

La précision dans les mesures RTK

Gilles Wautelet

Unité de géomatique



Club d'utilisateurs du PICC & dix ans de Walcors
Wépion, le 6 décembre 2013



Quelle est la précision de la technique GPS-RTK?

- Annoncée : Horizontal : ~ 1 cm
Vertical : ~ 2 cm
- Cette précision est-elle réaliste?
- Quelles sources d'erreur affectent la précision des mesures?
- Comment atténuer ces erreurs?

Positionnement absolu

Principes et sources d'erreurs

Positionnement RTK

Utilité des corrections réseau

Limiter l'impact

Guide de bonne pratique

Le cas belge

Lb72, Lb08 et DNG

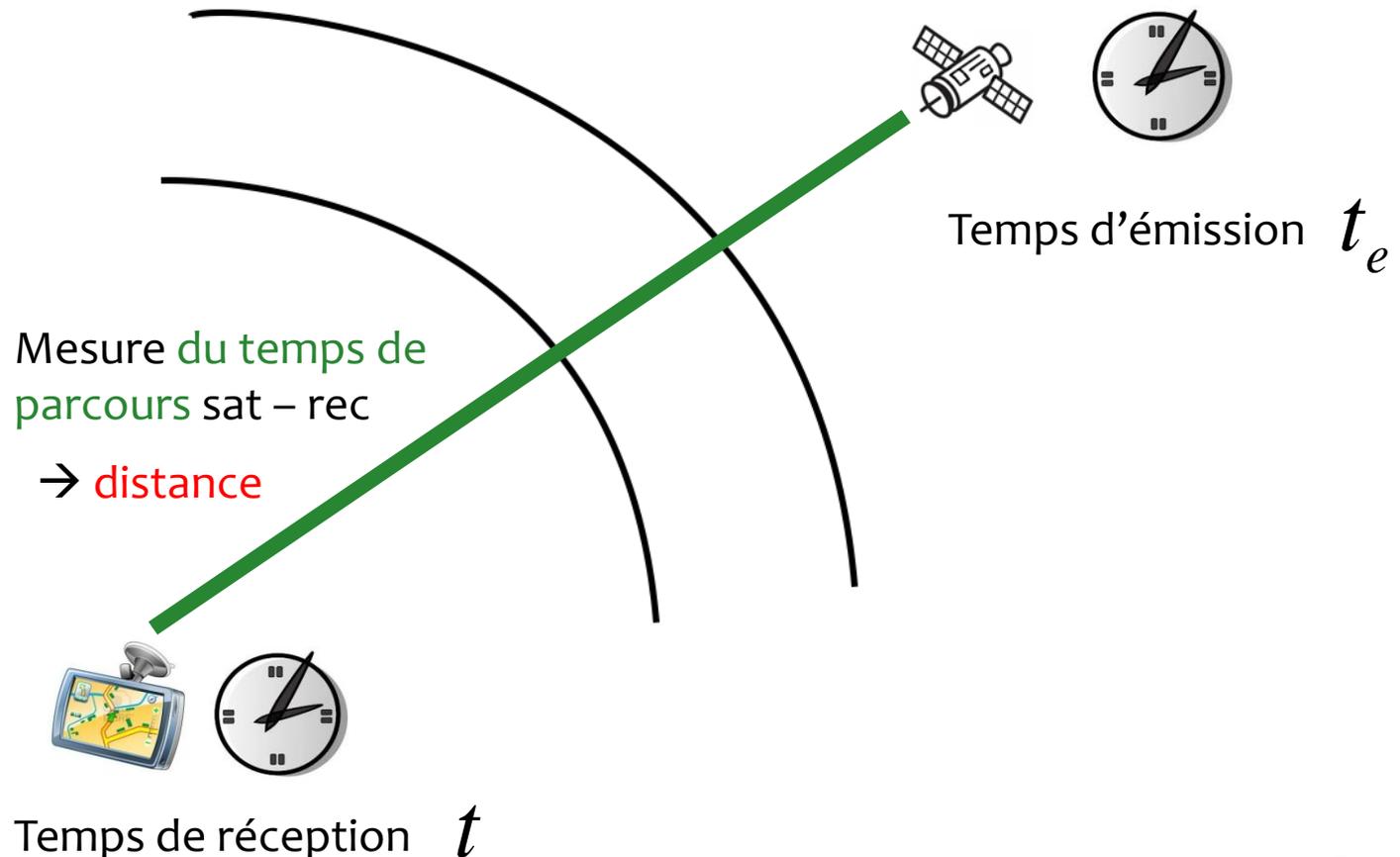
Positionnement absolu
Principes et sources d'erreurs

Positionnement RTK
Utilité des corrections réseau

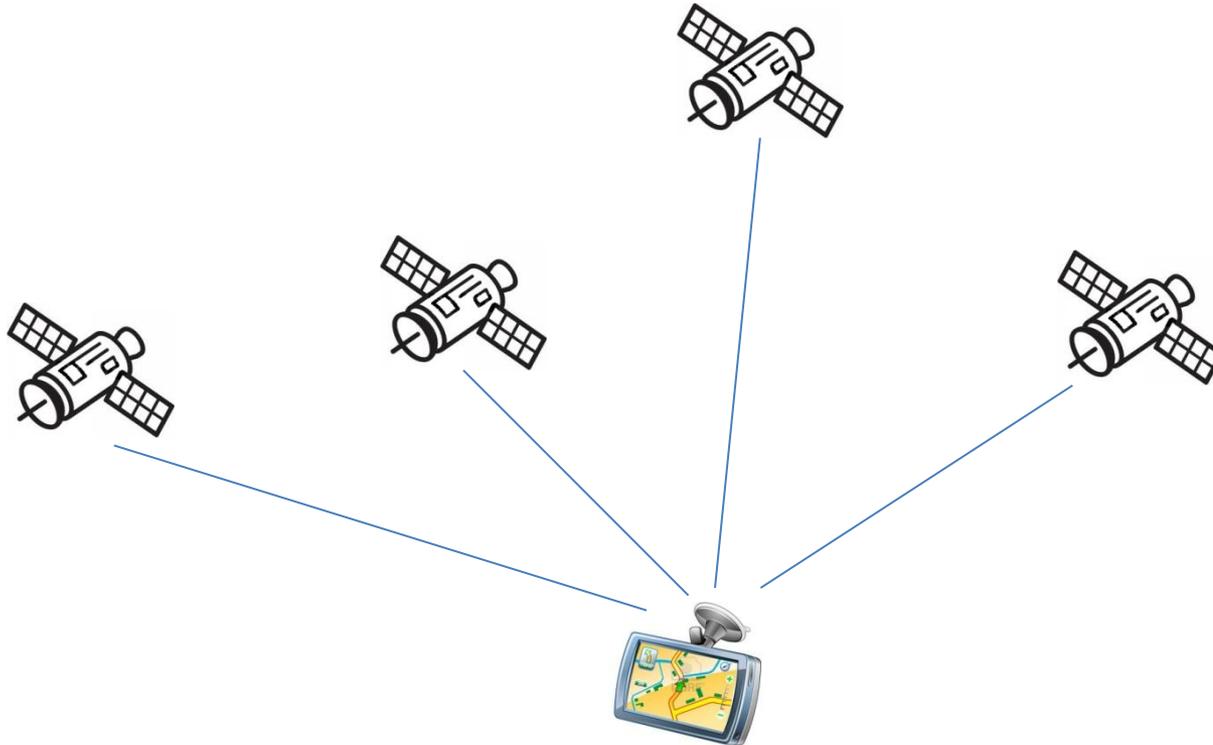
Limiter l'impact
Guide de bonne pratique

