

Support de cours

Cours:

## Éléments de Géomatique

Vidéo:

### 2.4 Références géodésiques

Concepts (extraits des sous-titres générés automatiquement) :

**Exemple du cadre de la mensuration. Références géodésiques. Ellipsoïde de révolution. Systèmes de coordonnées. Première partie de la solution. Plan de référence. Cas de figure. Masses de densités différentes. Satellite goce. Partie de la leçon de géodésie. Cartes du géoïde. Système de coordonnées. Travers d'un cadre de coordonnées. Champ de pesanteur. Côté d'une montagne.**



[vers la recherche de séquences vidéo](#)  
(dans Éléments de Géomatique.)



[vers la vidéo](#)

Center for Digital Education. Plus de matériel de soutien pédagogique ici :

<https://www.epfl.ch/education/educational-initiatives/cede/educational-technologies-gallery/boocs-en/>  
page 1/18





# Références géodésiques

Eléments de Géomatique, géodésie

Pierre-Yves Gilliéron

© 2013 swisstopo (JD100064)

...

notes

résumé

0m 0s







Bonjour. Cette partie de la leçon de géodésie est consacrée

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

0m 1s



.....

.....

.....

.....

.....



- Problématique 1
- Système de coordonnées: définition théorique
  - Axes, origine, orientation
- La Terre est un solide dynamique
  - Tectonique des plaques
- Comment réaliser le système de coordonnées?



© 2013 DonkeyHoley  
creative commons

aux références géodésiques et aux systèmes de coordonnées pour la Terre.

notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

résumé

---

---

---

---

---

---

---

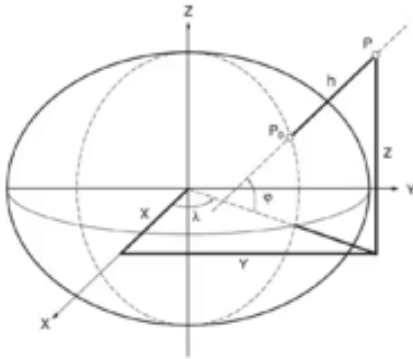
---

0m 5s





- Solution « $\varphi, \lambda$ »
- L'ellipsoïde
  - Forme mathématique simple
  - Coordonnées: latitude, longitude, hauteur



On peut poser la problématique de la manière suivante : Un système de coordonnées est une définition théorique, il est composé d'une origine, d'axes avec une orientation dans l'espace. Si on regarde la Terre, on peut dire que naturellement l'axe de rotation de la Terre donne déjà une direction référentielle et l'équateur donne également un plan de référence pour un système de coordonnées. La question est : comment réaliser un système sachant que la Terre a une grande dimension et sachant qu'à la surface de celle-ci, les différentes plaques du continent bougent?

notes

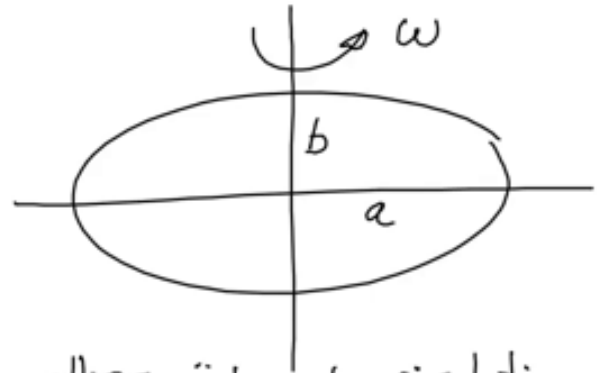
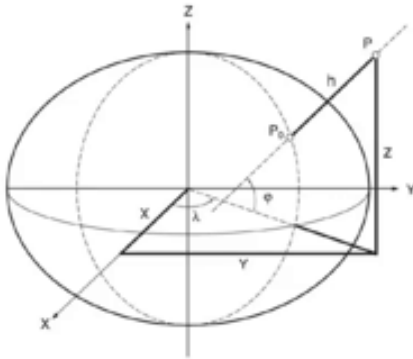
résumé

