

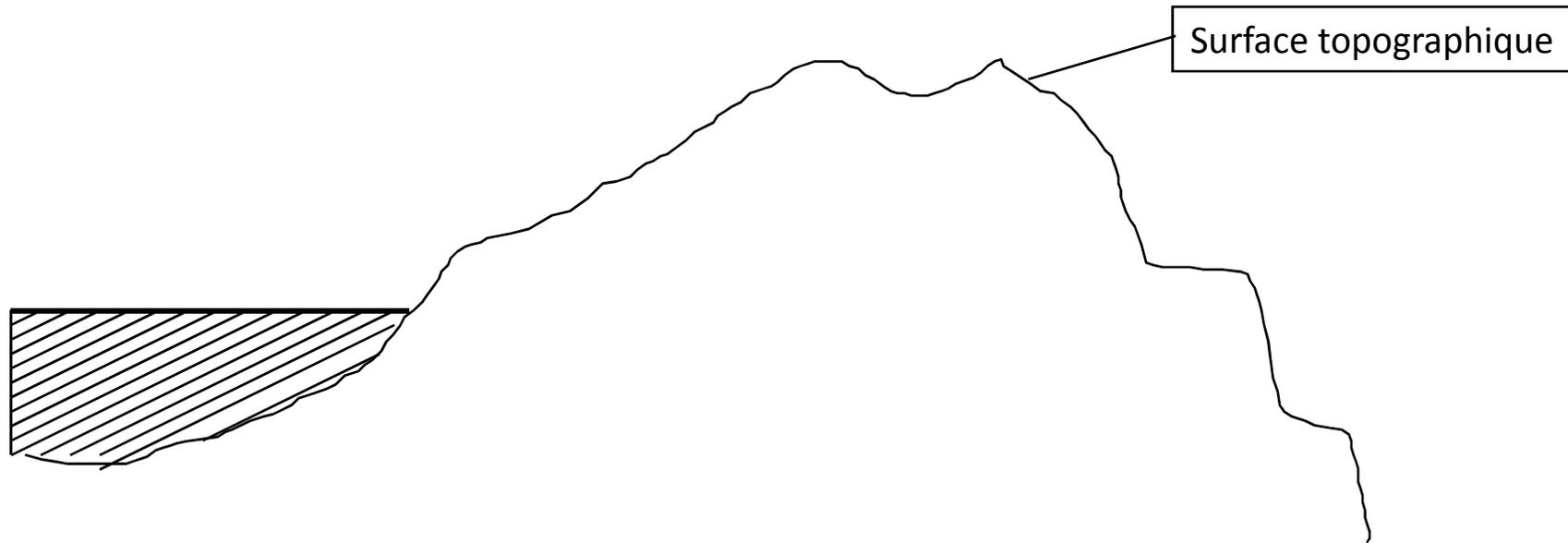
Systemes de référence et coordonnées

GPS

SURFACES DE REFERENCE

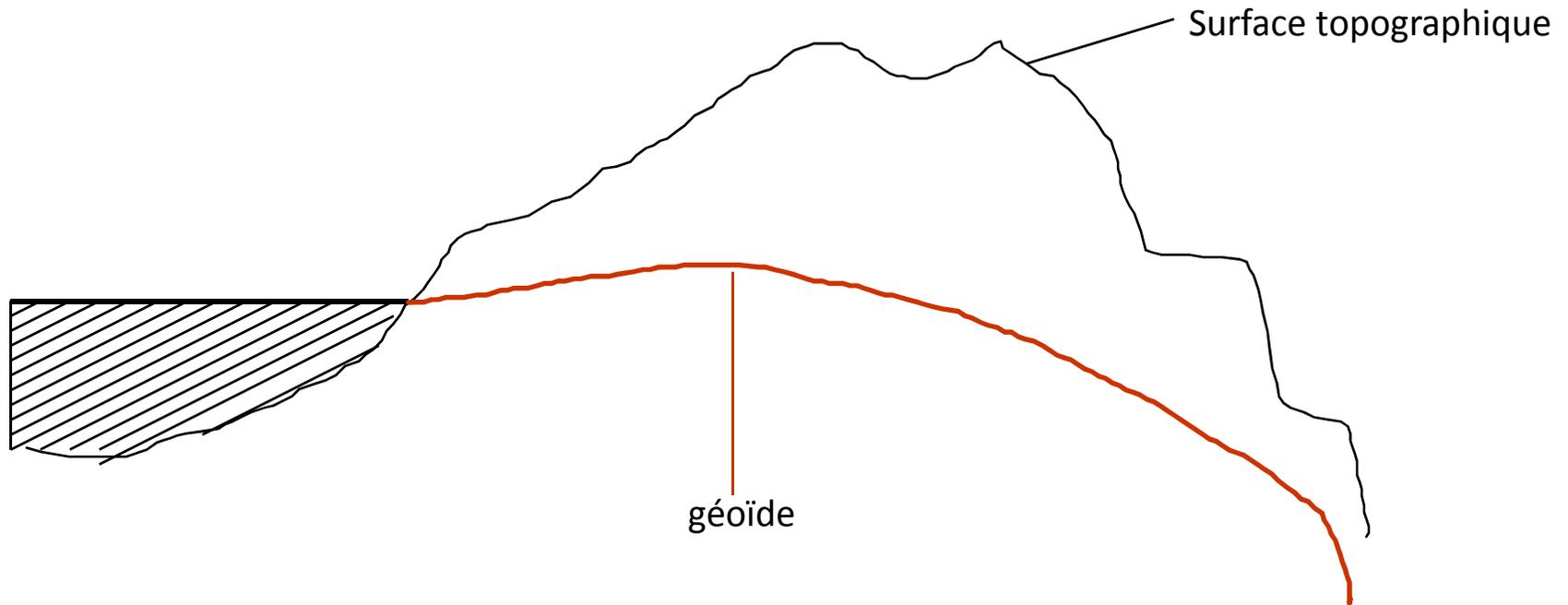
- Topographie et Topométrie décrivent la surface terrestre
- Topographie : représentation graphique d'un lieu (surface topographique)
- Topométrie : mesures effectuées sur la surface topographique

SURFACES DE REFERENCE



Surface Topographique ou surface terrestre :
la surface limite qui sépare la Terre solide de l'atmosphère
ou l'océan (-11000 m fosse océanique, +8800 m Himalaya)

SURFACES DE REFERENCE



SURFACES DE REFERENCE

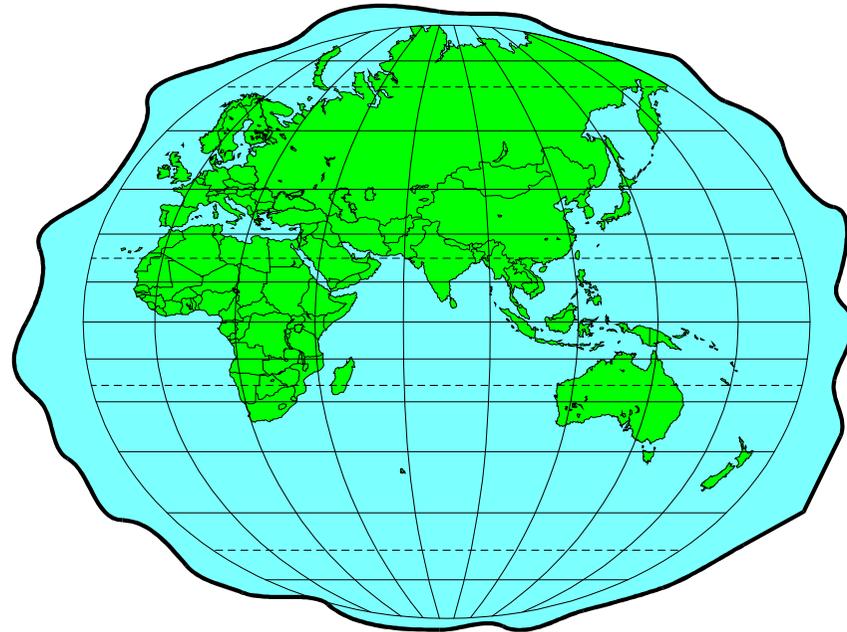
Le géoïde :

Surface équipotentielle du
champ de pesanteur
épousant au mieux le niveau
moyen des mers.

Pente faible

Relief = surface topographique - géoïde

Pas développable mathématiquement



SURFACES DE REFERENCE

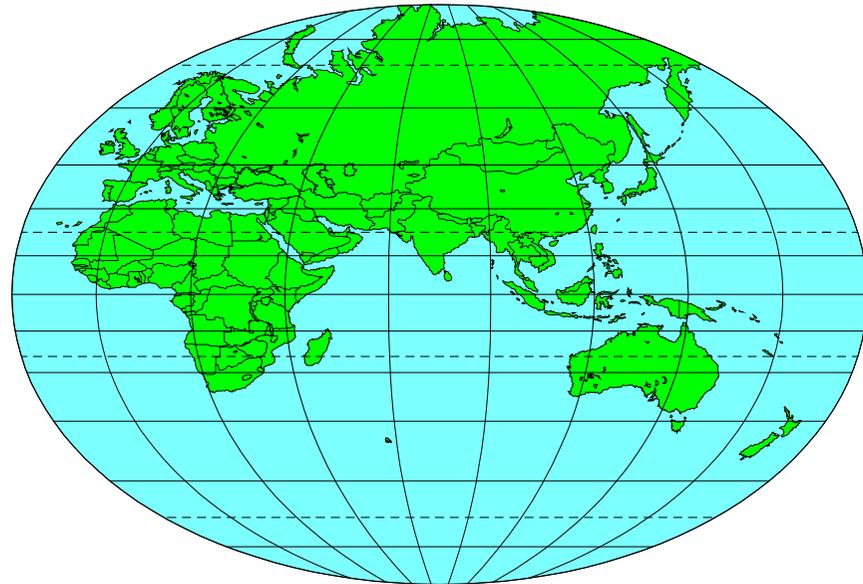
L' ellipsoïde :

Quelques ordres de grandeur

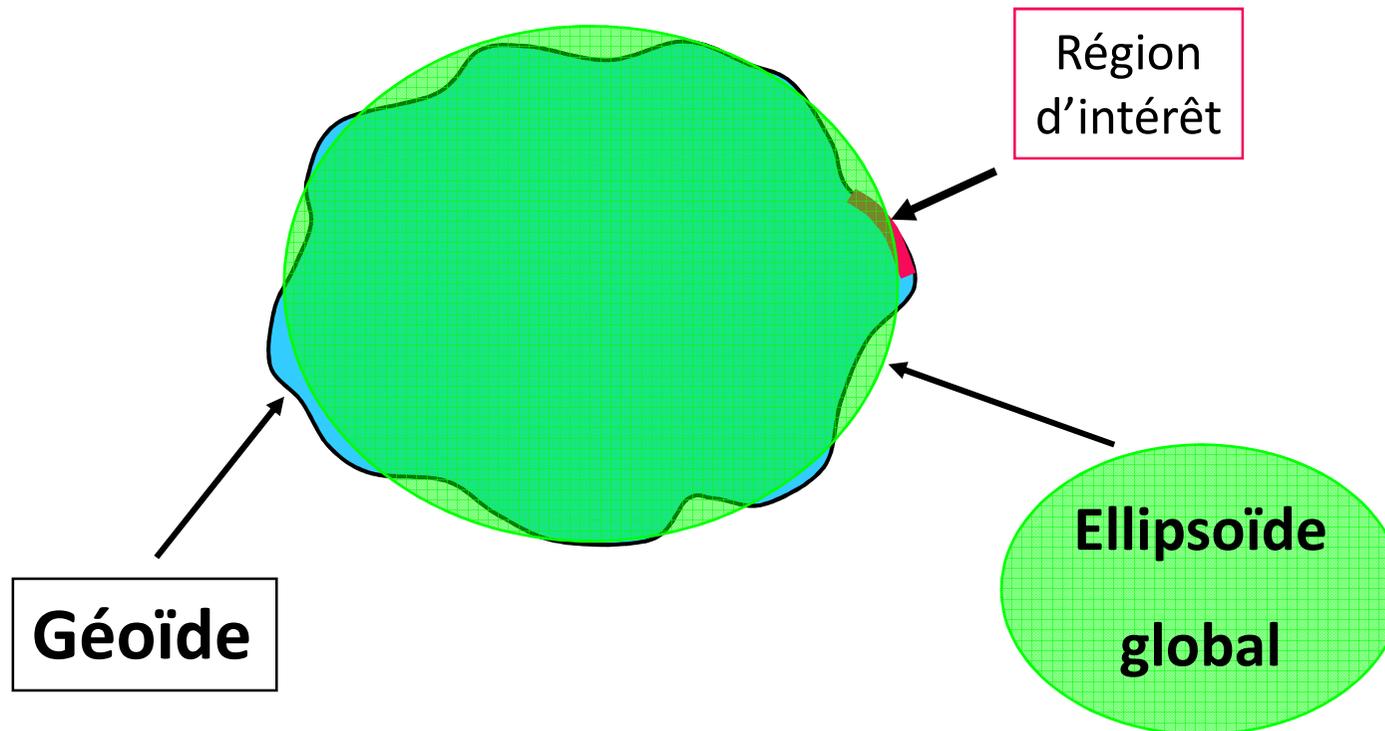
$a \cong 6378 \text{ km}$, $b \cong 6356 \text{ km}$