Le cas belge
Lb72, Lb08 et DNG

La mesure de position par GNSS requiert la mesure de **distances entre le récepteur et plusieurs satellites**



Le positionnement **absolu** ne nécessite qu'un récepteur GNSS et propose une précision métrique



XYZT

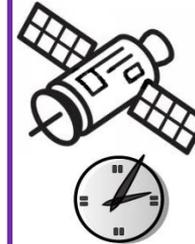
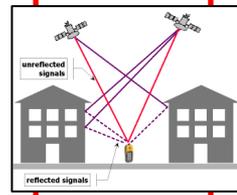
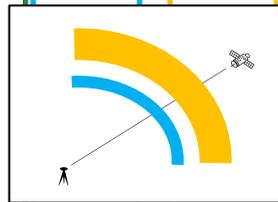
4 inconnues → 4 satellites minimum

Ellipsoïde de référence : **WGS84**

Equations d'observation pour les mesures de codes et phases

Codes

$$P_{p,k}^i(t) = D_p^i + T_p^i + I_{p,k}^i + M_{p,k,m}^i + c \Delta t^i(t_e) - \Delta t_p(t)$$



Phases

$$\Phi_{p,k}^i(t) = D_p^i + T_p^i - I_{p,k}^i + M_{p,k,\phi}^i + c \Delta t^i(t_e) - \Delta t_p(t) + \lambda_k N_{p,k}^i$$

erreurs

La traversée de l'**atmosphère** retarde les signaux GNSS

■ Effet **troposphérique**

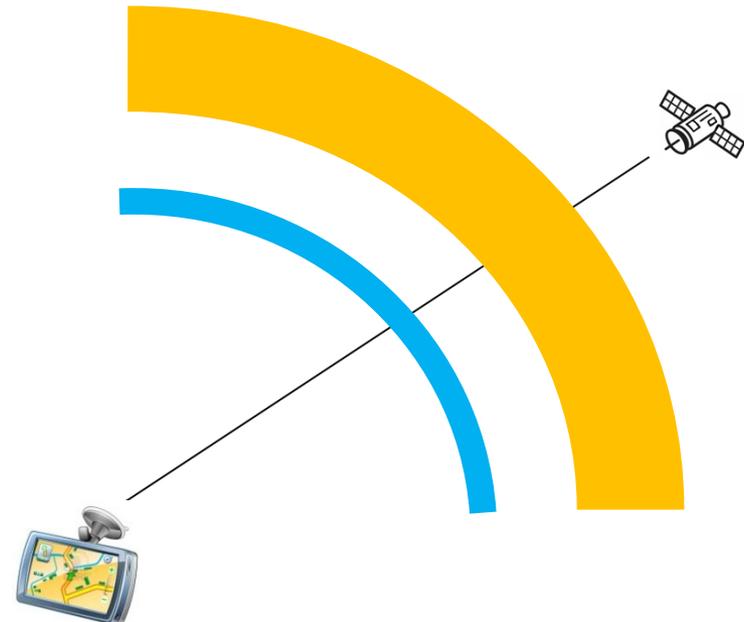
Traversée de l'atmosphère neutre
(0 – 30 km)

Délai $\approx 2,4$ m

■ Effet **ionosphérique**

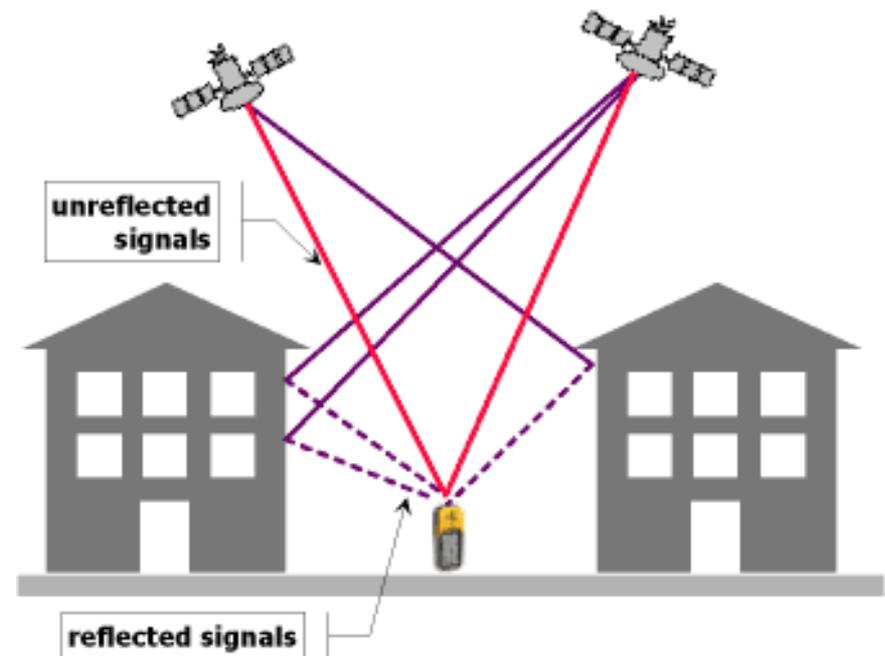
Traversée de l'atmosphère ionisée
(80 – 1000 km)

Délai très variable : 1 – 50 m

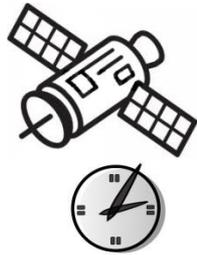


Le **multi-trajets** est un effet lié à l'environnement autour du récepteur

- Un ou plusieurs signaux réfléchis atteignent l'antenne en même temps que le signal direct
- Codes : ≈ 1 m
Phases : 1 – 5 cm



