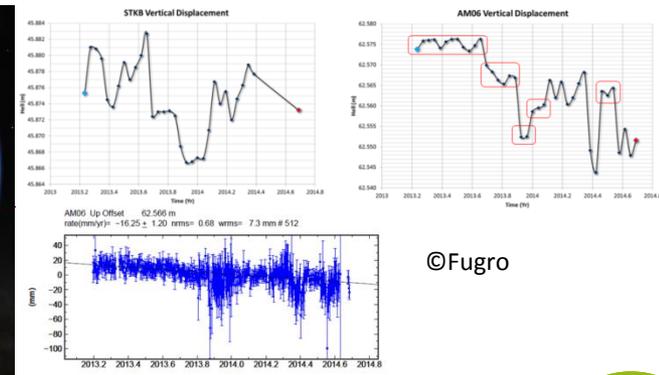
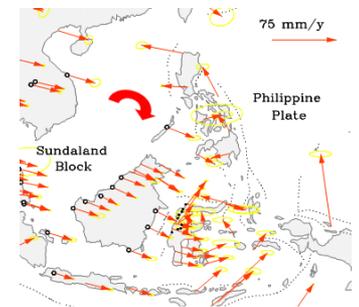
Levé du fleuve Sacramento – Projet de cartographie des plaines inondables - California Department of Water Resources