Aplatissement $f = 1/300$

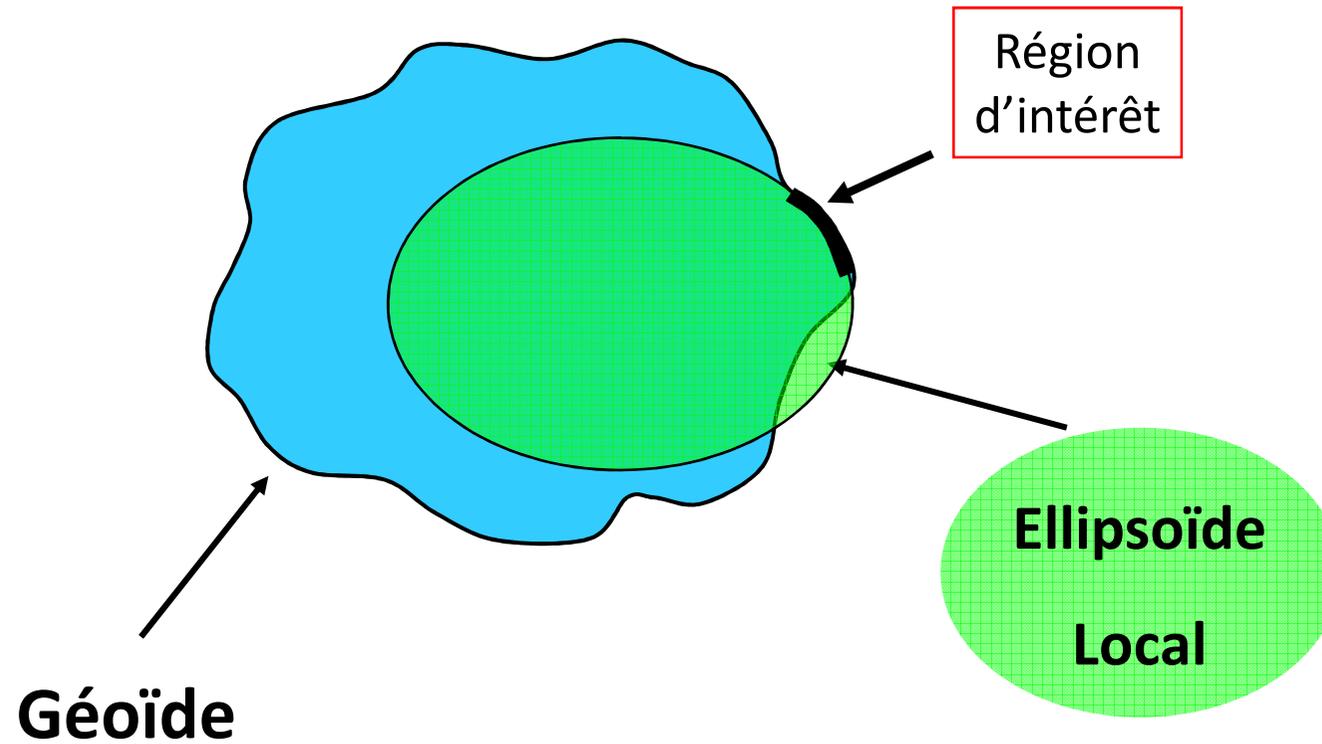
Excentricité $e = 0.08248.....$



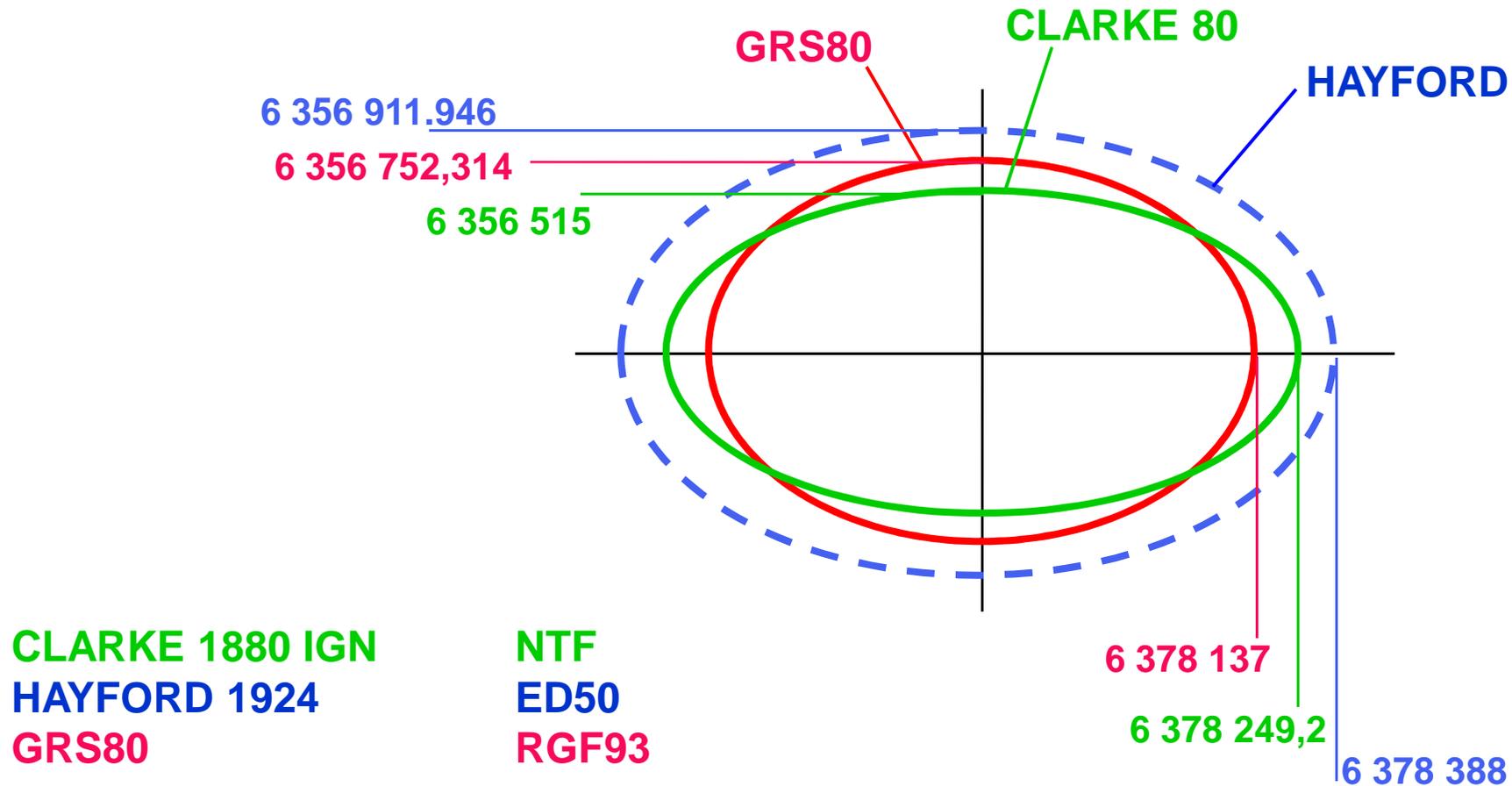
Systeme géodésique global



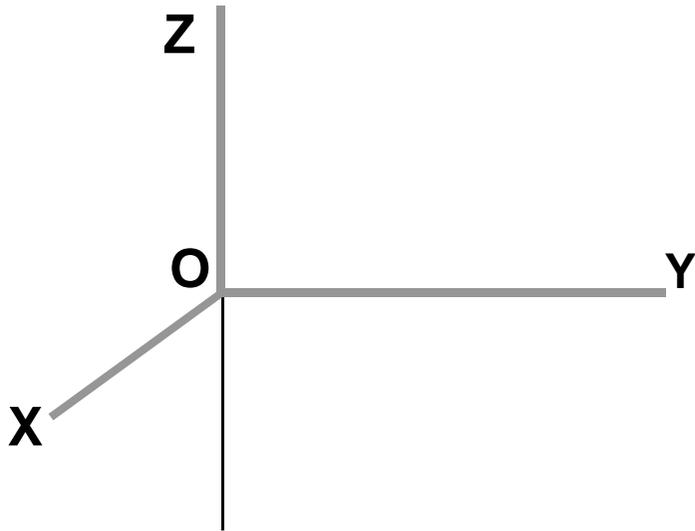
Systeme géodésique local



Les ellipsoïdes ont des dimensions différentes

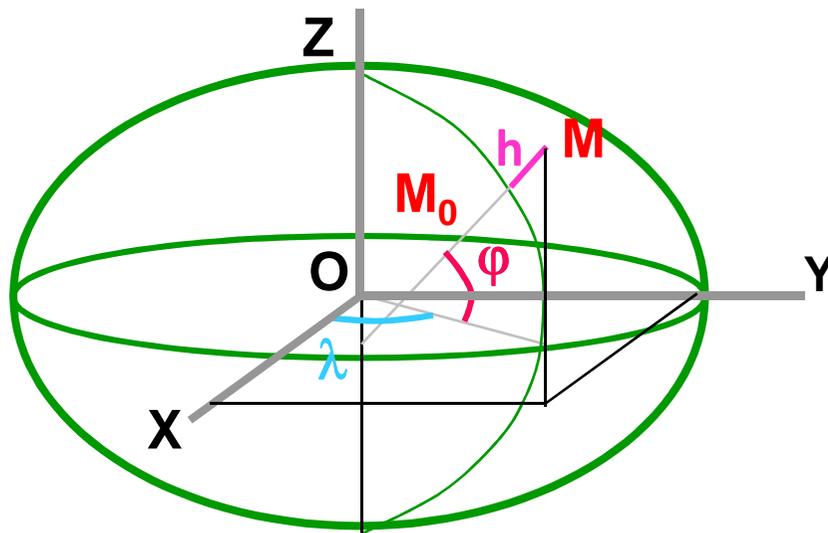


Coordonnées géographiques



Coordonnées géographiques

Le point **M** de la surface topographique est représenté par sa projection **M₀** sur l'ellipsoïde selon la normale à l'ellipsoïde