Les horloges des satellites et du récepteur ne sont pas **synchronisées** avec le temps officiel GPS



$$t_e = t_{e,GPS} + \Delta t^i(t_e)$$

Modèle de dérive d'horloge → précision **1 – 2 m**



$$t = t_{r,GPS} + \Delta t_p(t)$$

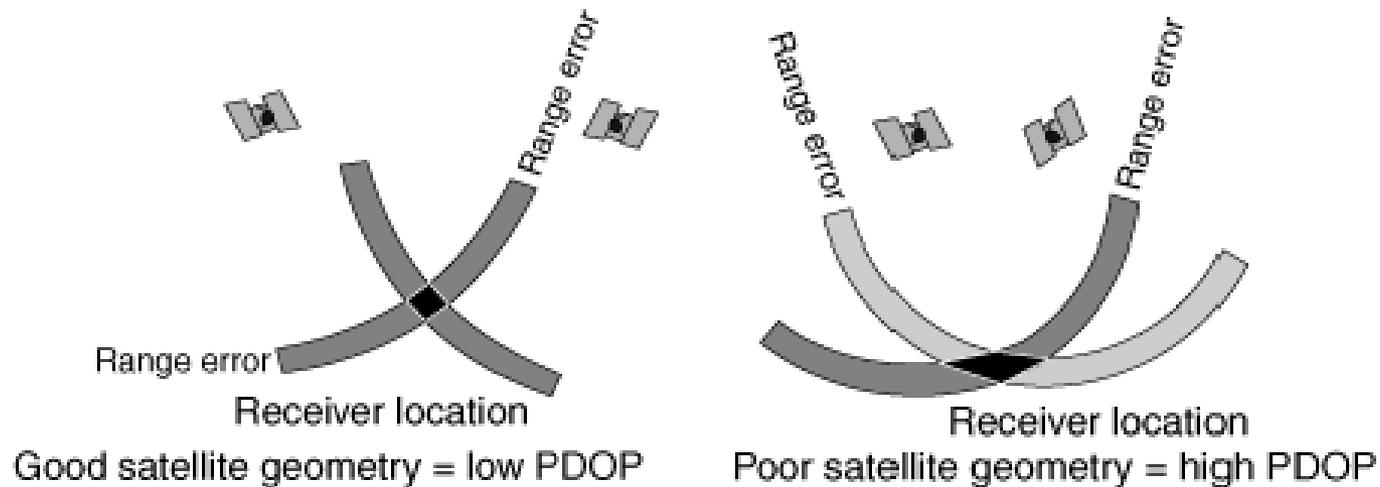
Horloge récepteur de mauvaise qualité

- plusieurs dizaines (centaines) de mètres
- considérée comme une **inconnue** du système

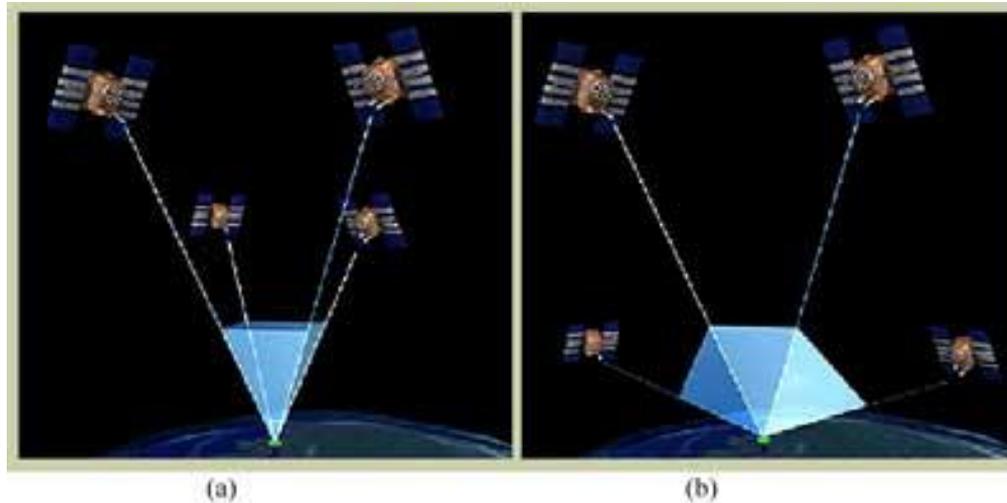
Contribution des différentes sources d'erreur

Source d'erreur	
<u>Satellite</u> - orbite - horloge	1 – 2 m 1 – 2 m
<u>Propagation du signal</u> - ionosphère (modèle, meilleur cas) - ionosphère (modèle, moyen) - ionosphère (modèle, pire cas) - troposphère (modèle) - multi-trajets code - multi-trajets phase	1 – 2 m 5 – 10 m 10 – 50 m dm 1 – 2 m 1 – 5 cm
<u>Récepteur</u> - bruit mesure code - bruit mesure phase	0.2 – 1 m 0.2 – 2 mm

La **géométrie de la constellation** est un facteur d'amplification des erreurs existantes



La **géométrie de la constellation** est un facteur d'amplification des erreurs existantes



$$\sigma_{\text{pos}} = \text{DOP} \sigma_{\text{obs}} \quad \text{DOP} \propto \frac{1}{V}$$

HDOP : précision de la position dans le plan horizontal

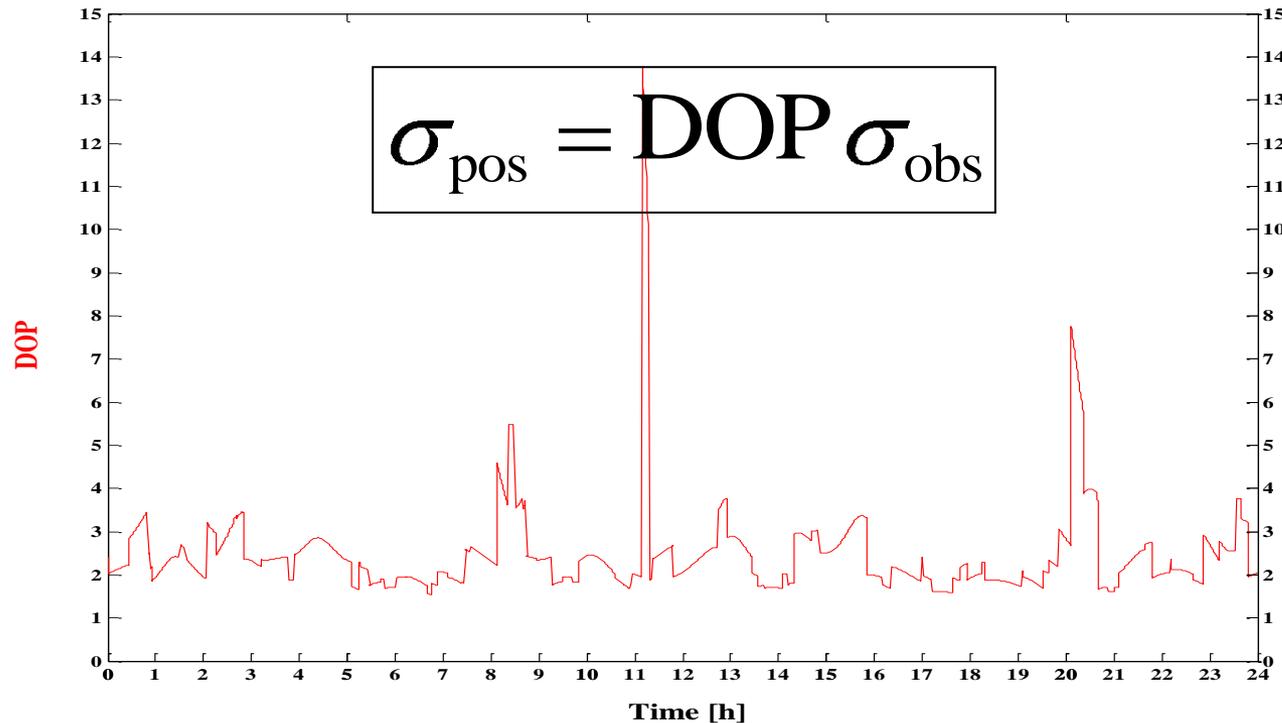
VDOP : précision de la position dans la direction verticale