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

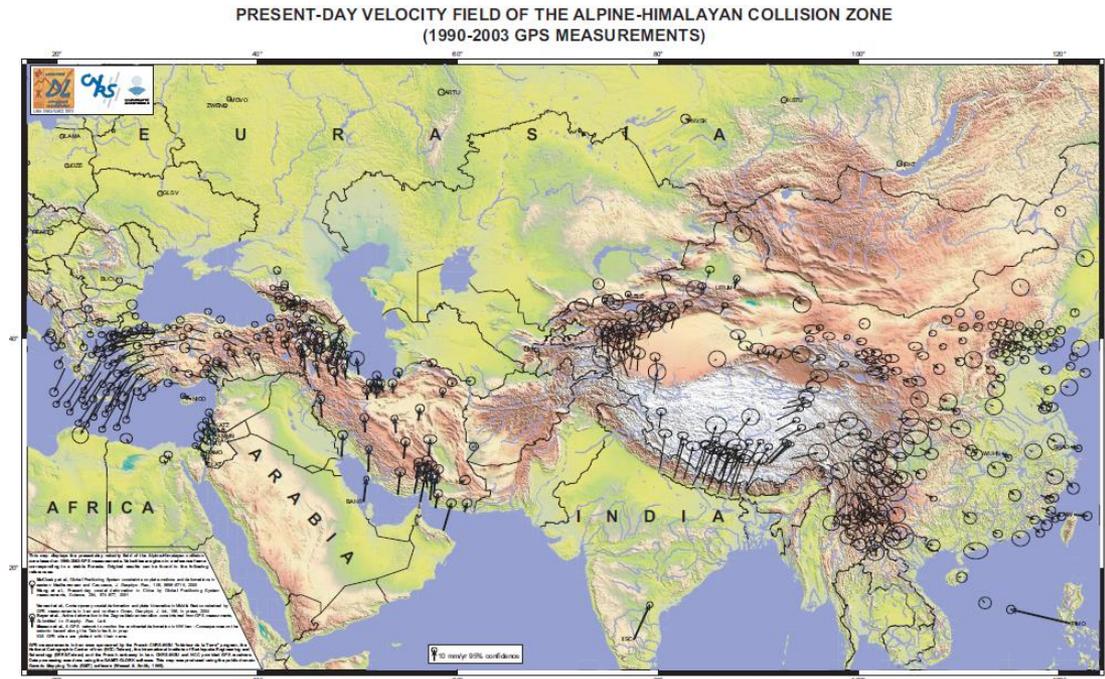
## ■ GNSS : Production de données 3D

- 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

- 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

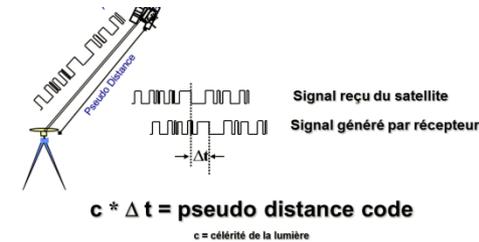
- **Partie A : GNSS ou GPS ?**
- **Partie B : Les applications du GNSS**
- **Partie C : Les différents modes du GNSS**
  - **Préambule : référentiel géodésique**
  - **Modes temps réel**
    - Stand Alone
    - DGPS
    - RTK
  - **Modes Post traités**
    - Mode PPP
    - Mode différentiel
      - Statique
      - 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)

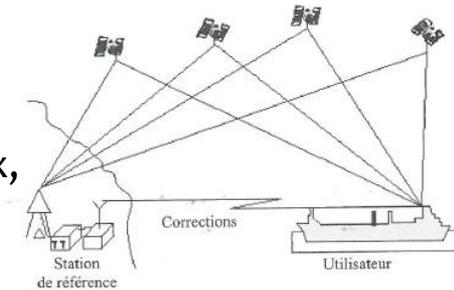
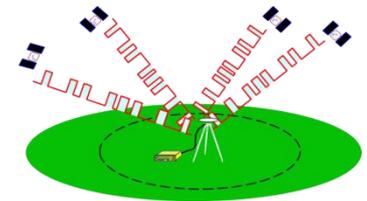
## ■ Description

- 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)



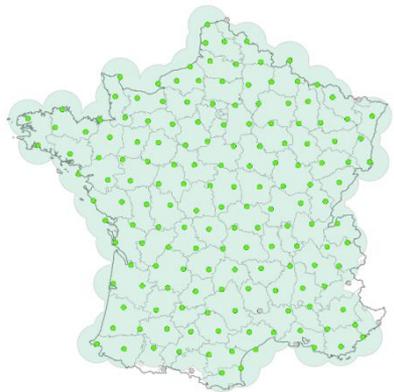
## ■ Modes temps réel

- **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

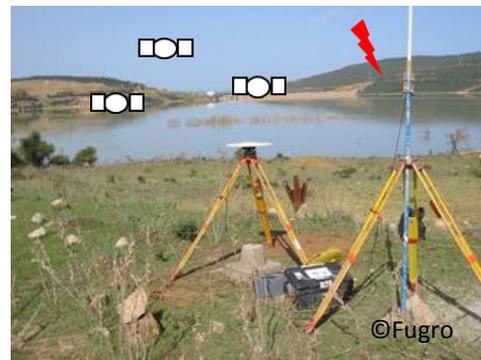


Zone de couverture Orphéon - Avril 2013

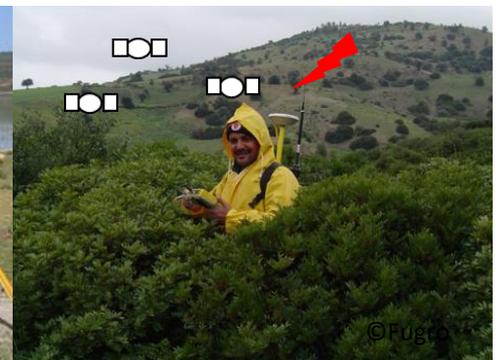
- Stations en fonctionnement
  - Stations en cours d'installation
  - Stations à installer
- Zone couverte par le service Orphéon