0m 15s





- Solution « $\phi, \lambda$ »
- L'ellipsoïde
  - Forme mathématique simple
  - Coordonnées: latitude, longitude, hauteur



ellipsoïde de révolution

$$a = 6377 \text{ km}$$

$$b = 63$$

Une première partie de la solution consiste à trouver une forme géométrique qui épouse au mieux la Terre. En l'occurrence, on va choisir ici une ellipse que l'on va faire tourner sur l'axe principal, on aura ainsi un ellipsoïde de révolution qui va donner la forme mathématique qui représente la Terre. Cet ellipsoïde a un grand axe  $a$  et un petit axe  $b$ , et pour la Terre,  $a$  est égal à 6377 kilomètres

notes

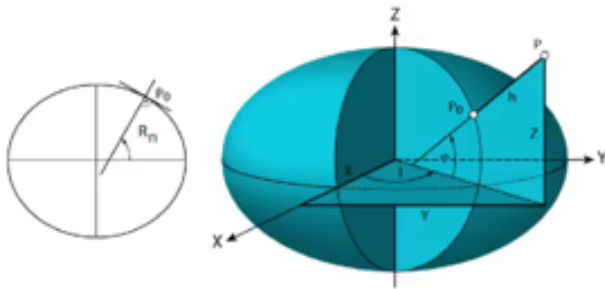
résumé

1m 2s





## • Coordonnées sur l'ellipsoïde



$$\begin{aligned} X &= (R_n + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (R_n + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= [R_n (1 - e^2) + h] \sin \varphi \end{aligned}$$

avec  $(\varphi, \lambda, h)$  coordonnées géographiques sur l'ellipsoïde  
 $(X, Y, Z)$  coordonnées cartésiennes géocentriques  
 $R_n$  rayon de courbure normal (varie en fonction de la latitude)



et  $b$  est égal à 6355 kilomètres, soit une différence d'environ 22 kilomètres, donc c'est relativement petit par rapport à la dimension totale de la Terre.

notes

résumé

1m 49s





- **Réalisation du système**
- **Matérialisation de repères**
  - Points connus et documentés
  - Mesurés par méthodes topométriques
  - Coordonnées rattachées au système
- **Cadre de coordonnées**
  - Ex. MN95 (Suisse)



Cadre : mens. CH



• 11

© 2013 swisstopo (JD100064)  
Éléments de géomatique 7

Quelles coordonnées pour l'ellipsoïde ? Comme pour la sphère, on va considérer des coordonnées géographiques avec la latitude, qui est l'angle entre le plan de l'équateur... et la normale à la surface. On voit sur cette figure la normale ici à la surface, avec mon plan de l'équateur et la latitude ici. Pour la longitude, comme pour la sphère, c'est l'angle entre le méridien origine, ici, et le méridien qui passe par le point d'intérêt. J'ai ici ma longitude. Finalement, j'ai la hauteur sur l'ellipsoïde... que je trouve ici sur ma figure, donc le long de la normale à la surface. Un système de coordonnées est une définition théorique. Pour pouvoir l'utiliser, on va réaliser le système au travers d'un cadre de coordonnées et je prends ici l'exemple

notes

résumé

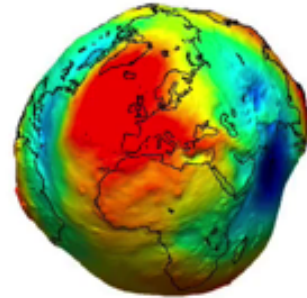
2m 4s





- Solution «H»
- Le Géoïde
  - Surface de référence **physique**
  - Surface équipotentielle zéro du champ de pesanteur
  - Surface moyenne de océans prolongée sous les continents
- Référence pour les altitudes (H)