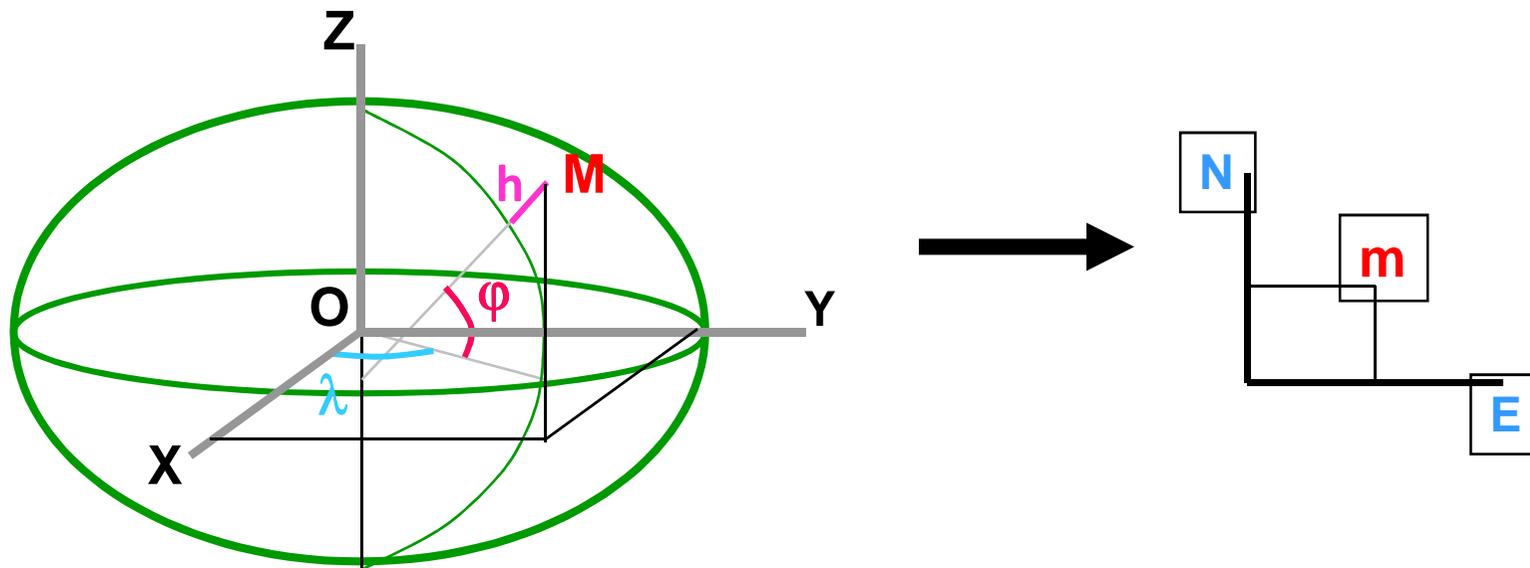
Latitude φ : angle entre la normale à l'ellipsoïde et l'équateur de l'ellipsoïde

Longitude λ : angle entre le méridien origine et le méridien du point

Hauteur ellipsoïdale h : distance entre le point M et l'ellipsoïde compté le long de l'ellipsoïde

Le Plan - La Carte

Image plane de l'ellipsoïde



Le Plan - La Carte

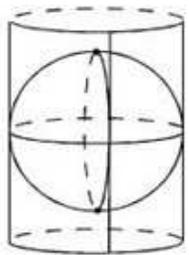
- Représentations planes : fonctions mathématiques permettant de passer des coordonnées géographiques (λ, ϕ) aux coordonnées planes (E, N)
- Représentations conformes : conservent les angles
- Représentations équivalentes : conservent les aires
- Module linéaire : $\mu = dS/ds$
- Altération linéaire : $\varepsilon = \mu - 1$

Les projections

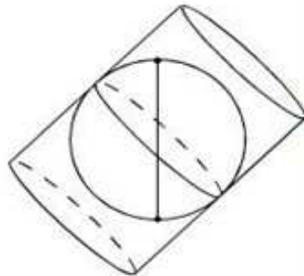
1 – 1 La projection cylindrique

La surface de projection est un cylindre tangent ou sécant au modèle de la Terre.

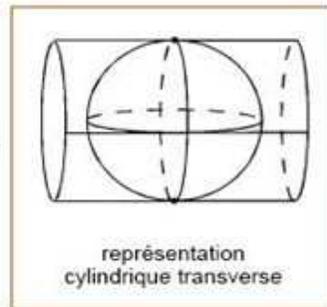
Les projections UTM, Gauss,... utilisent ce type de projection.



représentation cylindrique directe



représentation cylindrique oblique

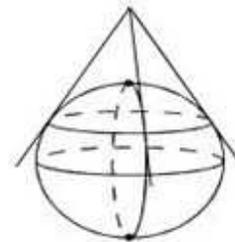


représentation cylindrique transverse

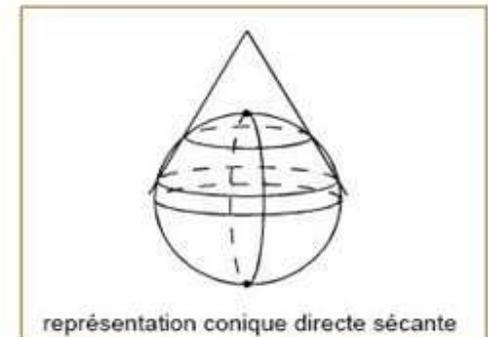
1 – 2 La projection conique

La surface de projection est un cône tangent ou sécant.

Les projections Lambert et Lambert-93 utilisent ce type de projection.



représentation conique directe tangente

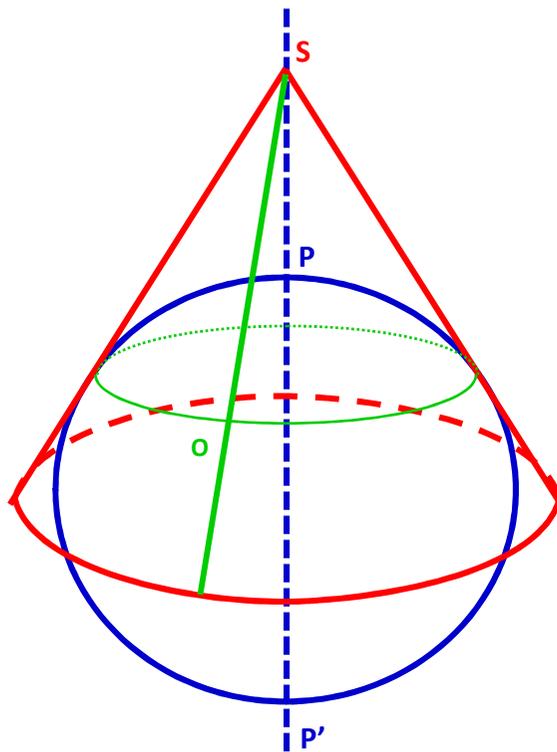


représentation conique directe sécante

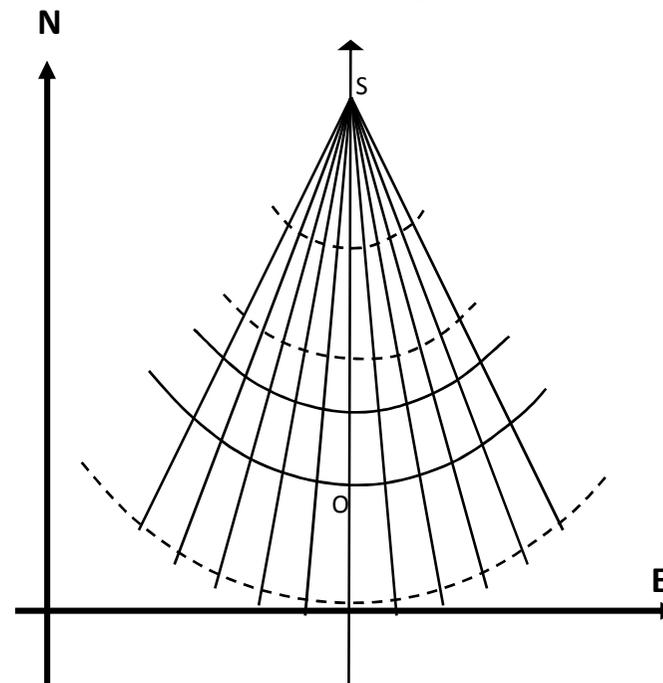
projection **conforme** : conserve localement les angles, donc les formes

La projection Lambert

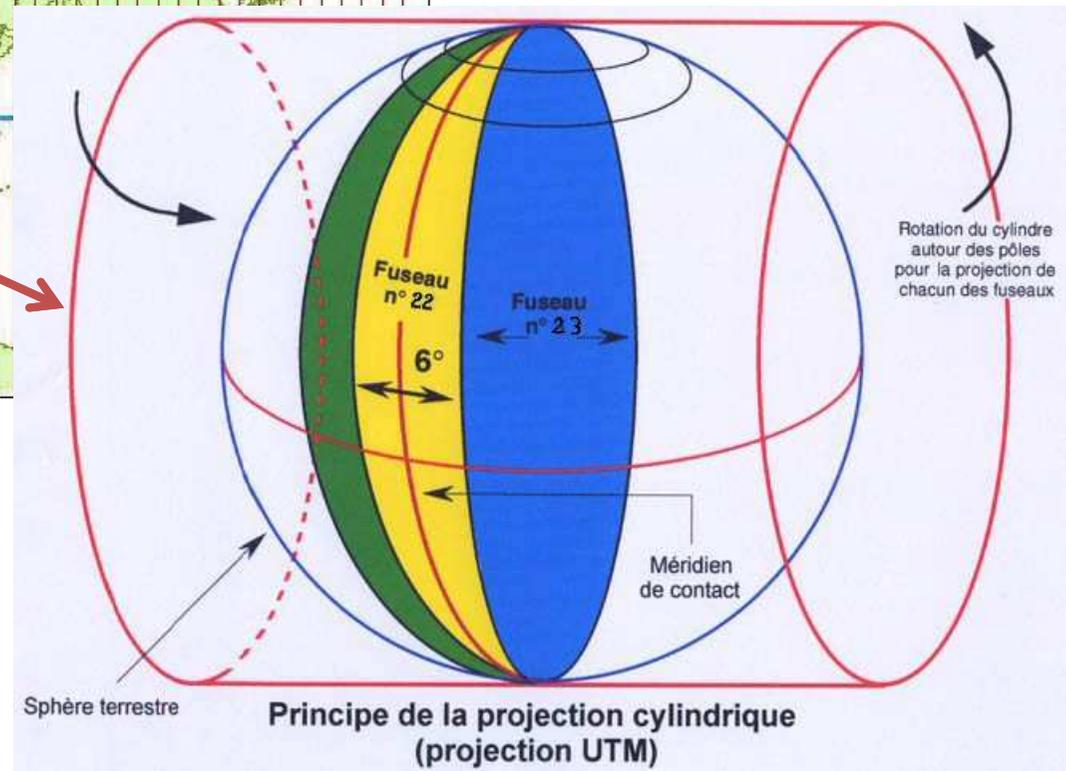
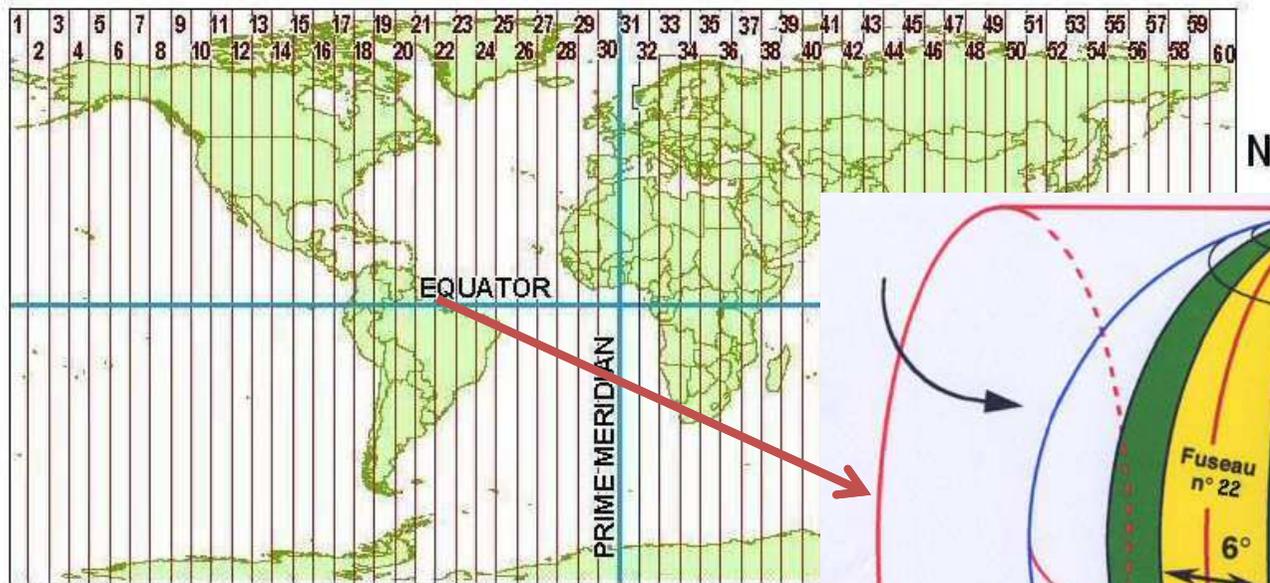
- Un ellipsoïde
- Axe de révolution PP'
- Représentation conique dont le sommet S se situe sur l'axe des pôles
- O le centre de la projection choisie



