

## Systèmes géodésiques

La géodésie est la science de la forme et de la dimension de la Terre et de son champ de pesanteur



Afin de localiser mathématiquement un objet sur la Terre d'une façon univoque, il faut définir un référentiel géodésique.

Celui-ci est un repère affine dont le centre est proche du centre des masses de la Terre, ses deux premiers axes sont dans le plan de l'équateur et le troisième est proche de l'axe de rotation des pôles. Il est donc possible dans ce repère d'obtenir des coordonnées pour chaque point de la Terre.

La réalisation concrète et numérique de ce référentiel s'appelle un système géodésique.

## Sommaire

### A - Mise en oeuvre de la géodésie

Elle nécessite le recours à plusieurs paramètres :

- 1 - un système géodésique de référence
- 2 - un réseau de points matérialisés auxquels sont affectées des coordonnées propres à chaque système
- 3 - Datums et Systèmes en usage en France

### B - Systèmes locaux

Ils sont tous créés à partir de triangulation, procédé terrestre qui consiste à mesurer des angles de triangle et quelques distances pour la mise à l'échelle.

- 1 - **NTF** - Nouvelle Triangulation de la France
- 2 - **ED50** - European Datum 1950

### C - Systèmes spatiaux

Ils ont pour principe :

- *Constantes fondamentales*
- *Coordonnées tridimensionnelles (longitude, latitude, hauteur ellipsoïdale)*
- *Précision du centre : quelques mètres*

Systèmes en vigueur :

- 1 - **RGF93** - Réseau Géodésique Français 1993
- 2 - **WGS84** - World Geodetic System 1984
- 3 - **ITRS** - International Terrestrial Rotation Service
- 4 - **DORIS** - Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégrés par Satellite
- 5 - **ETRS89** - European Terrestrial Reference System 1989

## A - Mise en œuvre de la géodésie

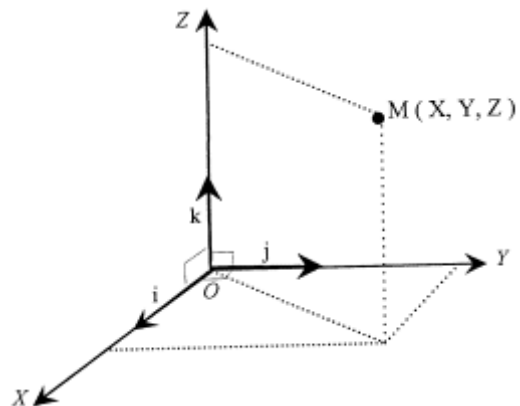
### 1 - Système géodésique

Le positionnement des points dans l'espace et le temps au voisinage de la Terre nécessite la définition d'un système géodésique de référence.

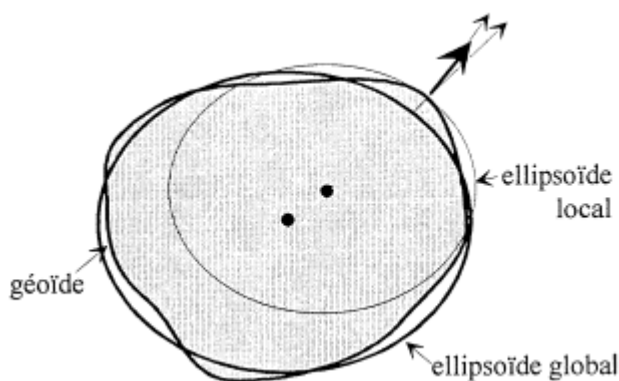
C'est un repère affine (O, i, j, k) tel que :

- O est proche du centre des masses de la Terre (pour les systèmes terrestres à moins de 500 mètres et pour les systèmes spatiaux à moins de 10 mètres)
- OZ est proche de l'axe de rotation terrestre
- OXZ est proche du plan méridien origine

$$\|i\| = \|j\| = \|k\| \approx 1$$



Les coordonnées géodésiques d'un point ne sont pas des valeurs "objectives" liées au seul point d'observation M mais sont relatives à une construction théorique ou modèle au sens large :



Par exemple, pour un ensemble de points réalisé par géodésie terrestre (triangulation), on fixe un ellipsoïde, un point fondamental arbitrairement choisi, et on réalise une campagne d'observations d'angles, de distances et d'azimuts ; puis on met en oeuvre un processus de compensation. Si un quelconque de ces éléments est modifié, les coordonnées des points le sont également : on change de système.