PDOP : précision de la position en 3-D

GDOP : précision de la position et du temps

La géométrie de la constellation est un facteur d'amplification des erreurs existantes

ex : PDOP à Bruxelles



Si PDOP = 2,5 et $\sigma_{obs} = 5m$:

- $\sigma_{POS} = 12,5 m$ dans 68% des cas
- $\sigma_{POS} = 25 m$ dans 95% des cas

Positionnement absolu

Principes et sources d'erreurs

Positionnement RTK

Utilité des corrections réseau

Limiter l'impact

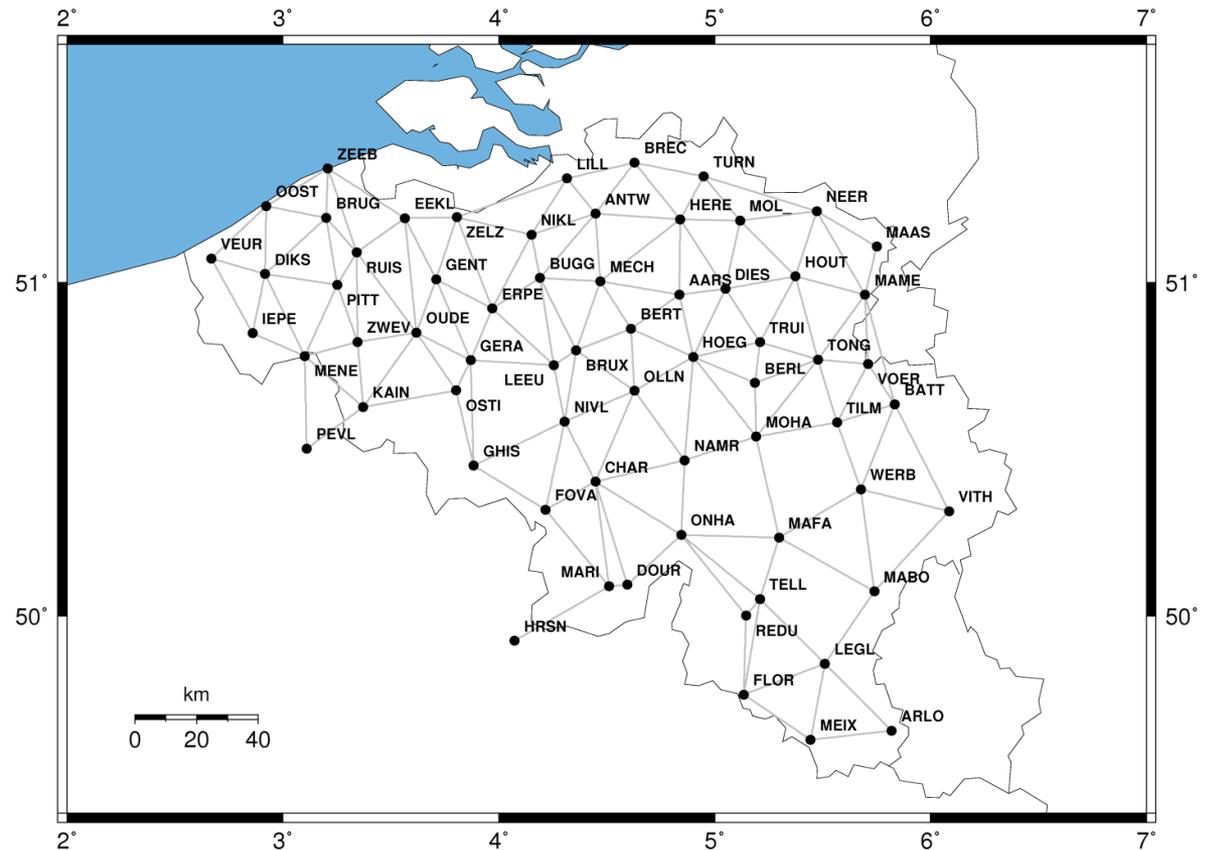
Guide de bonne pratique

Le cas belge

Lb72, Lb08 et DNG

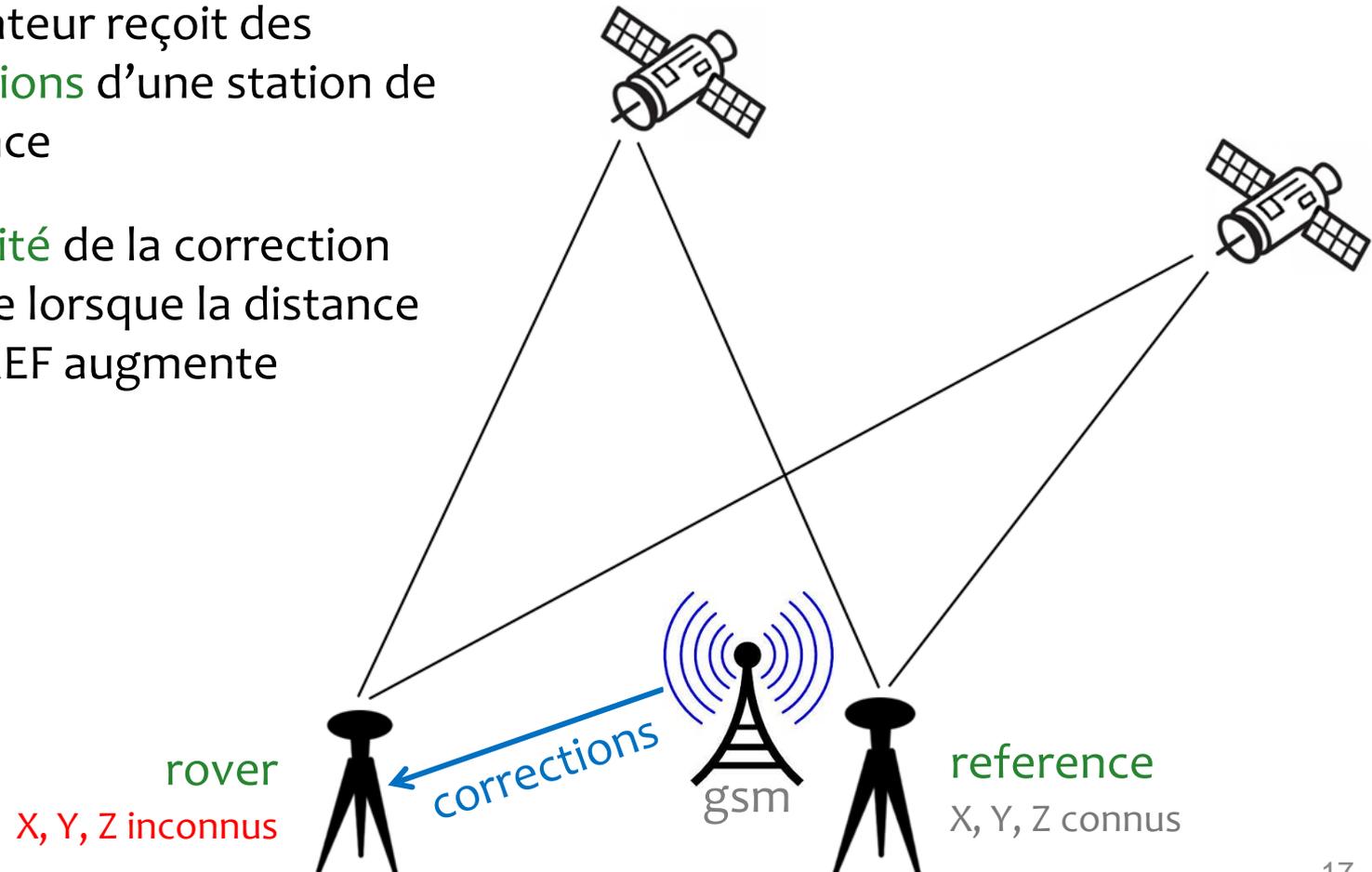
Pour le positionnement de haute précision, le mode **RTK** est d'application