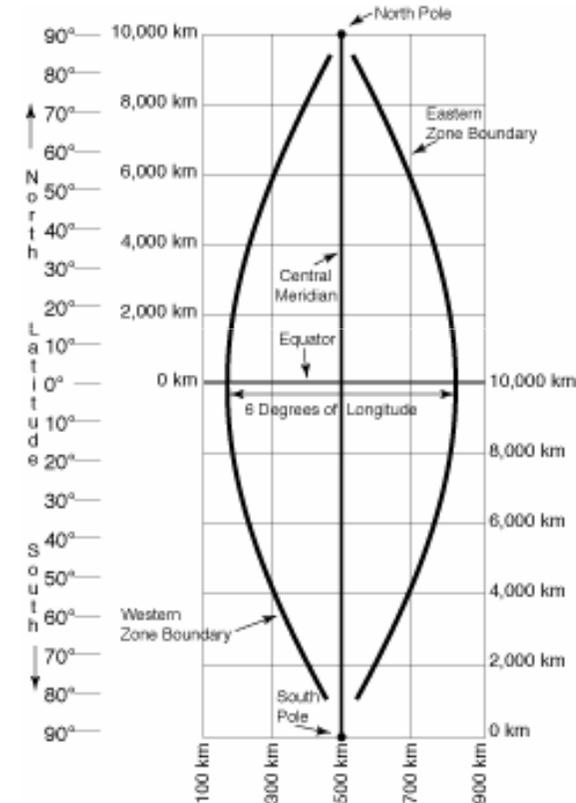
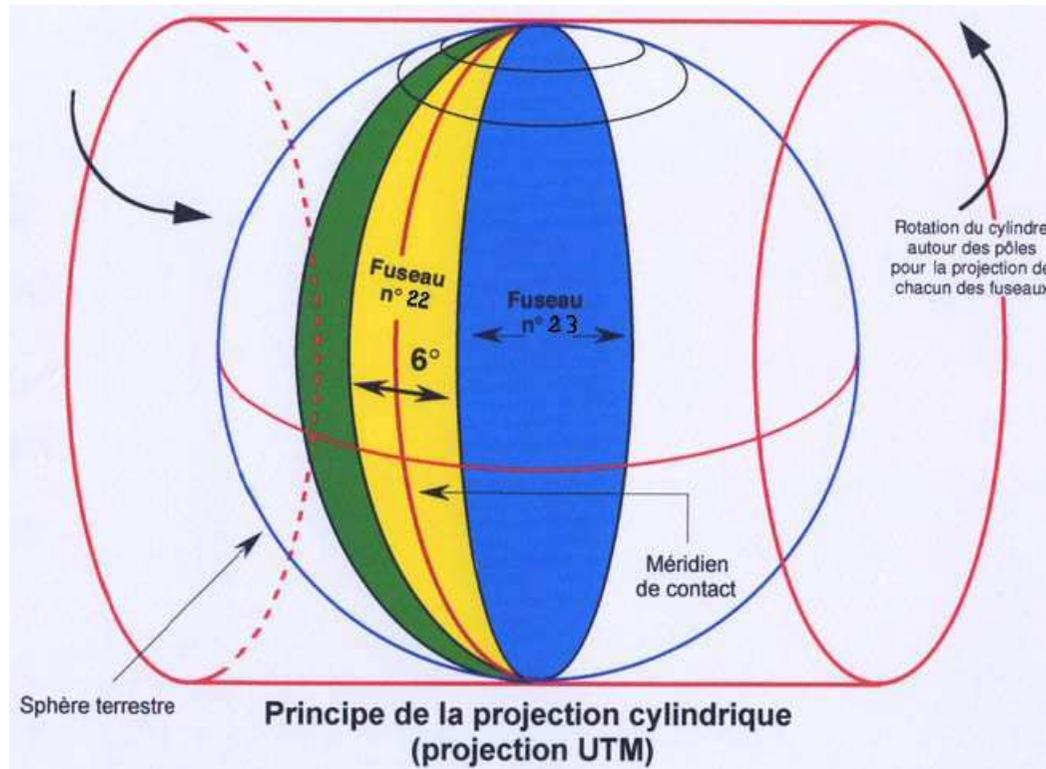
- On développe le cône le long de la génératrice SO



La projection UTM



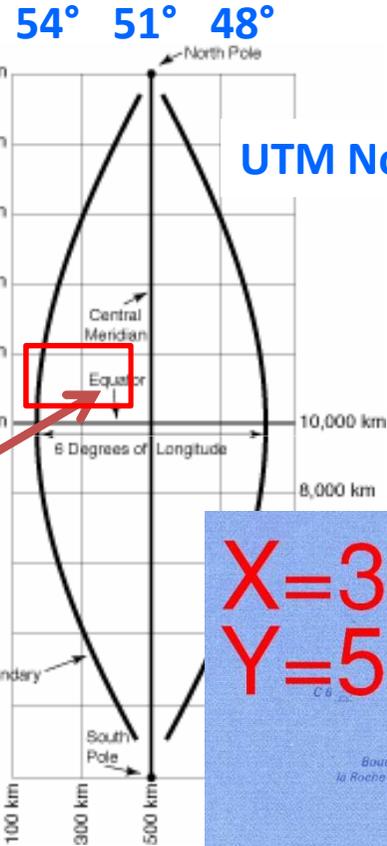
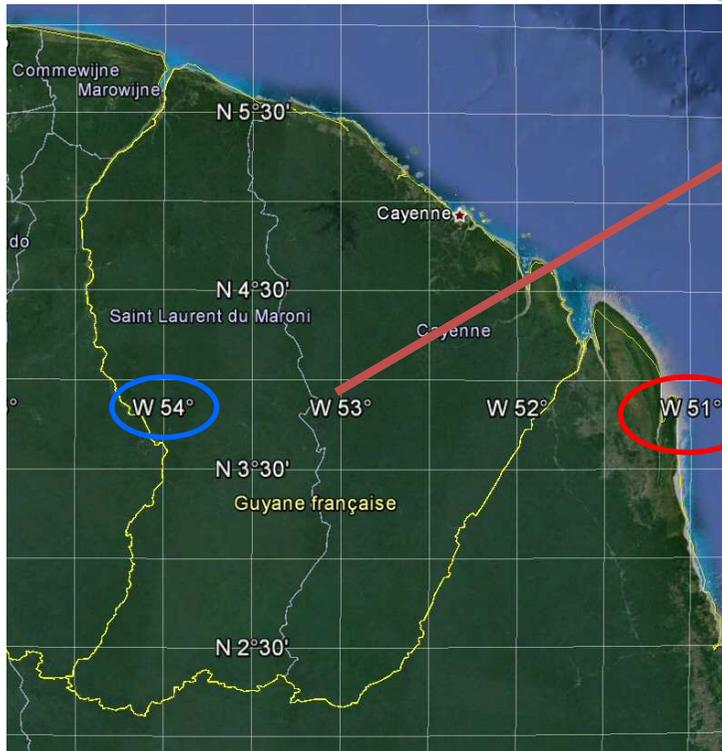
La projection UTM



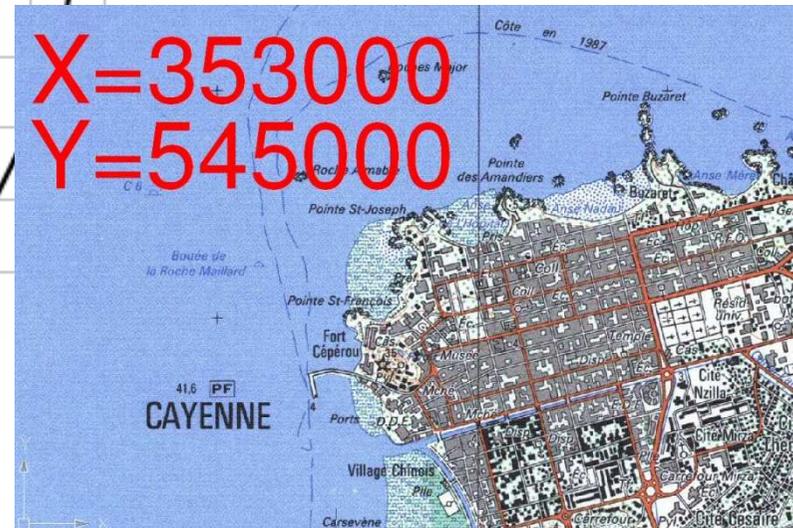
UTM Nord fuseau 22 : entre 48 et 54 degrés Ouest de Greenwich

UTM 22 Guyane

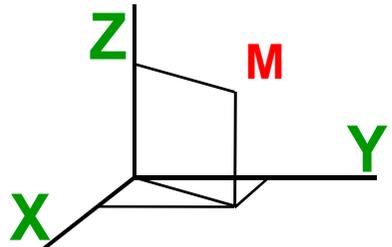
54°
 UTM 22 étendue
 Altération linéaire < 1m



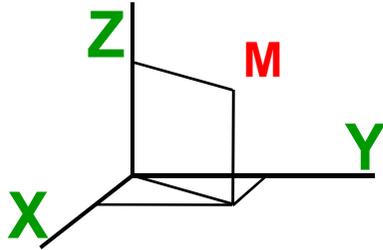
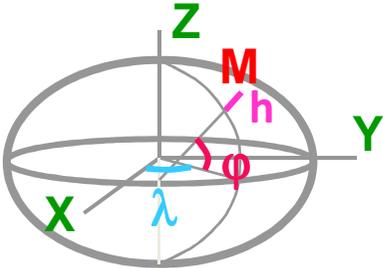
UTM Nord 22 : centré sur 51 degrés



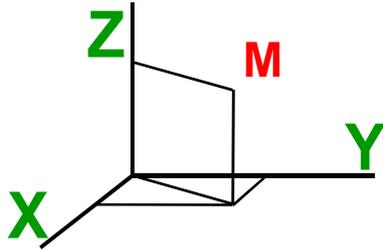
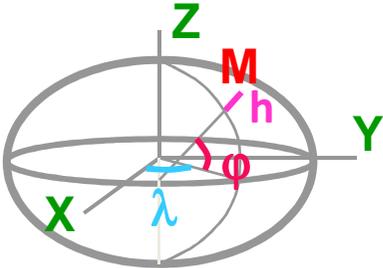
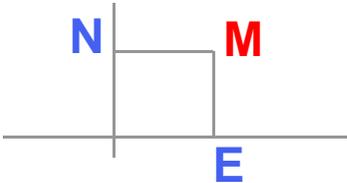
Coordonnées

<p><u>CARTESIENNES</u></p> <p>X, Y, Z</p>	 <p>A 3D coordinate system with three axes labeled X, Y, and Z in green. A point M is marked in red in the 3D space.</p>	<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p>