Dans un système de référence géodésique, un point de la croûte terrestre est quasiment fixe bien qu'il soit soumis à de faibles mouvements dus aux marées terrestres d'amplitude < 30 cm, à la surcharge océanique et aux mouvements tectoniques globaux ou locaux, inférieur à 10 cm/an.

Les paramètres de positionnement du système lui-même peuvent être calculés à partir d'un point fondamental ou à l'origine d'un repère géocentrique conventionnel. Un tel système de référence étant défini, chaque point est repéré, à un instant donné, par des coordonnées, cela implique la connaissance d'un ellipsoïde associé et sa position dans l'espace.

De nombreux systèmes coexistent, en raison de dispositions légales, réglementaires, ou historiques, de l'amélioration des techniques et des modèles, de l'élargissement de la zone d'application des techniques à la Terre entière.

Les systèmes locaux, issus de réalisations terrestres, sont positionnés à quelques centaines de mètres du centre des masses de la Terre.

Les systèmes spatiaux sont mondiaux, leur origine est située à quelques mètres du centre des masses de la Terre.

## 2 - Réseau géodésique

Un réseau est un ensemble de points physiquement liés à la croûte terrestre (bornes, piliers,...) dont on décrit la position définie par des coordonnées estimées et leurs variations. On différencie certains types de réseaux, à savoir :

- des réseaux ou réalisations planimétriques
- des réseaux de nivellement
- des réseaux tridimensionnels géocentriques

On distingue également les réseaux dits "cinématiques" fournissant la position et la vitesse des points matérialisés, des réseaux "dynamiques" qui recouvrent les notions de trajectoire ou éphémérides de satellites.

Avec le réseau, une réalisation géodésique nécessite donc la mise en oeuvre d'un système géodésique qui peut être résumé par l'ensemble des constantes et algorithmes qui doivent intervenir dans le processus d'estimation des coordonnées.

## 3 - Datums, systèmes en usage en France

Il est nécessaire de différencier deux types de systèmes, les systèmes locaux et les systèmes spatiaux.

Les Systèmes géodésiques en usage en France	
Systèmes locaux	Systèmes spatiaux
principe : <ul style="list-style-type: none"><li>- ellipsoïde de référence</li><li>- point fondamental</li><li>- méridien origine</li><li>- représentation plane associée</li></ul> précision du centre : quelques centaines de mètres.	principe : <ul style="list-style-type: none"><li>- constantes fondamentales</li><li>- coordonnées tridimensionnelles (longitude, latitude, hauteur ellipsoïdale)</li></ul> précision du centre : quelques mètres.
Réalisations historiques France : <ul style="list-style-type: none"><li>- triangulation de Cassini (1733-1770)</li><li>- triangulation des Ingénieurs Géographes (1792-1884)</li></ul>	Systèmes mondiaux : <ul style="list-style-type: none"><li>- World Geodetic System 1984 (WGS84)</li><li>- International Terrestrial Reference System (ITRS)</li></ul>
Système européen : <ul style="list-style-type: none"><li>- European Datum 1950 (ED50)</li></ul>	Système européen : <ul style="list-style-type: none"><li>- European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)</li></ul>
Système actuel en France : <ul style="list-style-type: none"><li>- Nouvelle Triangulation de la France (NTF)</li></ul>	Système actuel en France : <ul style="list-style-type: none"><li>- Réseau Géodésique Français 1993 (RGF93)</li></ul>