Réseau de stations
de référence



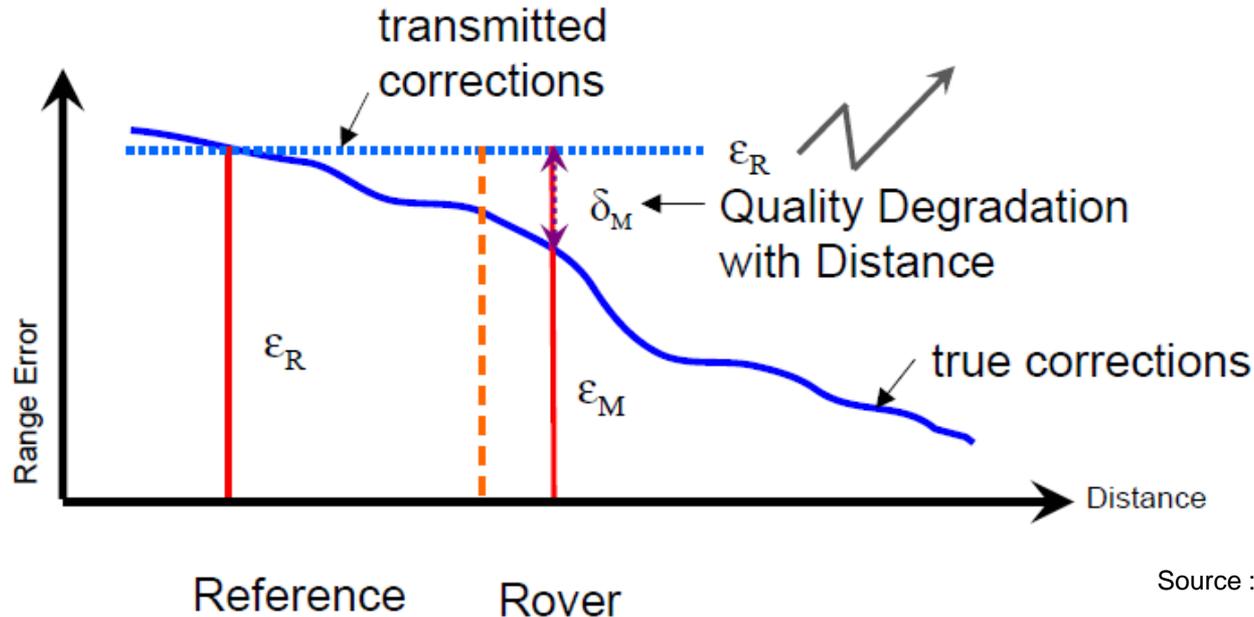
Le mode **différentiel** peut être considéré comme un cas particulier du positionnement absolu

- L'utilisateur reçoit des **corrections** d'une station de référence
- La **qualité** de la correction diminue lorsque la distance rover-REF augmente



En mode différentiel, l'utilisateur reçoit des **corrections** par liaison radio (GSM)

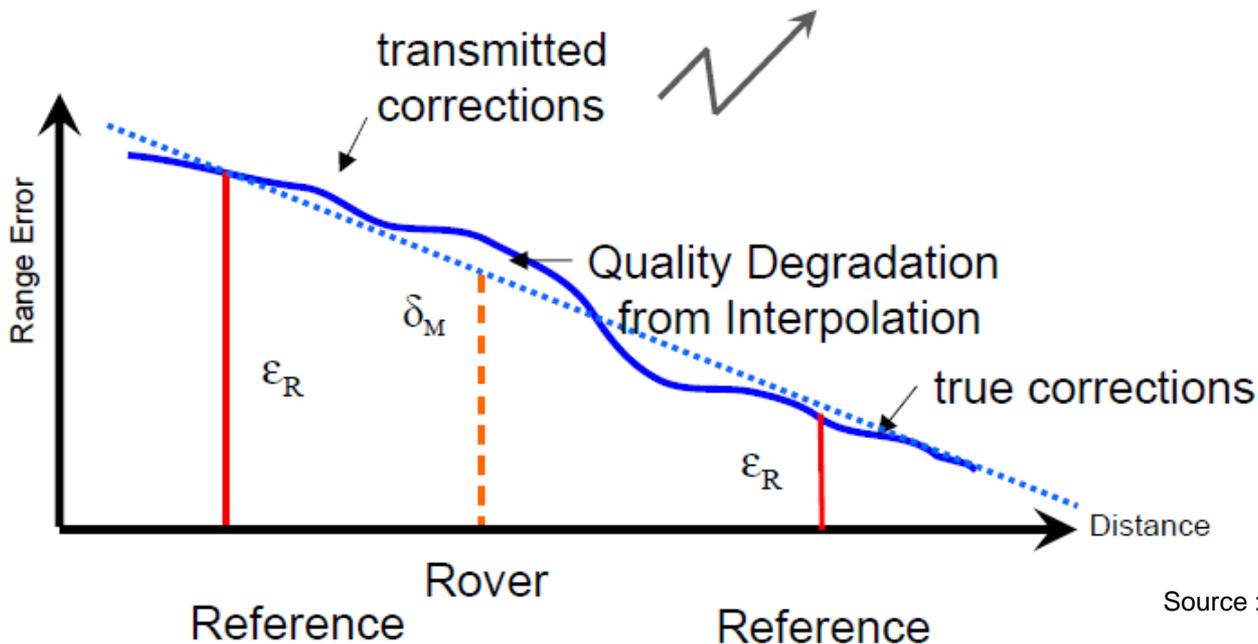
■ **SANS** paramètres de correction réseau (FKP, VRS, MAC)