+8



© ESA – GOCE mission  
Éléments de géomatique

10

du cadre de la mensuration en Suisse avec une matérialisation des différents points du cadre. Donc on a ici un exemple avec une cheville, on trouve aussi des bornes, et pour chacun des points, on a un identifiant plus des coordonnées. Je vous invite donc maintenant à découvrir le cadre de coordonnées de la mensuration et d'explorer quelques points avec leur documentation. La deuxième problématique des références géodésiques concerne la dimension verticale. En effet, le champ de pesanteur conditionne beaucoup d'activités de l'homme, comme par exemple dans les constructions hydrauliques. Quelles références faut-il prendre pour l'altimétrie ? Je prends sur cet exemple ici, trois cas de figure : un objet simple, un bâtiment, et je dessine, ici, le vecteur  $g$  de gravité par rapport à ce bâtiment. Donc on a une référence ici, simple, unique, pour un objet déterminé. Je me place maintenant dans un contexte plus large d'une portion de territoire où j'ai peut-être à côté d'une montagne un vecteur ici,  $g_1$ , et au bord d'un lac, ici, j'aurais un vecteur ici, de gravité  $g_2$ . On peut déjà ici se poser la question : est-ce que  $g_1$  est parallèle à  $g_2$  ? Est-ce qu'on a la même référence verticale dans ces deux endroits du territoire ? Si on regarde au niveau d'un globe, ça paraît évident que si je suis ici sur le continent américain ou bien dans la région ici de l'Europe, le  $g$  ici,  $A$ , et le  $g$  ici,  $E$ , ne sont évidemment pas parallèles. La solution à cette problématique de la dimension verticale passe par une surface de référence physique qu'on appelle le géoïde. On peut imaginer le géoïde comme la surface des océans moyenne qui serait prolongée sous les continents. On peut dessiner ici ce géoïde... qui est notre surface, ici, de référence. C'est une équipotentielle du champ de gravité et c'est notre référence ici, zéro pour nos altitudes. Au-dessus du géoïde, j'ai ma surface, ici, topographique.

## notes

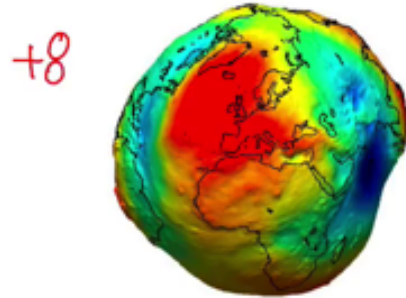
## résumé

3m 37s





- Solution «H»
- Le Géoïde
  - Surface de référence **physique**
  - Surface équipotentielle zéro du champ de pesanteur
  - Surface moyenne de océans prolongée sous les continents
- Référence pour les altitudes (H)



© ESA – GOCE mission  
Éléments de géomatique 10

Et l'altitude ici, d'un point  $A$  sera à la verticale ici, de mon géoïde avec cette hauteur par rapport à la surface physique qu'on appelle ici l'altitude. Si je prends un point  $B$  ici, que je le descends ici sur la surface de référence, j'aurais ici, une altitude  $H_B$ . Sachant qu'en  $A$  et en  $B$ , la direction du champ de pesanteur n'est pas forcément parallèle. Comme la Terre n'est pas un solide uniforme, il y a des masses de densités différentes, la surface de référence, le géoïde, va varier dans l'espace. Sur cette image, on voit la Terre avec sa vraie forme, à savoir cette surface de référence avec d'un côté, des bosses,

notes

résumé



- Relation géoïde - topographie
  - L'intensité de la pesanteur est influencée par les masses environnantes



avec ici par exemple, à peu près plus 80 mètres, et puis on a des creux ici, avec environ moins 100 mètres. On parle ici des ondulations du géoïde qui ne sont pas à négliger dans notre modèle de référence altimétrique.

notes

résumé

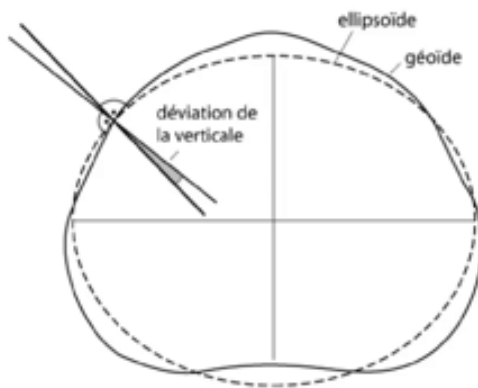
7m 13s





- **Relation géoïde - ellipsoïde**

- Quantification des variations du géoïde par rapport à la surface de référence (ellipsoïde)