Coordonnées

<p><u>CARTESIENNES</u></p> <p>X, Y, Z</p>		<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p>
<p><u>GEOGRAPHIQUES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •Latitude : φ •Longitude : λ •Hauteur ellipsoïdale : h 		<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p> <p>* ELLIPSOIDE</p>

Coordonnées

<p><u>CARTESIENNES</u></p> <p>X, Y, Z</p>		<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p>
<p><u>GEOGRAPHIQUES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •Latitude : φ •Longitude : λ •Hauteur ellipsoïdale : h 		<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p> <p>* ELLIPSOIDE</p>
<p><u>PLANES</u></p> <p>E, N</p>		<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p> <p>* ELLIPSOIDE</p> <p>* REPRESENTATION PLANE</p>

Le contexte français

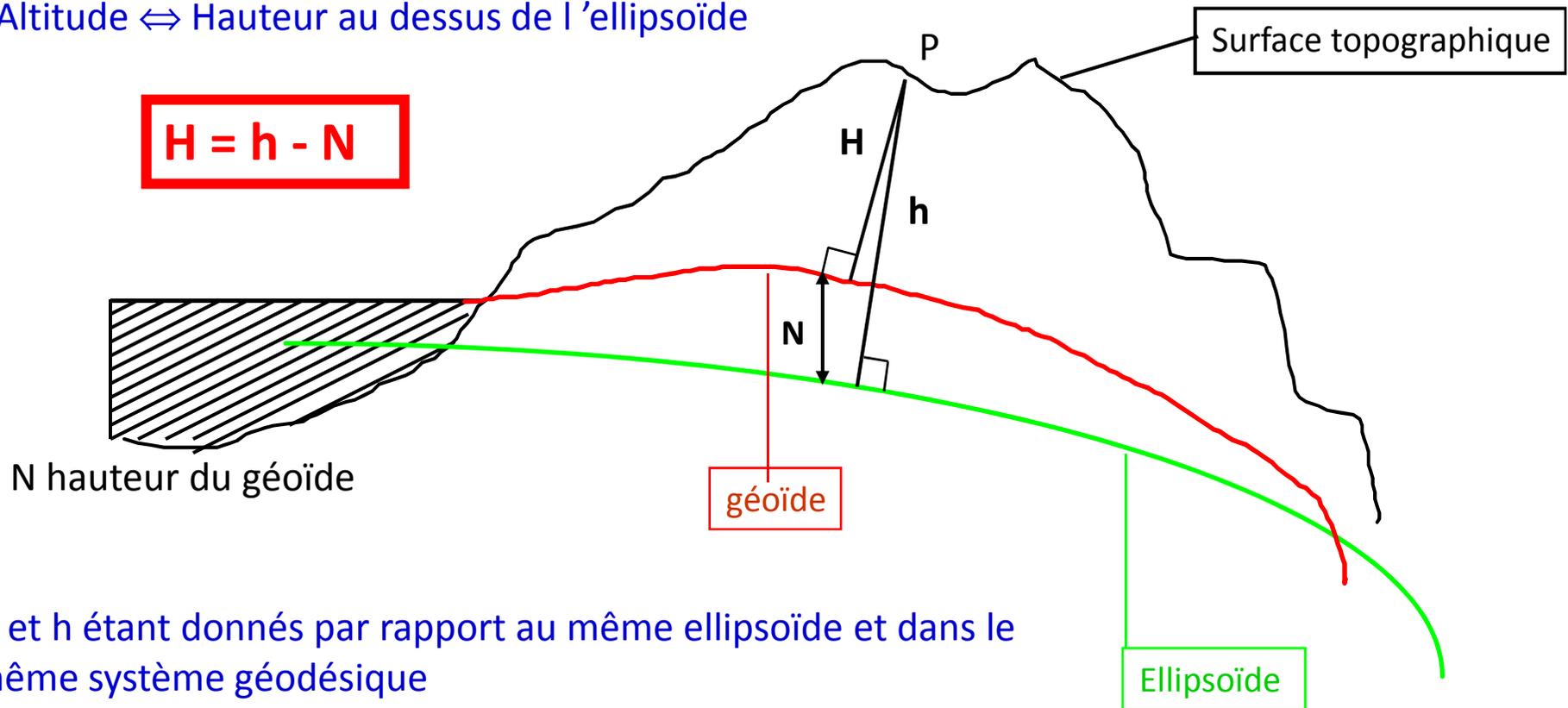
Systèmes de référence géographiques et planimétriques

Zone	Système géodésique	Ellipsoïde associé	Projection
- France	RGF93	IAG GRS 1980	Lambert-93
- Guadeloupe	WGS84	IAG GRS 1980	UTM Nord fuseau 20
- Martinique	WGS84	IAG GRS 1980	UTM Nord fuseau 20
- <u>Guyane</u>	<u>RGFG95</u>	<u>IAG GRS 1980</u>	<u>UTM Nord fuseau 22</u>
- Réunion	RGR92	IAG GRS 1980	UTM Sud fuseau 40

Détermination altitude

Altitude \Leftrightarrow Hauteur au dessus de l'ellipsoïde

$$H = h - N$$



N et h étant donnés par rapport au même ellipsoïde et dans le même système géodésique

Géodésie en Guyane

- Géodésie état des lieux
 - Systèmes de références planimétriques
 - Système de référence altimétrique NGG77
- Nivellement par méthodes spatiales
 - Principe général
 - Modèle d'ondulation du géoïde de la Guyane
- Positionnement GNSS
 - État des lieux
 - Outils de calcul en ligne

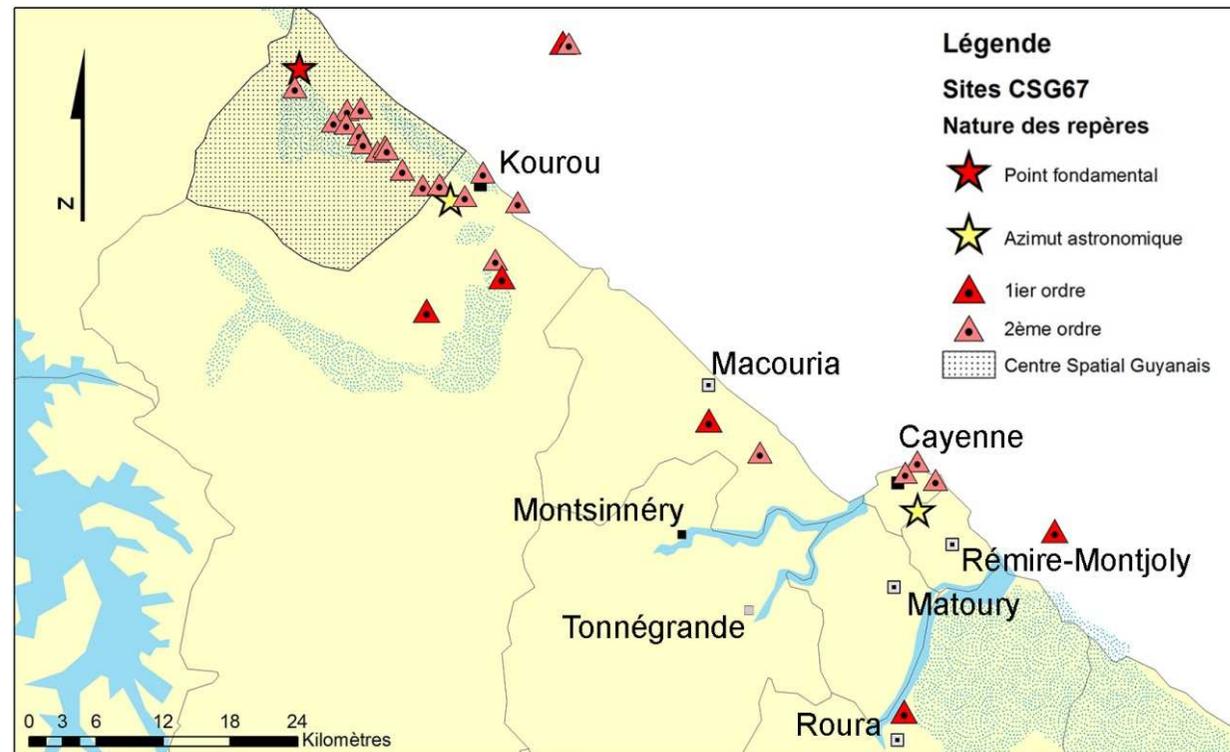
Géodésie en Guyane

Systemes de référence planimétriques

- CSG67

Caractéristiques:

- 38 repères
- Superficie très restreinte



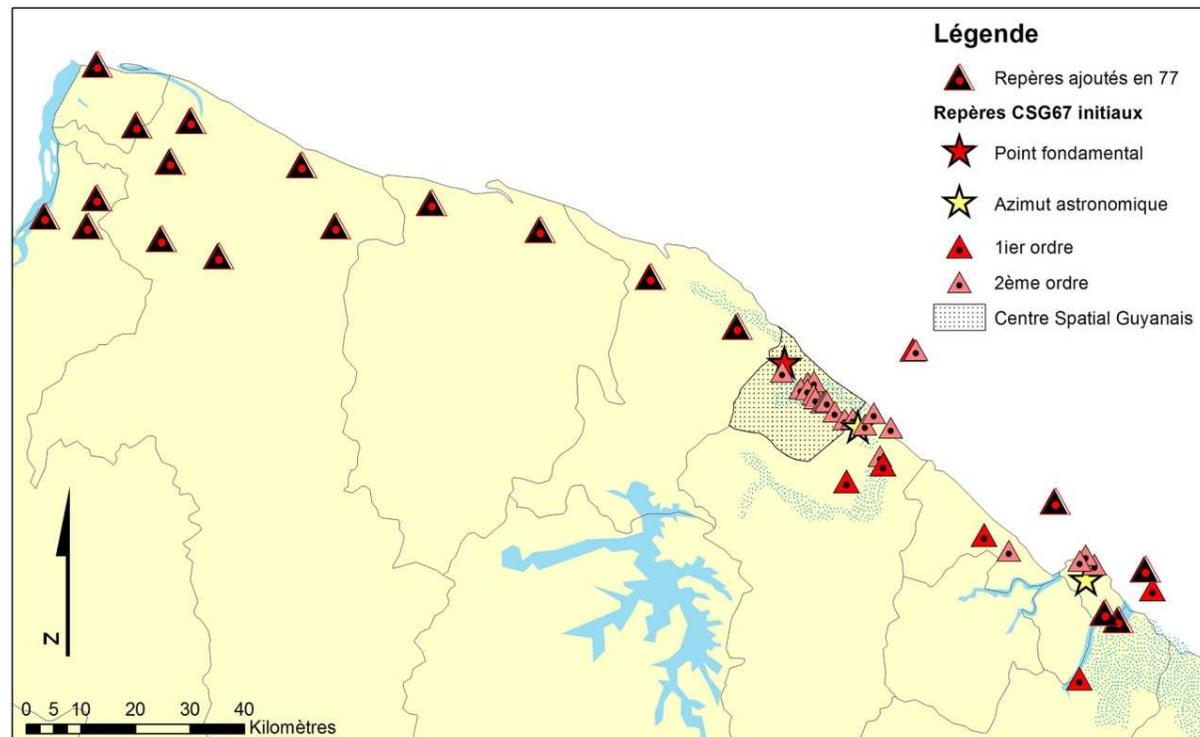
Géodésie en Guyane

Systemes de référence planimétriques

- CSG67, après l'extension de 77

Caractéristiques:

- 38 repères anciens
- 19 nouveaux repères
- 2/3 de la bande littorale
- Rattachement au NGG77