L'erreur en un point dépend fortement de la distance par rapport à la station de référence

En mode différentiel, l'utilisateur reçoit des **corrections** par liaison radio (GSM)

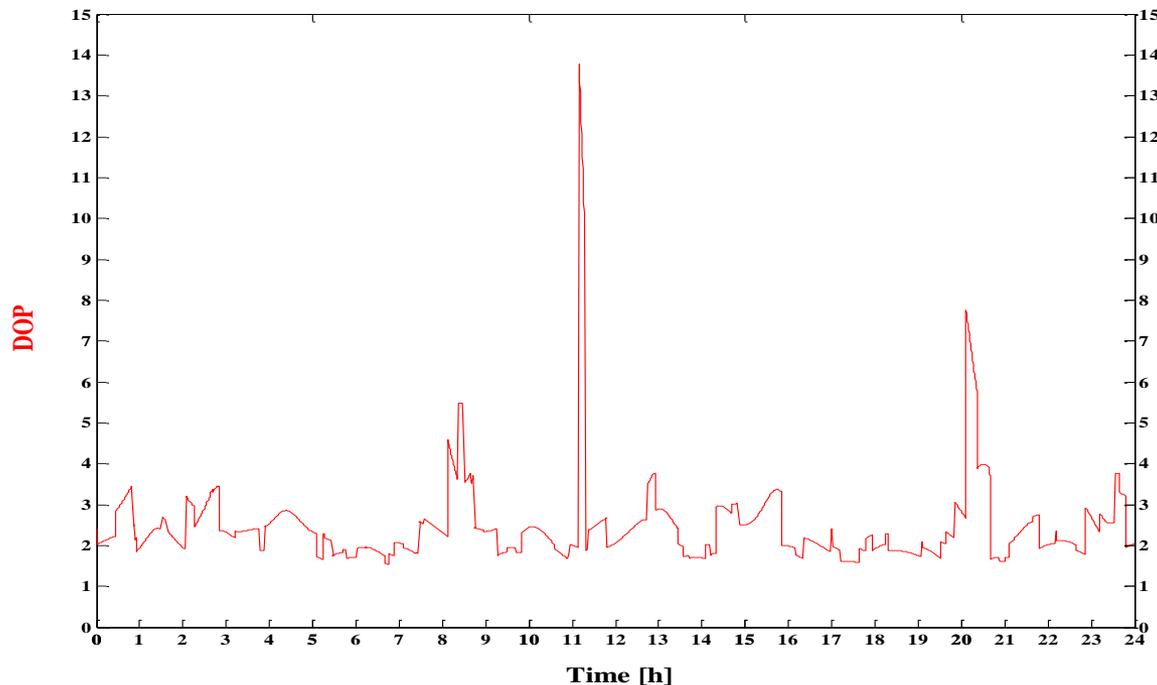
- **AVEC** paramètres de correction réseau (FKP, VRS, MAC)



L'erreur en un point est bornée en fonction de la séparation entre les différentes stations de référence

En RTK, la **géométrie** agit également comme un amplificateur de la précision des mesures

ex : PDOP à Bruxelles



Si PDOP = 2,5 et $\sigma_{\text{obs}} = 1\text{cm}$:

- $\sigma_{\text{POS}} = 2,5 \text{ cm}$ dans 68% des cas
- $\sigma_{\text{POS}} = 5 \text{ cm}$ dans 95% des cas

La précision de la mesure GPS-RTK dépend donc de quatre sources d'erreur

Erreurs atmosphériques
(principalement iono) + Multi-trajets + Bruit

× Géométrie de la constellation (DOP)



Comment limiter/contrôler leur impact sur la précision de la position?

Positionnement absolu

Principes et sources d'erreurs

Positionnement RTK

Utilité des corrections réseau

Limiter l'impact

Guide de bonne pratique

Le cas belge

Lb72, Lb08 et DNG

Limiter l'impact du bruit de mesure et de l'effet multi-trajets

■ Bruit de mesure

- Masque d'élévation (min 10 – 15)
- Récepteur récent
- Moyenner sur plusieurs époques

■ Muti-trajets

- Masque d'élévation (min 10 – 15)
- Ré-occupation (change configuration géométrique)
- Moyenner sur plusieurs époques
- Antenne de qualité (choke ring)

Limiter l'impact de l'ionosphère et de la géométrie

■ Ionosphère

- Limiter la distance entre référence et rover (réseau local?)
- Utiliser les corrections réseau
- Surveiller l'état de l'ionosphère (site web ULg : gnss-ulg.be)
- Allonger la durée des observations
- Ré-occupation

■ Géométrie

- Eliminer données pour lesquelles PDOP > seuil (3?)
- Ré-occupation
- Planifier sa campagne

Quelle précision pour le RTK?

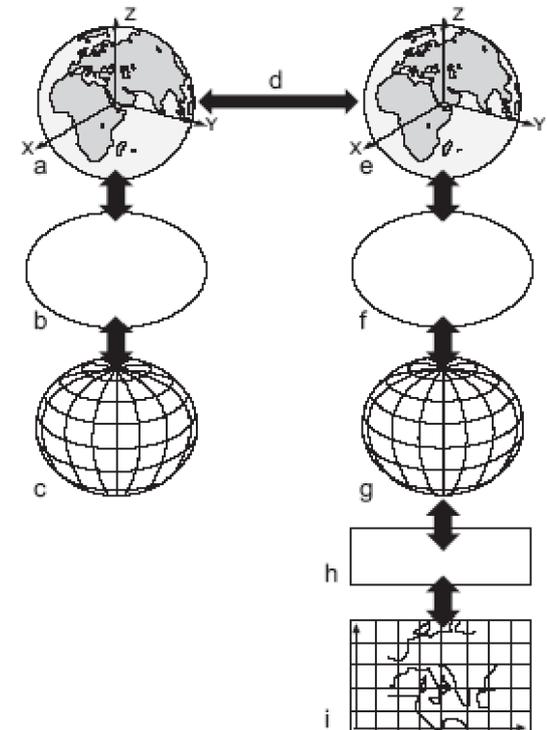
Annoncée : Horizontal : ~ 1 cm
Vertical : ~ 2 cm

$$\sigma_{3-D} \approx 2,5 \text{ cm}$$

- OK**
- si bonne pratique professionnelle (contrôle des erreurs)
 - si coordonnées dans un système GLOBAL (WGS84)



La transformation GLOBAL → LOCAL va introduire de nouvelles erreurs



Positionnement absolu

Principes et sources d'erreurs

Positionnement RTK

Utilité des corrections réseau

Limiter l'impact

Guide de bonne pratique

Le cas belge

Lb72, Lb08 et DNG

La planimétrie par GPS en Belgique

		Projection Lambert 1972	Projection Lambert 2008
Ellipsoïde	Identité	Hayford 1924	GRS80
	$\frac{1}{2}$ grand axe (a)	6.378.388,0 m	6.378.137,0 m
	Aplatissement (f)	1 / 297,0	1 / 298,257222101
Parallèles standards	ϕ_1	49° 50' 00" 00204 N	49° 50' N
	ϕ_2	51° 10' 00" 00204 N	51° 10' N
Origine	Latitude origine	90° N	50° 47' 52" 134 N
	Méridien central	4° 22' 02" 952 E	4° 21' 33" 177 E
Coordonnées de l'origine	x_0	150.000,013 m	649.328,0 m
	y_0	5.400.088,438 m	665.262,0 m