## B - Système locaux

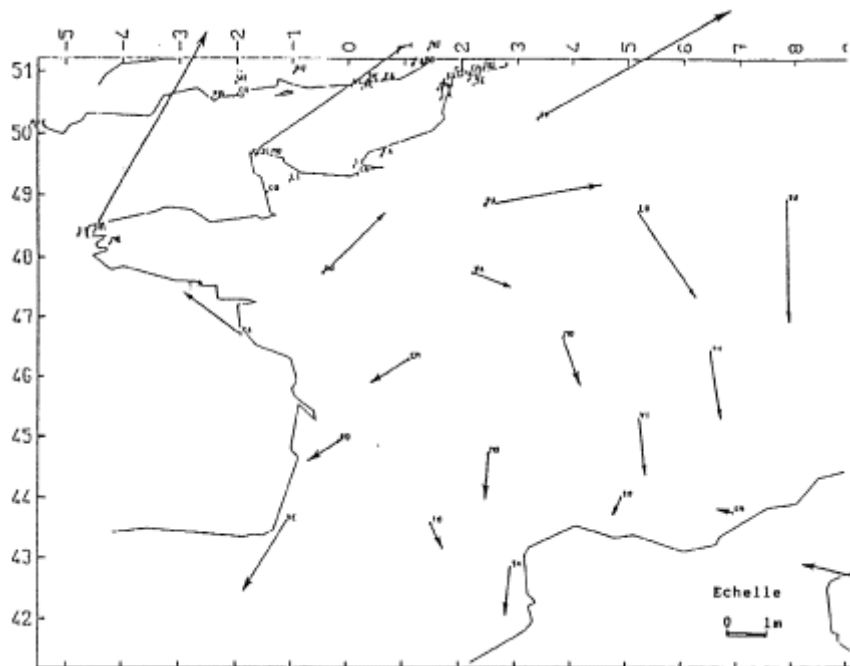
Les systèmes en usage en France sont le résultat de l'historique des réalisations passées :

- méridienne de Picard (1669-1671)
- méridienne de Cassini (1683-1718)
- triangulation de Cassini (1733-1770)
- méridienne de France (1739-1740)

- triangulation des Ingénieurs géographes (1792-1884) appuyée sur la méridienne de Delambre et Méchain
- nouvelle méridienne de France (1870-1896)

## 1 - La Nouvelle Triangulation de la France (NTF)

Cette triangulation similaire à celles effectuées par Cassini et les Ingénieurs Géographes, poursuit l'objectif de la réalisation de la cartographie nationale à moyenne échelle.



La comparaison de la NTF avec un système spatial met en évidence les déformations de la NTF

**Ce système NTF est matérialisé sur le terrain par un réseau géodésique hiérarchisé:**

### Réseau principal :

- 800 points de 1er ordre espacés de 30 km environ
- 5 000 points de 2ème ordre espacés de 10 km environ
- 60 000 points de 3ème et 4ème ordre espacés de 3 km environ

### Caractéristiques du système :

- point fondamental : croix du Panthéon
- ellipsoïde associée : Clarke 1880 IGN
- représentation plane associée : Lambert zone I, II, III, IV
- méridien origine : Paris

### Réseau complémentaire :

- 20 000 points de précisions diverses

## 2 - Le système ED50 (European Datum 1950)

Ce système est mis en place à la suite de la seconde guerre mondiale. Il fut établi grâce aux réalisations géodésiques terrestres à partir des observations des premiers ordres nationaux de l'Europe occidentale.

### Caractéristiques du système :

- point fondamental : POTSDAM (valeur de la déviation de la verticale fixée conventionnellement)
- ellipsoïde 1909
- représentation plane associée : Universal Transverse Mercator (UTM)

Plusieurs réalisations ont été menées en variant les modes de calculs et d'observations prises en compte, en particulier la dernière, ED87, a pris en compte des observations spatiales.

## C - Systèmes spatiaux

### 1 - Le Réseau Géodésique Français 1993 (RGF93)

Ce système géodésique appelé RGF93, tridimensionnel et géocentrique sert de base à la création d'un réseau géodésique moderne français, par densification des points européens du réseau mondial associé ETRS89.

### Caractéristiques du système :

En France métropolitaine, par exemple, le Réseau Géodésique Français (RGF) matérialise ce nouveau système de référence RGF93, réalisation tridimensionnelle et géocentrique du système européen de référence ETRS89.