Le géoïde est influencé par les masses environnantes. On voit sur l'image de gauche, un paysage typique avec un lac, des montagnes, et c'est clair que ces masses vont influencer la position du géoïde. On voit sur cet exemple ici un premier endroit, 1, avec le lac où on aura ici une densité des masses qui est plus faible et puis, dans ce cas-là, le géoïde aura tendance à descendre légèrement. Dans le deuxième cas, nous sommes en présence d'une montagne et là, on a une densité qui est relativement forte, par contre la masse est placée au-dessus de la surface de référence donc on aura tendance à attirer le géoïde et le géoïde dans ce cas ici va monter. On a le troisième cas, avec ici un corps de très haute densité qui est dans le sous-sol, donc qui va augmenter ici le champ de pesanteur et le géoïde dans ce cas va être également attiré par cette masse présente. Quelle est la relation entre le géoïde, la surface physique, et la surface de référence mathématique, l'ellipsoïde ?

notes

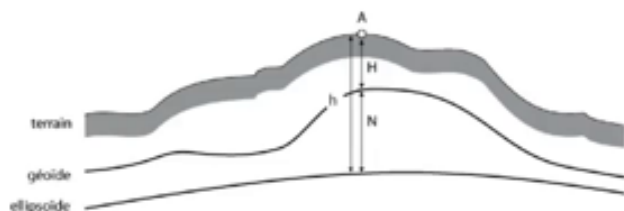
résumé

7m 31s





- Relation géoïde - ellipsoïde
  - Cote du géoïde (N)



On définit principalement deux grandeurs géométriques. La première est ce qu'on appelle la cote du géoïde, c'est-à-dire la séparation entre les deux surfaces. Sur l'exemple ici, j'ai en traitillé l'ellipsoïde et en trait plein le géoïde, donc je retrouve ici ma cote. Le deuxième élément géométrique, c'est l'angle que fait la verticale à la surface, donc le géoïde, avec la normale à la surface de référence, l'ellipsoïde. On a ici ce qu'on appelle la déviation de la verticale, qui est l'angle entre ces deux directions.

notes

résumé

9m 1s



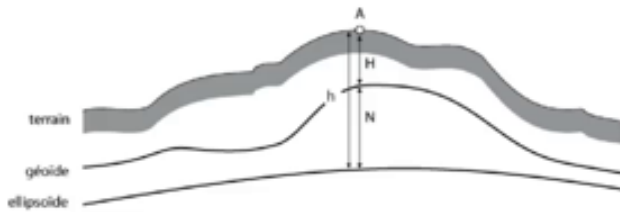


- Relation géoïde - ellipsoïde
  - Cote du géoïde (N)

N: cote

H: altitude =  $h - N$

1



La relation entre géoïde et ellipsoïde est quelque chose qui est documentée par les différents offices de topographie. On a cette cote qui sépare géoïde et ellipsoïde et finalement ce qui nous intéresse pour nos travaux topographiques c'est l'altitude usuelle qui, elle, est égale dans ce cas-là à la hauteur sur l'ellipsoïde moins la cote,

notes

résumé

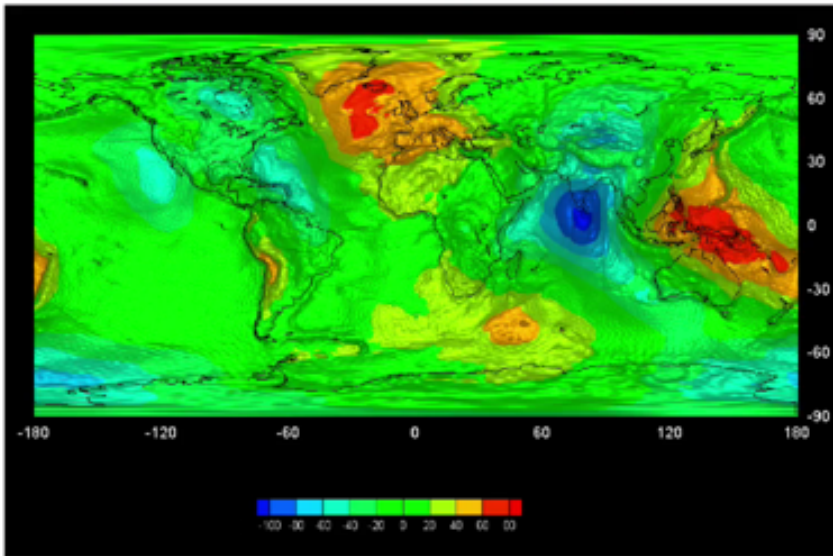
9m 52s





- Carte de la cote du géoïde mondial

Satelli



© ESA – GOCE mission  
Éléments de géomatique

14

$h$  étant la hauteur sur la surface de référence. On peut dresser ainsi des cartes du géoïde, que se soit au plan mondial ou local. On voit ici sur cet exemple tiré du satellite GOCE,