N.B. : En pratique, GRS80 est (quasi) identique à WGS84 (datum GPS)

La planimétrie par GPS en Belgique

Obtenir des coordonnées **Lb72** par levé GPS :

(X,Y,Z) WGS84

(X,Y,Z) BD72

(λ, φ) BD72

(x',y') Lb72

(x,y) Lb72



Transformation à 7 paramètres (précision 20cm)

Passage aux coordonnées géographiques

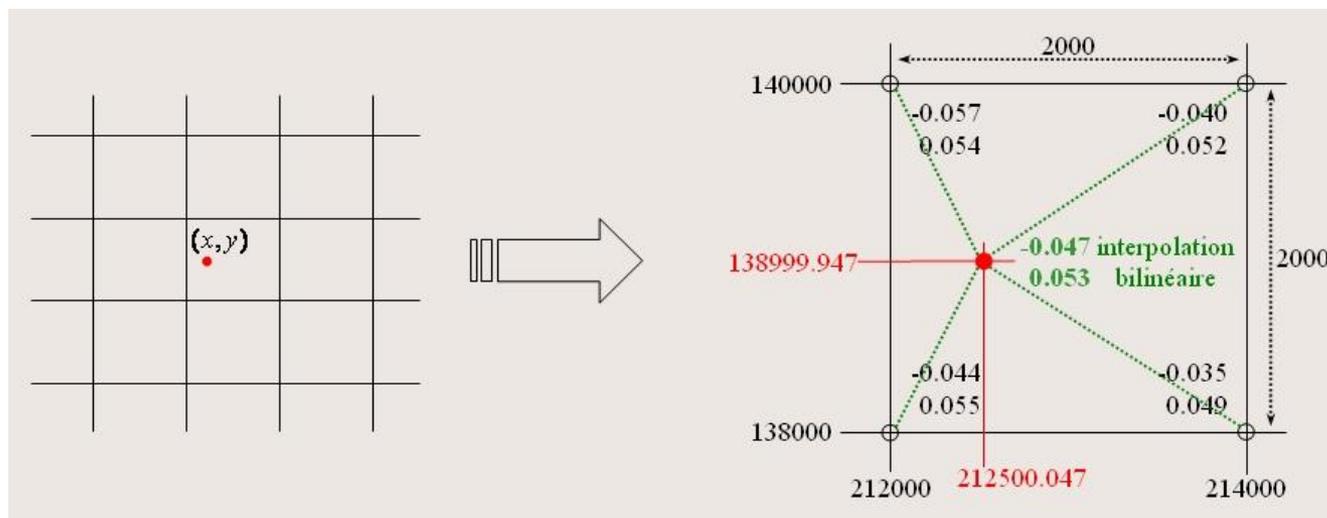
Projection Lambert belge 1972

Interpolation bilinéaire dans la grille de corrections planimétriques

La planimétrie par GPS en Belgique

L'ajout de corrections de coordonnées ΔX et ΔY « compense » en partie la perte de précision lors de la transformation entre les systèmes géodésiques WGS84 et BD72.

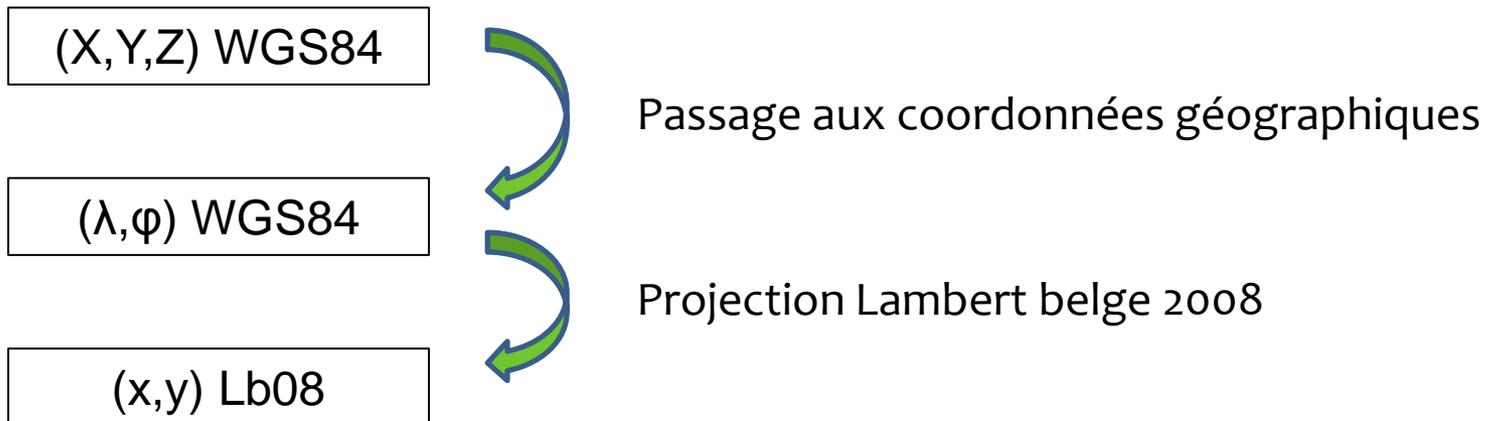
$\sigma = 1,2 \text{ cm}$



Grille généralement incluse dans les récepteurs GPS de topographie

La planimétrie par GPS en Belgique

Obtenir des coordonnées **Lb08** par levé GPS :