Géodésie en Guyane

Systemes de référence planimétriques

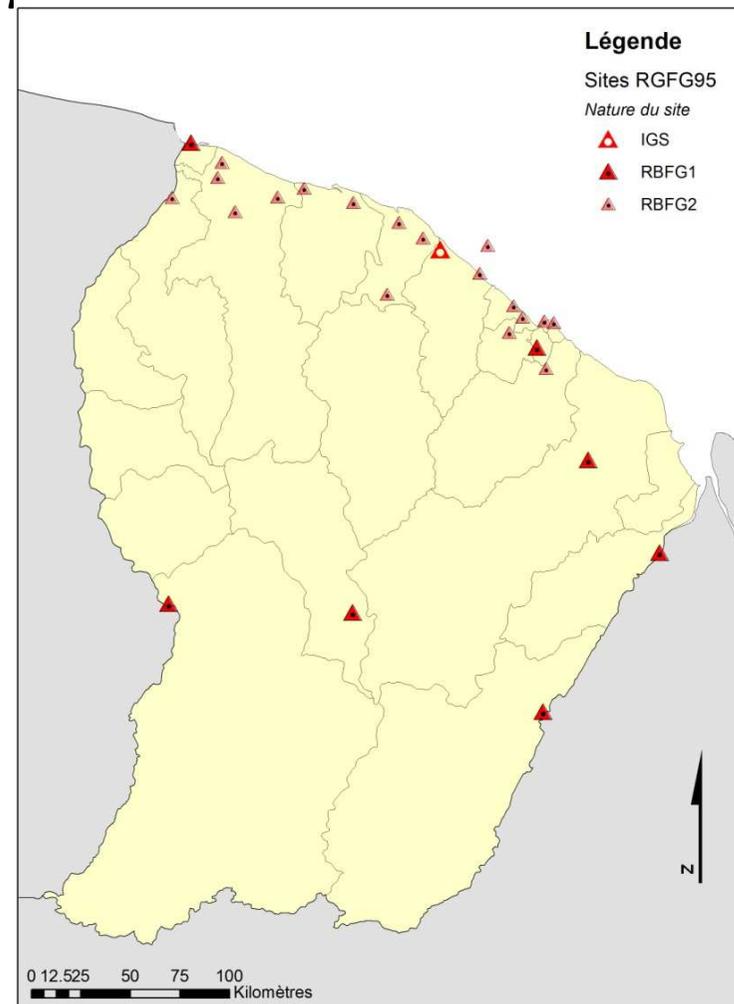
- **CSG67 (IGN95) et RGFG95**

Caractéristiques:

- Systèmes spatiaux
- CSG67 \neq CSG67 (IGN95)
- Sites répartis sur l'ensemble du territoire (de manière hétérogène)
- Rattachement complet de la bande littorale au NGG77 tardif (Régina en 2002, Saint-Georges en 2005)
- Les sites de Camopi, Saül et Maripasoula sont rattachés à d'un modèle d'ondulation du géoïde

Pas de contrôle régulier des repères

Le RGFG95 est la référence planimétrique légale



Géodésie en Guyane

Systeme de référence altimétrique NGG77

Caractéristiques:

- Faible densité de repères (1 pour 3 km environ contre 1 pour 600 m en métropole)
- Problèmes pour vérifier la stabilité du repère qui nécessite 1 à 2 repères

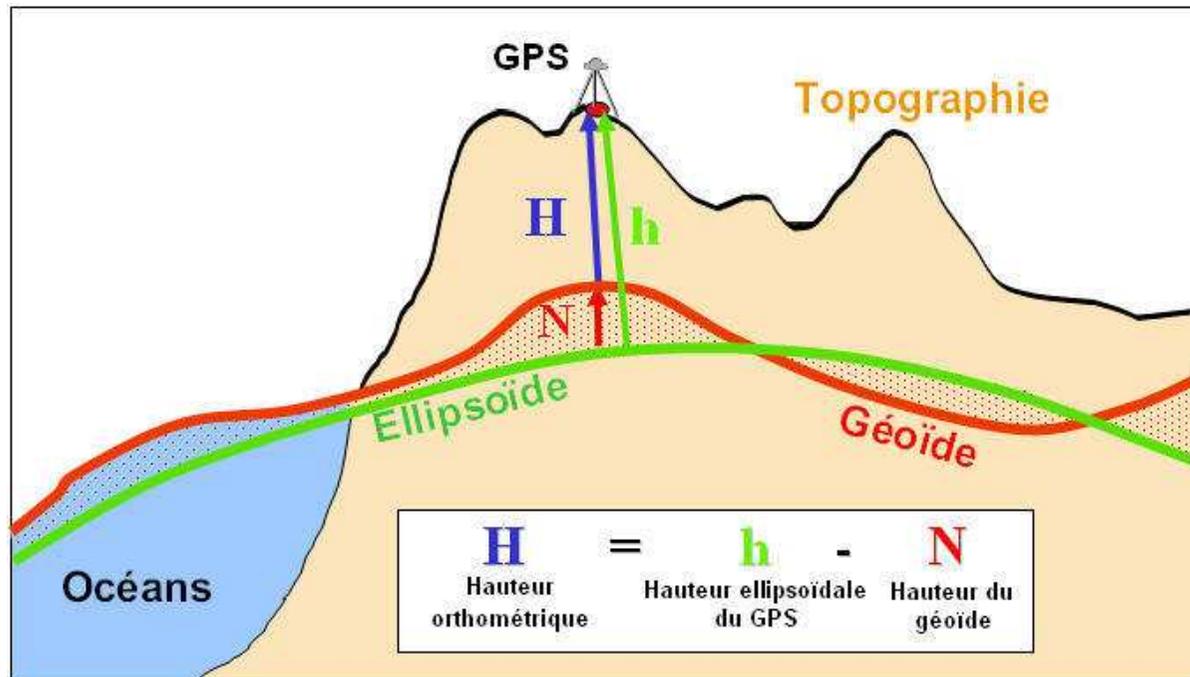
- Augmentation progressive de la couverture du réseau
 - Cayenne à Saint-Laurent-du-Maroni en 1977
 - Cayenne à Régina en 2002
 - Régina à Saint-Georges en 2005
 - Saint-Jean à Apatou (?) non prévu actuellement
- Le reste du département n'est pas couvert pas le réseau de nivellement géométrique

Le NGG77 est la référence altimétrique légale

Nivellement par méthodes spatiales

Principe général

- Définitions



Détermination d'altitudes par GPS [Image NRCan]

Nivellement par méthodes spatiales

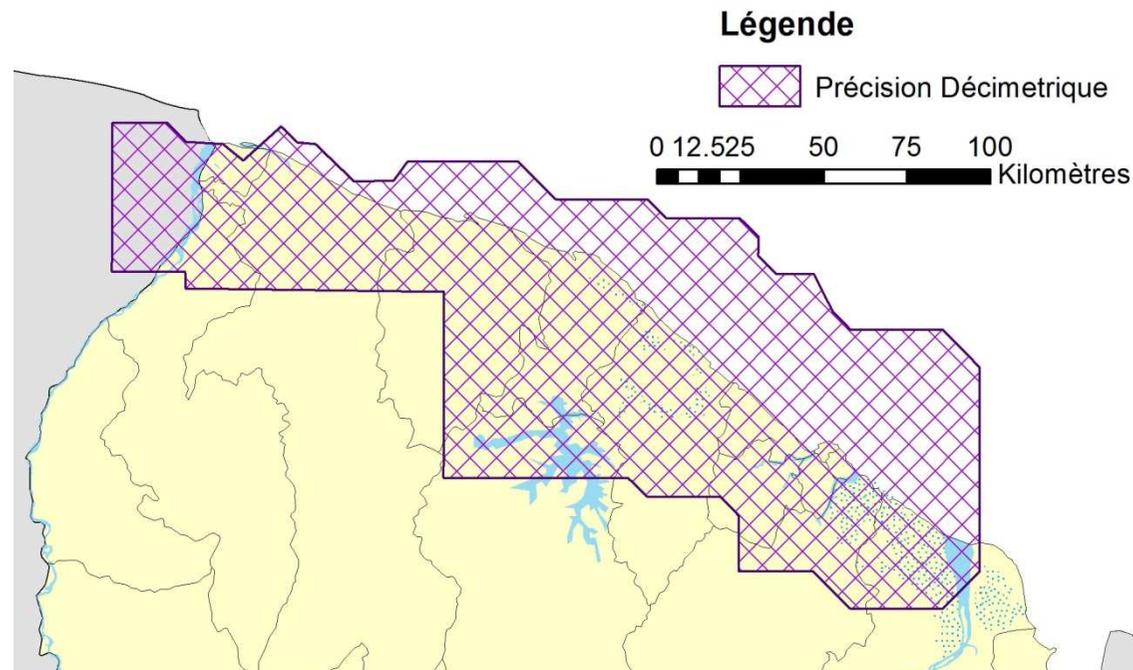
Principe général

- **Détermination N, l'ondulation du géoïde**
 - Principe de « colocalisation »
On accède à H l'altitude orthométrique, grâce au nivellement direct
La hauteur ellipsoïdale est déterminé par GNSS
(peut être complété par des mesures gravimétriques)
 - Besoin de connaître un ensemble de points colocalisés pour estimer le comportement de la surface sur son emprise totale

Nivellement par méthodes spatiales

Modèle d'ondulation du géoïde de la Guyane

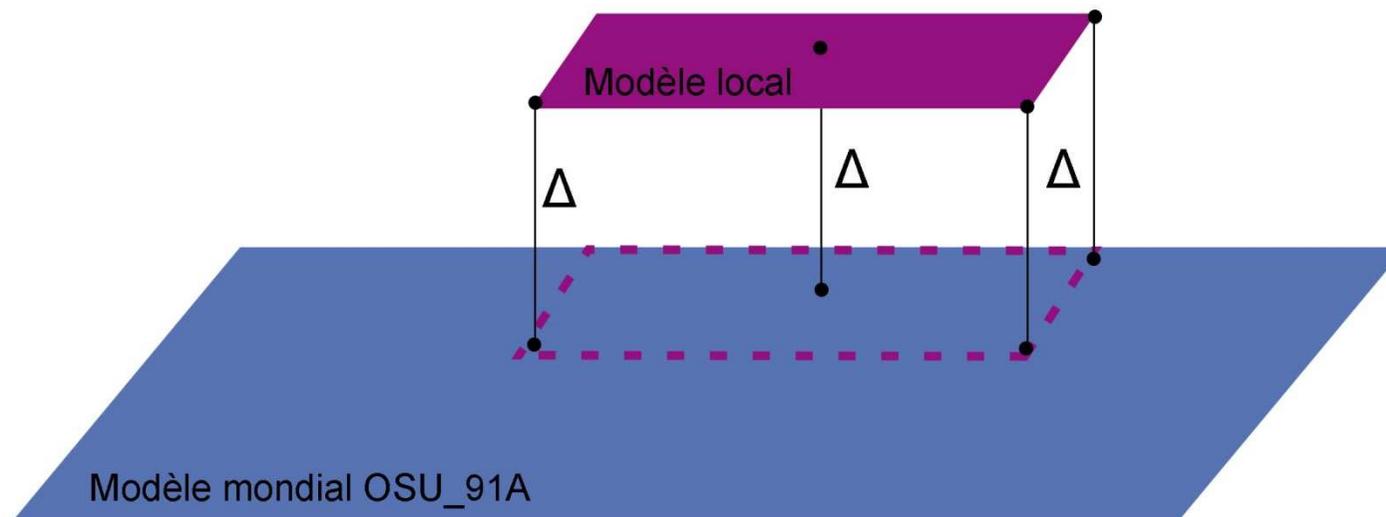
- Peu de points colocalisés (14 sites)
- Exclusivement sur la bande littorale
 - On obtient un modèle de précision décimétrique



Nivellement par méthodes spatiales

Modèle d'ondulation du géoïde de la Guyane

- Utilisation d'un modèle mondiale de 1991 de précision métrique

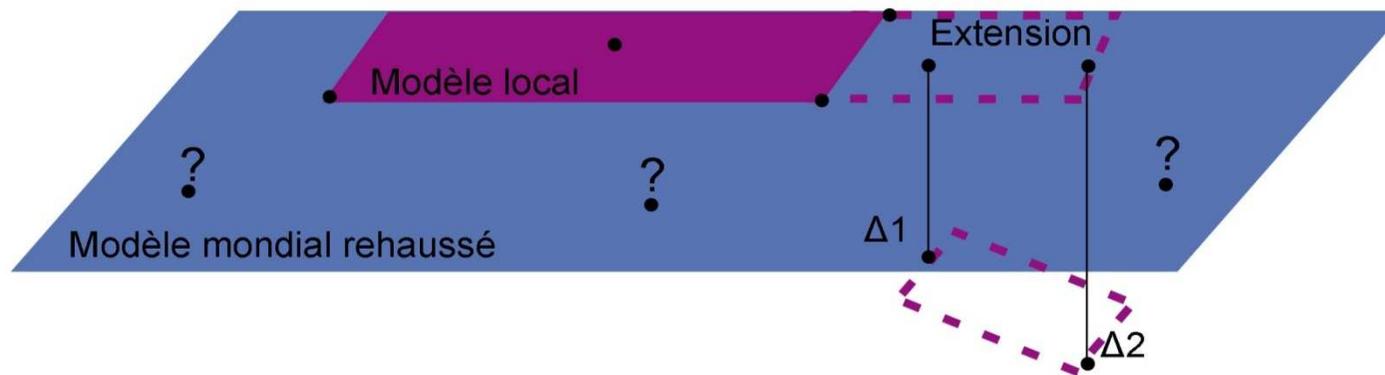


On observe un écart de -3m (Δ) constant, le modèle mondial est rehaussé d'autant.