Réseau Teria



Station de référence  
RTK



RTK mobile

## ■ Modes post traités

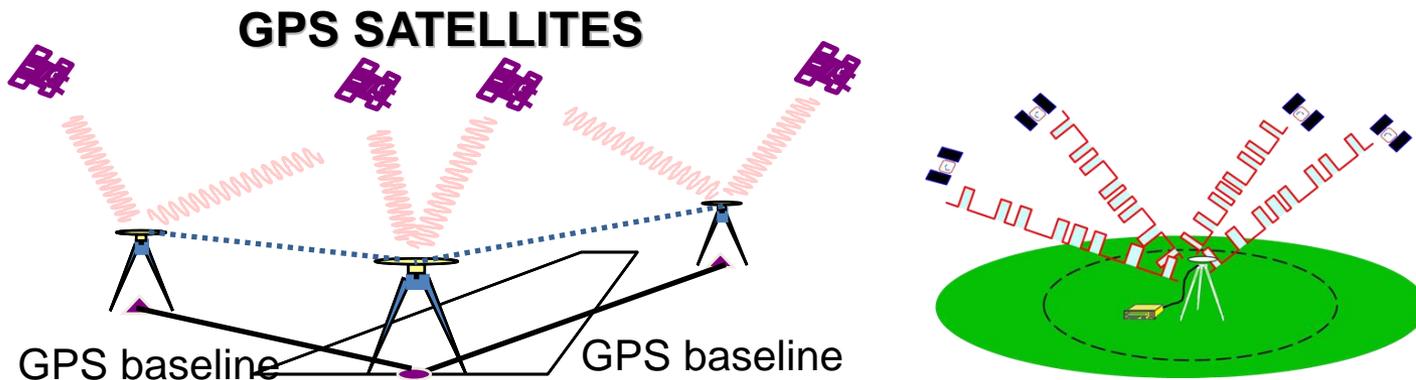
### • Mode PPP (Precise Point Positioning)

- 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**

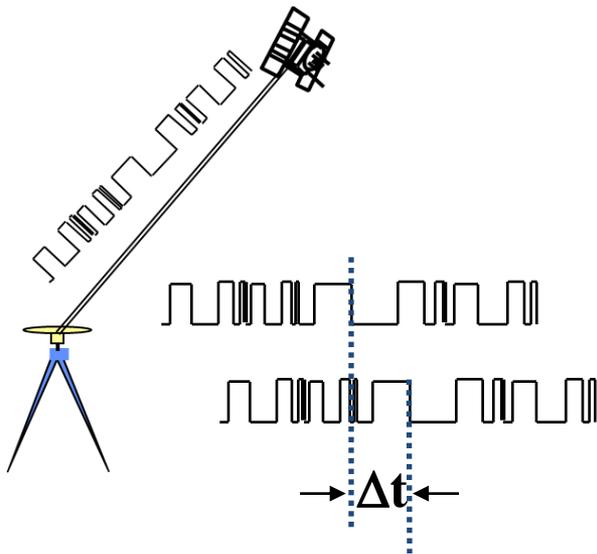
- Au moins 4 satellites visibles (Position 3D, décalage de temps)
- Au moins 2 récepteurs GNSS (en pratique bien plus : réseau GNSS)
- Erreurs GNSS analogues (corrélées spatialement)
  - Erreurs GNSS inconnues mais très voisines pour deux récepteurs GNSS enregistrant les mêmes données au même moment
  - 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**

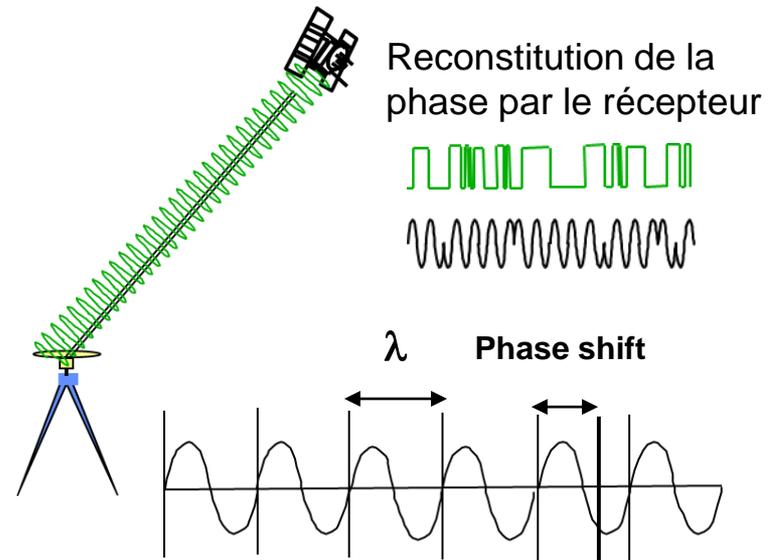
- Observables principales : Phase L1 et L2, Code C1 ou P1)