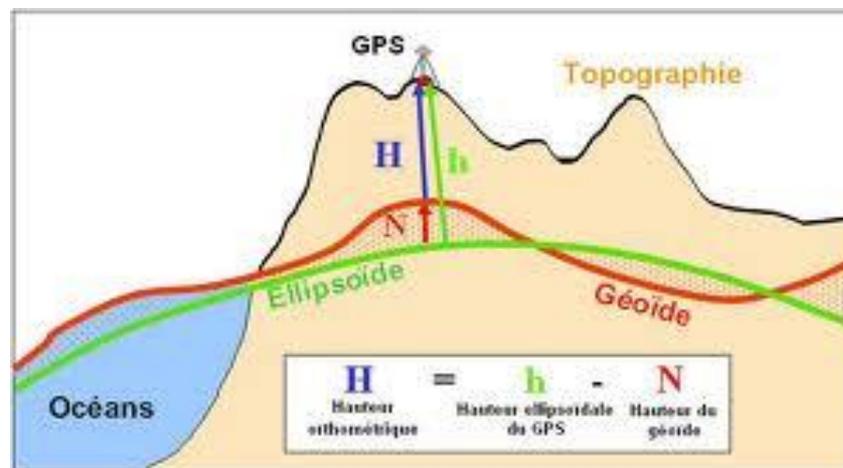
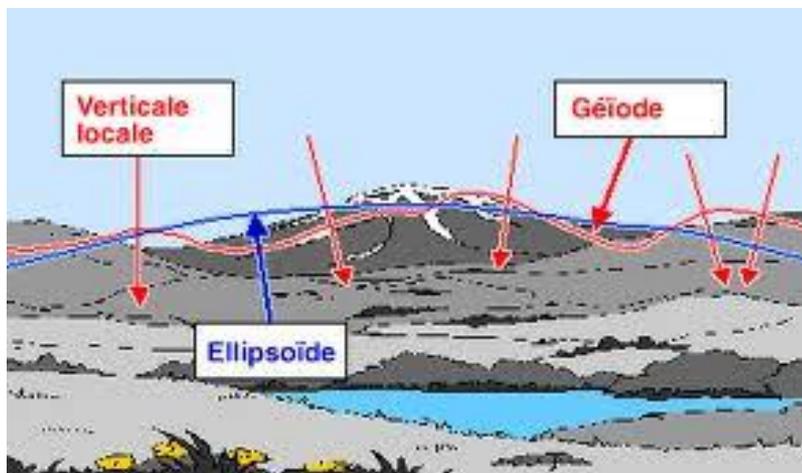
- Plus de changement de système géodésique
- Plus précis

L'altimétrie par GPS

- Références altimétriques :
- Hauteur ellipsoïdale h
 - Hauteur orthométrique (DNG*) H

⇒ Détermination de la hauteur du géoïde N

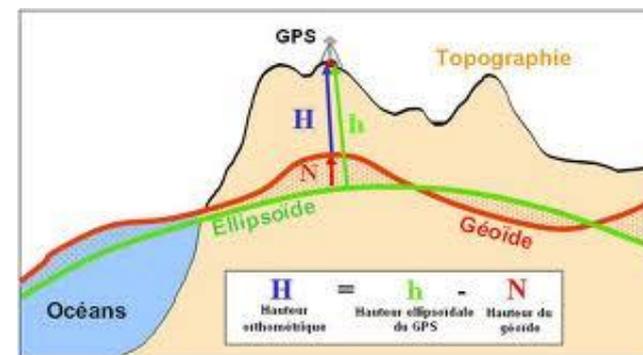
$$N = h - H$$



*DNG = Deuxième Nivellement Général

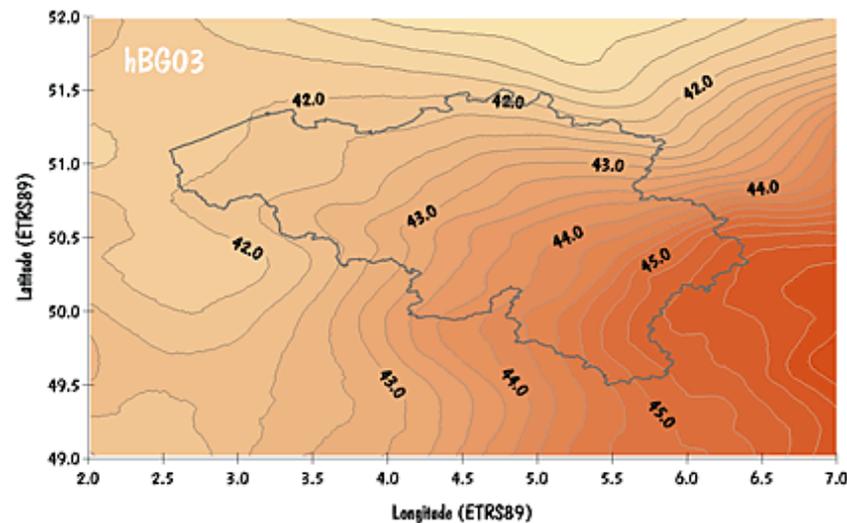
L'altimétrie par GPS

Plusieurs milliers de points altimétriques connus en H (par nivellement direct, DNG) et en h (par GPS, datum WGS84)



→ Modélisation de la hauteur géoïdale N dans une grille, appelée grille de correction altimétrique (hBG03).

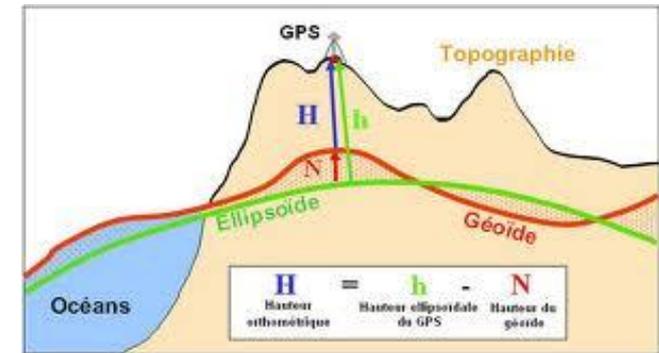
$$N = h - H$$



Source : IGN

L'altimétrie par GPS

Plusieurs milliers de points altimétriques connus en H (par nivellement direct, DNG) et en h (par GPS, datum WGS84)



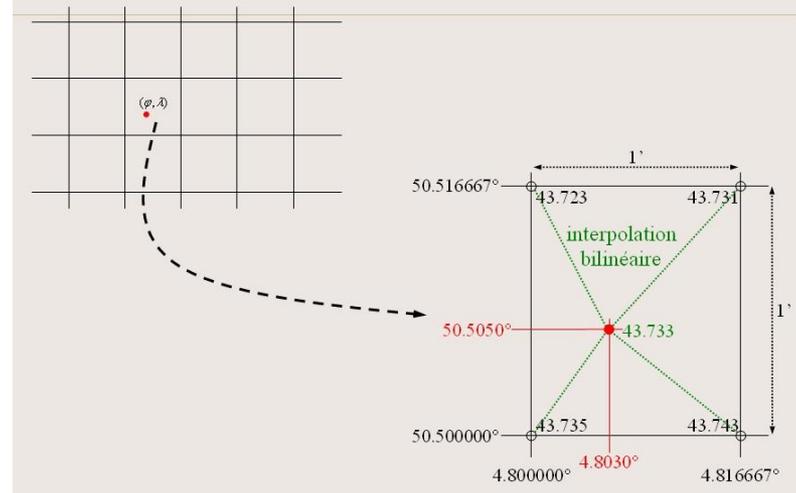
→ Modélisation de la hauteur géοïdale N dans une grille, appelée grille de correction altimétrique (hBG03).

→ N (et donc H_{DNG} par GPS) connu avec une précision de **2cm** (interpolation bilinéaire dans la grille).

$$\sigma = 2 \text{ cm}$$

➔ Nivellement par GPS proscrit !!

Calcul de la valeur de conversion sur hBG03



Merci!

La précision dans les mesures RTK

Gilles Wautelet

Unité de géomatique



Club d'utilisateurs du PICC & dix ans de Walcors
Wépion, le 6 décembre 2013