Nivellement par méthodes spatiales

Modèle d'ondulation du géoïde de la Guyane

- En 2002 et 2005, extension du réseau de nivellement
- On possède donc de nouveaux points colocalisés



- Comparaison de $N_{\text{modèleIGN}}$ avec $N_{\text{colocalisé}}$
 - Régina : $\Delta 1 = 1,91 \text{ m}$
 - Saint-Georges: $\Delta 2 = 2,31 \text{ m}$
- Quels écarts observons nous à Camopi, Saül, Maripasoula?

Nivellement par méthodes spatiales

Modèle d'ondulation du géoïde de la Guyane

- Pas de possibilité de contrôles
- Seule la grille est utilisable
- La différence de précision entre les deux modèles est trop importante

« Il y a 2 NGG77 »

- Problèmes causés?
 - Positionnement faux (bon à quelques mètres près?) en absolue
 - Localement ça ne constitue pas un problème majeur
 - Problématique pour les chantiers en relation avec le niveau de la mer
 - Comment réagir lorsque l'on se situe en limite des zones définies par la précision

Y a-t-il une marche de 20 cm, de 2 m, ou plus? On ne sait pas

Positionnement GNSS

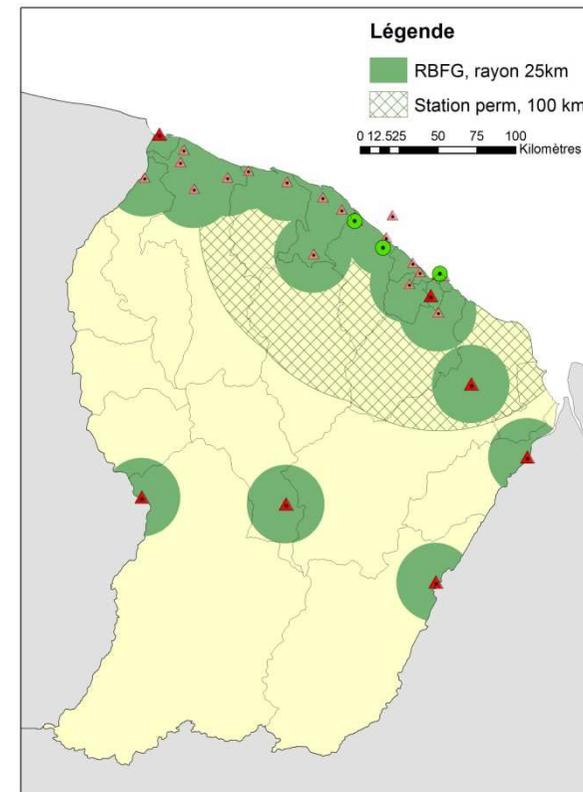
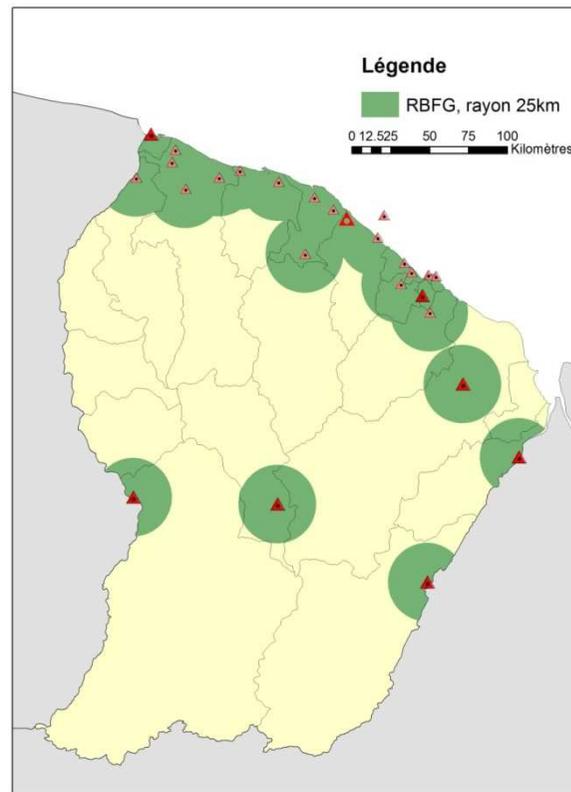
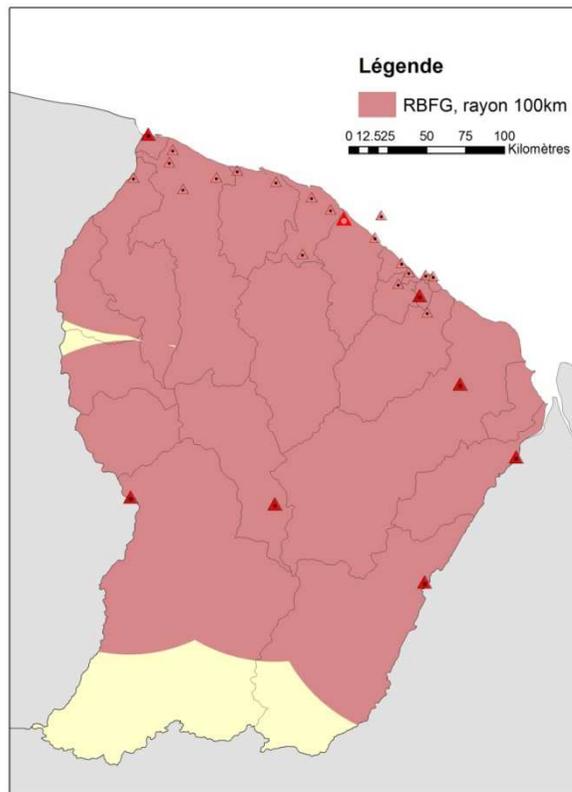
(global navigation satellite system)

État des lieux

- Le RGFG95 comporte 26 sites
- 1 site à un rayon d'action maximal de 100 km
- En pratique en Guyane il est compliqué de s'éloigner de plus de 25 km
(on doit alors ajouter la contrainte d'aller chercher le pivot)
- Papaïchton, Grand-Santi, Saint-Élie?
- Apport des stations permanentes
 - Pas de contrainte pour aller récupérer le pivot à la fin du chantier
 - Zone déjà couverte par des repères RGFG95, le gain en superficie couverte est faible.

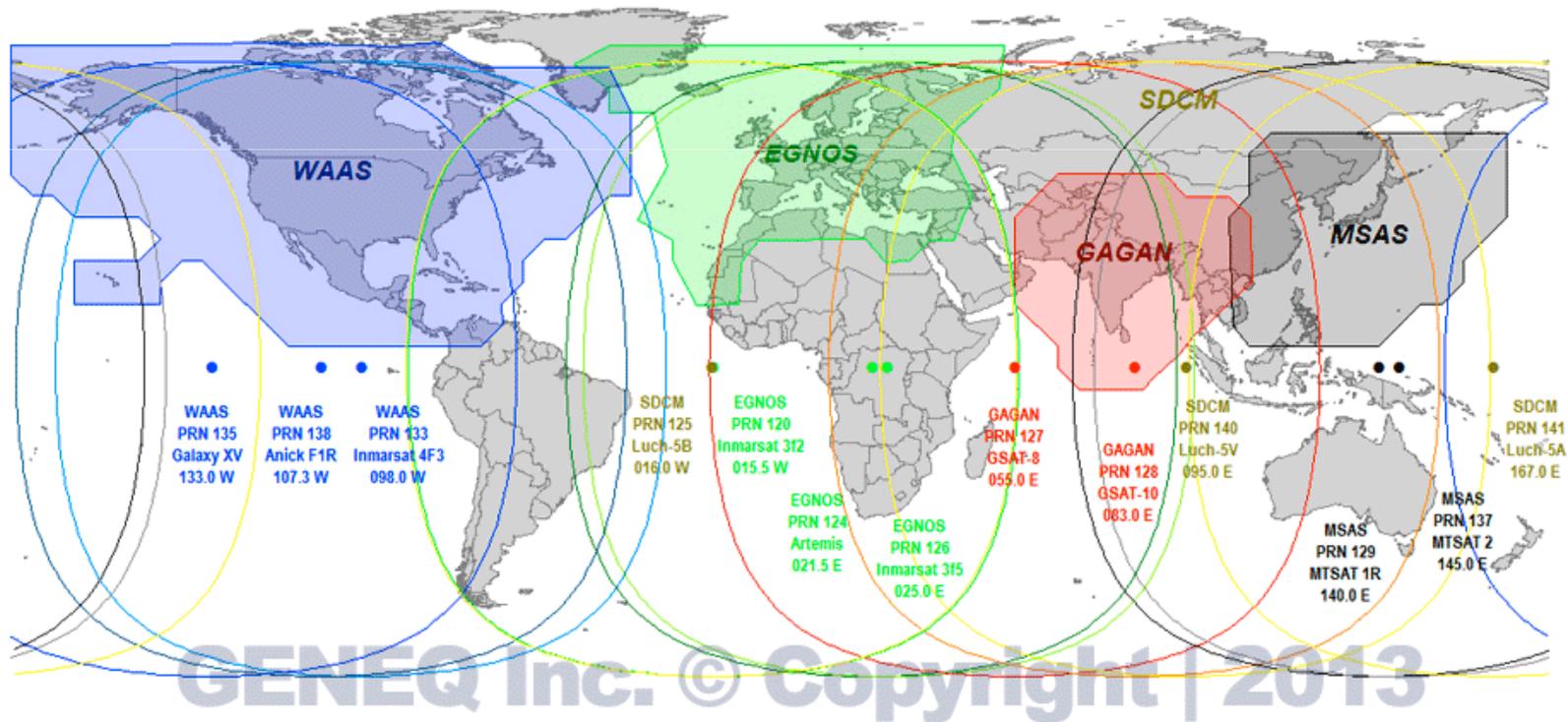
Positionnement GNSS

État des lieux



Système d'augmentation spatial (SBAS)

couverture globale actuelle du SBAS (systèmes d'augmentation spatiaux) pour GPS submétrique



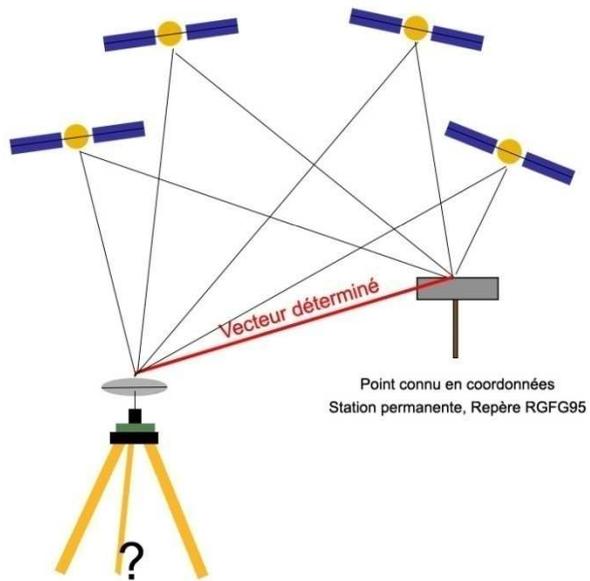
Positionnement GNSS

Les outils de calcul en ligne

- Pas de limites distances maximales
- Plus le temps d'observation est long, meilleurs seront les résultats
- 2 modes de fonctionnement
 - Différentiel: Nécessite des stations permanentes, proches de préférence et observant les même satellites que l'utilisateur
(ex: Outil en ligne de l'IGN)
 - Zéro différence (PPP): Nécessite un réseau global de stations permanentes, pas de contraintes sur la simultanéité des observations avec l'utilisateur
(ex: APPS JPL, CSRS-PPP NRCan, ...)