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



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

### Phase (L1, L2)

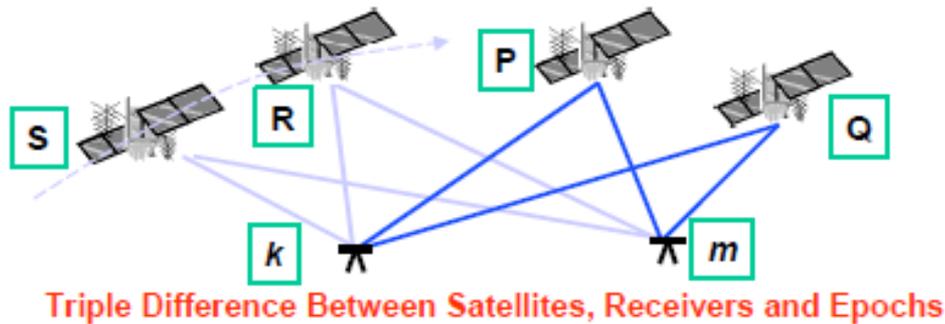
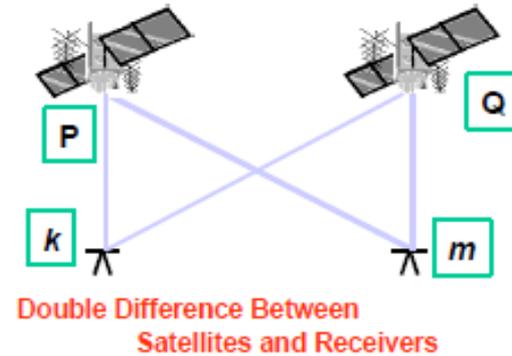
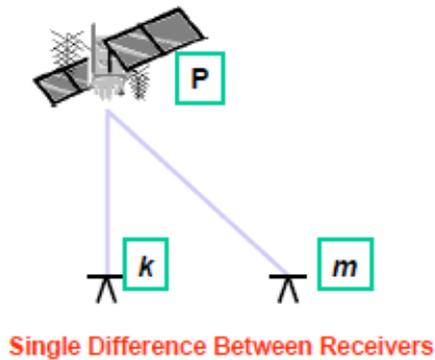


**Inconnue : nombre d'ambiguïtés entières**  
(nombre de cycles entiers entre satellites et récepteurs)

# 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

## ■ 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

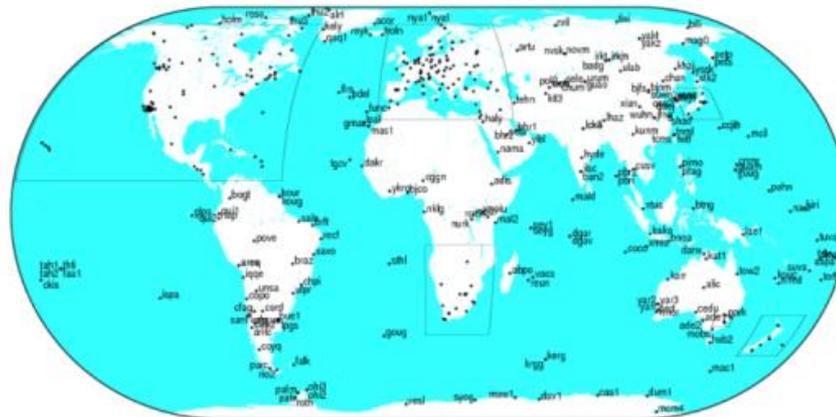
### • Inconvénients : pas de véritable QA/QC

### • 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**