### Le réseau RGF est structuré hiérarchiquement en 3 parties :

Le **RRF** : Réseau de Référence Français 23 points déterminés par géodésie spatiale de grande précision (précision 10-7). observations entre 1989 et 1993 :

- Mai 1989 : observations GPS pour le réseau européen (93 points en Europe, 8 en France)
- Juin 1989 : observations VLBI pour le réseau européen (6 points dont 2 en France)
- 1992 : observations VLBI (1 point en France)
- 1993 : observations GPS des 23 points du RRF

Le **RDF** : Réseau de Détail Français (en cours de réalisation) constitué en particulier de points de la NTF et de canevases géodésiques appuyés sur le RBF

Le **RBF** : Réseau de Base Français 1 009 sites déterminés par technique GPS (précision 10-6) observations en 1994, 1995 et 1996

La technique d'observation est celle de la mesure satellitaire GPS assurant une cohérence de niveau centimétrique aux coordonnées publiées des différents points.

Les coordonnées sont exprimées dans le système RGF93, soit sous la forme tridimensionnelle géographique (Longitude, Latitude, hauteur ellipsoïdale), soit sous forme bi dimensionnelle, selon la projection Lambert 93, unique pour l'ensemble du territoire.

## 2 - Le système WGS84 (World Geodetic System 1984)

Ce système a été mis au point par le département de la défense des États-Unis à partir de coordonnées de points par observations Doppler sur satellites et défini à partir d'un ensemble de données : constantes fondamentales, développement du champ en harmoniques sphériques, etc... WGS84 a été déduit de la première réalisation WGS72 par une transformation à 7 paramètres. Il est utilisé pour exprimer les éphémérides radiodiffusées du GPS.

### **Caractéristiques :**

- exactitude de l'ordre du mètre
- ellipsoïde associé : IAG-GRS80
- réalisation récente (G873) est équivalente au niveau décimétrique à ITRF94
- projection courante associée : UTM

## 3 - Le système ITRS

L'ITRS, système de référence terrestre de l'International Earth Rotation Service (IERS), est matérialisé par un réseau mondial de près de 300 points. Avec une exactitude au niveau centimétrique, il s'agit du plus précis des systèmes géodésiques mondiaux. Depuis 1988, l'IERS fournit chaque année une réalisation appelée ITRF<sub>yy</sub>, avec yy comme derniers chiffre du millésime. La dernière en date est l'ITRF97.

Du fait de la précision de ce système, l'époque de référence des coordonnées qui sont publiées doit être précisée (par exemple : 1997.0 pour l'ITRF97). De plus, les réalisations ITRF<sub>nn</sub> donnent pour chaque point une vitesse de déplacement, qui est une mesure du mouvement de ce point résultant de phénomènes géophysiques comme les mouvements tectoniques et le rebond post-glaciaire. D'autre part, on applique lors du calcul de ces coordonnées des corrections diverses : marées terrestres, pression atmosphérique, etc...

Les réalisations ITRF<sub>nn</sub> sont obtenues par combinaison de jeux de coordonnées issues de différentes techniques de géodésie spatiale très précises :

- VLBI : Very Long Base Interferometry (interférométrie à très longue base)
- LLR : Lunar Laser Ranging (télémétrie laser sur la lune)
- SLR : Satellite Laser Ranging (télémétrie laser sur satellite)
- GPS : Global positioning System
- DORIS : Doppler Orbitography Radiopositioning Integrated by Satellite

## 4 - Le système DORIS

Ce système mondial est le plus précis. Son exactitude est au niveau centimétrique. Depuis 1988, l'IERS fournit chaque année une réalisation appelée ITRF<sub>yy</sub>, avec yy comme derniers chiffres du millésime. La dernière en date est l'ITRF96.

Les coordonnées de ce système sont données en fonction du temps :  $t_0 = 1997.0$  pour ITRF96. La vitesse de déplacement tient compte du mouvement tectonique des plaques et du rebond post-glaciaire. On y applique aussi des corrections diverses : marées terrestres, pression atmosphérique, etc...

## 5 - Le système ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989)

Le système ETRS89 est défini à partir de l'ITRS et coïncide avec ITRS à l'époque 1989.0.

Il est attaché à la partie stable de la plaque eurasienne. À une époque quelconque on applique une vitesse théorique de la plaque Eurasie sur les coordonnées.

L'ETRFyy, réalisation de ETRS utilise des points ITRFyy européens et des points de densification par GPS. Successeur de ED87, initialement localisé sur l'Europe occidentale, ETRS89 s'étend à présent sur l'Europe de l'Est.

La cohérence du système ETRS89 avec WGS84 est métrique.