Positionnement GNSS

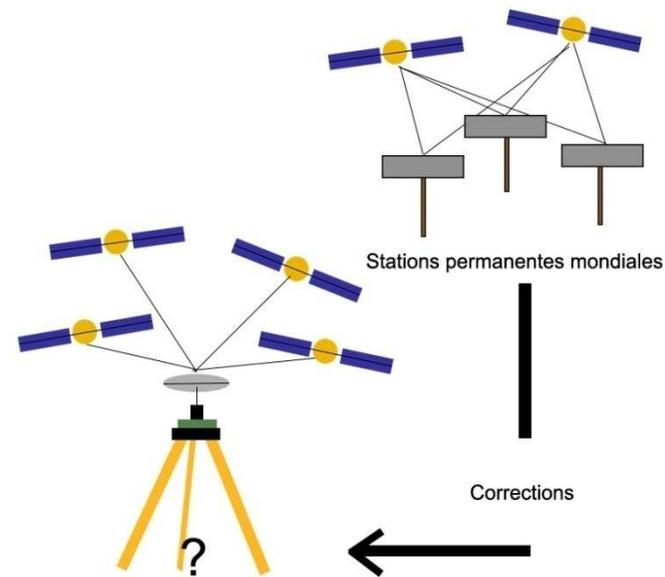
Les outils de calcul en ligne



Mode différentiel (IGN)

- Coordonnées RGFG95
- Nécessite des stations fiables

Exemples



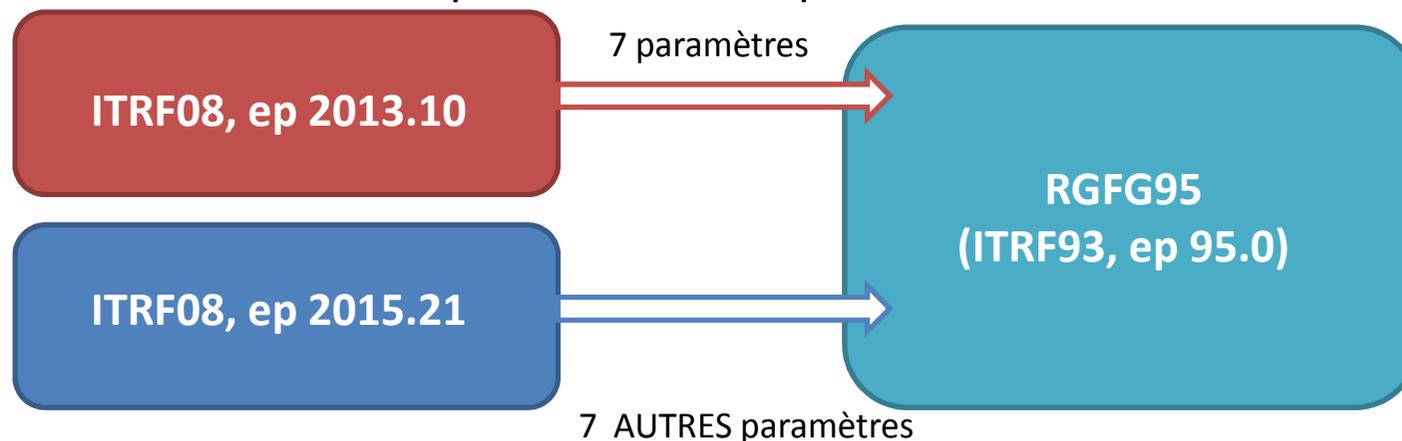
Mode Zéro différence (PPP)

- Coordonnées ITRF08
- Peu dépendant des stations

Positionnement GNSS

Les outils de calcul en ligne

- Comment passer de l'ITRS08 au RGFG95?
- $RGFG95 = ITRF93,ep95.0$
- Transformation 3 à 7 paramètres
 - Pas de mesures d'accompagnement (IGN)
 - Paramètres dépendent du temps



Positionnement GNSS

Les outils de calcul en ligne



The screenshot shows a web interface for online GNSS calculations. At the top, there is a navigation menu with tabs: CARTE, RÉSEAU, STATIONS, DONNÉES, PRODUITS, SERVICES, and INFORMATIONS. Below the menu, a breadcrumb trail reads 'Accueil / Services / Calculs GPS en ligne'. The main heading is 'Calculs GPS en ligne'. The form is titled 'Fichiers d'observation au format RINEX' and includes a 'Pivot' dropdown set to 'Choisissez un fichier' and a status 'Aucun fichier choisi'. Under 'Stations rayonnées', there are five rows for 'Fichier n°1' through 'Fichier n°5', each with a 'Choisissez un fichier' dropdown and a status 'Aucun fichier choisi'. Below this, 'Stations GNSS Permanentes à intégrer' has two dropdowns: 'Nombre maximum' set to '4' and 'Eloignement maximum' set to '1000 km'. An 'Adresse Email, où vous sera envoyé le rapport de calcul' field is present. A security warning states: 'Afin d'éviter les demandes générées par des robots, merci de recopier les quatre lettres de la vignette ci-dessous'. Below this is a CAPTCHA image showing the letters 'Y F / K' and a text input field 'Entrez les quatre lettres :'. A disclaimer at the bottom states: 'L'IGN ne serait être tenu pour responsable de toutes conséquences directes ou indirectes liées à l'utilisation des résultats.' and there is an 'Aide sur le service de calcul en ligne' link and an 'ENVOYER LA DEMANDE' button.

Positionnement GNSS

Les outils de calcul en ligne

```
-----
IGN                CALCUL GNSS EN LIGNE                12-JUL-13 10:06
                   COMPTE-RENDU
-----
```

```
ORBITES           : igs17454.sp3.Z  igl17454.sp3.Z
ROTATION TERRESTRE : igs17457.erp.Z
-----
```

Systeme de reference du calcul d'apres les ephemerides : IGS08

I/ ELEMENTS EN ENTREE

ENTREE NUMERO : 1 / 1

```
-----
FICHIER RINEX : JAVO1710.13o
EN-TETE NOM STATION : JAVOUEY.1
EN-TETE NUMERO : JAVOUEY.1
EN-TETE RECEPTEUR : LEICA GX1230GG
EN-TETE ANTENNE : LEIAX1202GG
EN-TETE POSITION : 3740651.0015 -5128981.4753 615502.4411
EN-TETE ANT H/E/N : 1.5440 0.0000 0.0000
```

ELEMENTS RETENUS

```
-----
RECEPTEUR: LEICA GX1230GG :: RECONNU IGS : OUI
*antenne : radome sans indication = 'NONE' (DEFAULT)
ANTENNE :>LEIAX1202GG NONE<:: RECONNUE IGS : OUI
```

```
ANTENNE CENTRES DE PHASE N/E/H :
LEIAX1202GG NONE L1 0.0016 -0.0005 0.0634 2
LEIAX1202GG NONE L2 -0.0012 0.0002 0.0621
```

```
ANTENNE ARP N/E/H : 0.0000 0.0000 1.5440
```

```
NOMBRE D'EPOQUES : 221
DATE DEBUT : 20/06/13 11:51:00.0000000
DATE FIN : 20/06/13 13:41:00.0000000
```

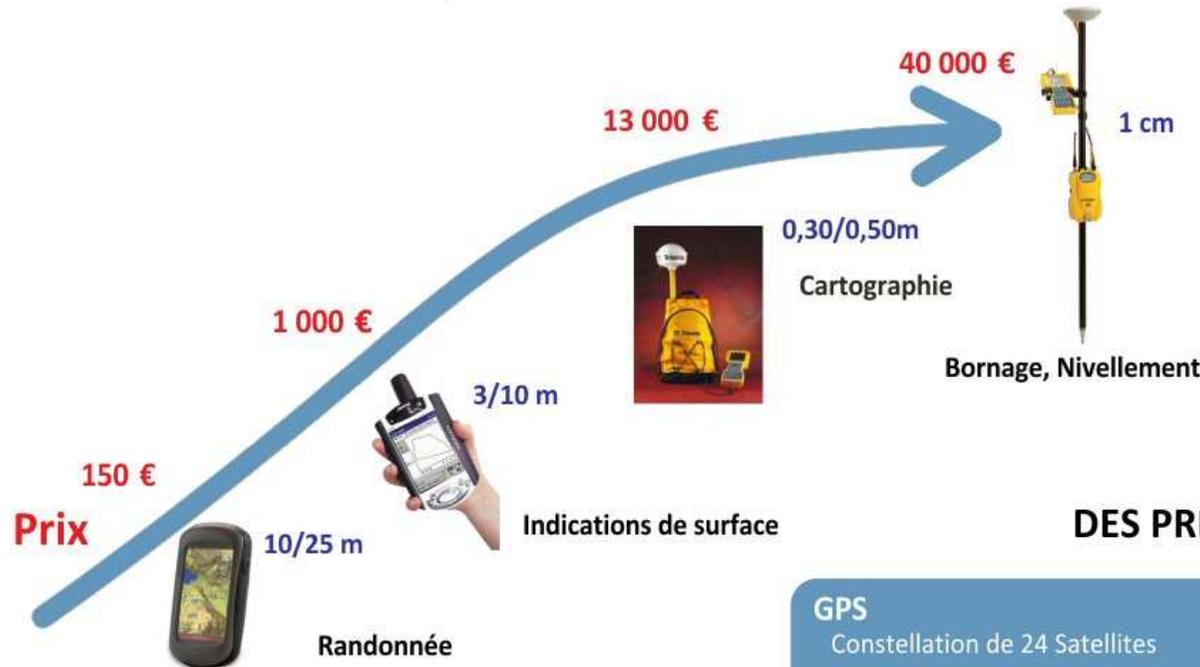
```
MISE A JOUR RINEX : /home/GPSDATA/0099/RAW/tmp_0.RNX -> javo1710.13o
```

STATION : JAVO

```
POSITION APPROCHEE (RINEX) : 3740651.0015 -5128981.4753 615502.4411
                             W 053 53 45.996982 N 05 34 30.198602 -24.6329
POSITION APPROCHEE (SPP) : 3740648.2071 -5128979.0220 615503.6081
                             W 053 53 46.023369 N 05 34 30.247889 -28.1312
```

QUELS MATERIELS ?

GPS le choix



DES PRECISIONS DIFFERENCIEES

GPS

Constellation de 24 Satellites

EGNOS

Vocation : améliorer le GPS américain
Correction différentielle gratuite

SATELLITE DE CORRECTION DIFFÉRENTIELLE

Accès à la correction payante

POST-TRAITEMENT

Opération informatique post-relevé

Précision native de 5 à 25 mètres

Précision : 2,50 à 3,00 mètres

Précision : < 1 mètre

Précision : 0,30 à 0,50 mètre