notes

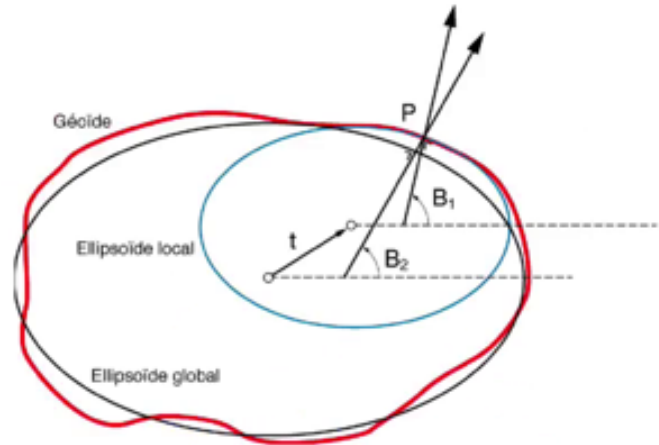
résumé

10m 23s





- **Types de référence**
- **Mondial ou global**
  - Système international: ITRS
  - Ellipsoïde: GRS80
  - Cadre: ITRF
- **National ou local**
  - Système Suisse: CH1903+
  - Ellipsoïde: Bessel
  - Cadre: MN95



donc une mission de l'agence spatiale européenne qui s'est terminée en 2013, on voit ici cet exemple d'une carte mondiale du géοide. On voit notamment les zones ici, très basses, à peu près moins 100 mètres, et les zones plutôt hautes, à plus 80 mètres. La définition du géοide est une des tâches des instituts nationaux de géographie. En Suisse, c'est Swisstopo qui a cette responsabilité. Ils ont établi une carte du géοide qui s'appuie sur la référence géodésique, en l'occurrence l'ellipsoïde de Bessel pour la Suisse. Si on regarde sur cette carte, on voit par exemple que la région ici de Genève a une cote du géοide d'à peu près moins deux mètres. Et tout à l'est de la Suisse, dans la région qui s'appelle les Grisons, je vois que j'ai ici à peu près quatre mètres de cote du géοide. Donc on voit ici un petit peu l'amplitude du géοide, sa variation, à l'échelle de la Suisse.

## notes

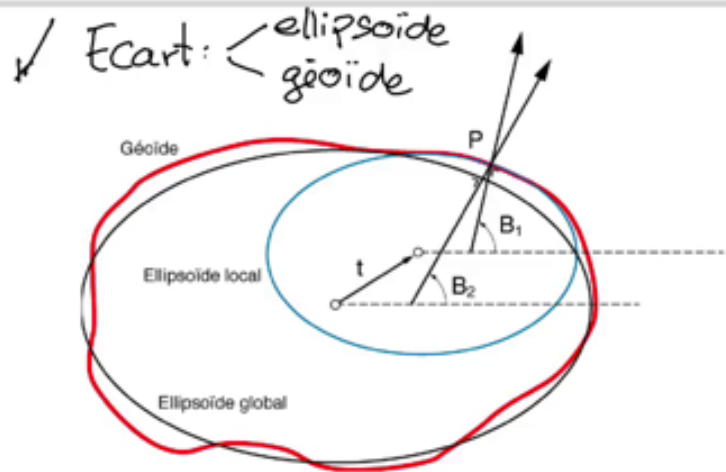
## résumé

10m 49s





- Types de référence
- Mondial ou global
  - Système international: ITRS
  - Ellipsoïde: GRS80
  - Cadre: ITRF
- National ou local
  - Système Suisse: CH1903+
  - Ellipsoïde: Bessel
  - Cadre: MN95



Il existe de multiples références géodésiques. En général, on va considérer l'écart entre la surface de référence, l'ellipsoïde, et la surface de niveau, le géoïde.

notes

résumé

12m 17s





## • Résumé

- Planimétrie et altimétrie sont 2 concepts distincts
- Modèle mathématique: ellipsoïde
- Modèle physique: géoïde
- Chaque pays dispose de sa propre référence géodésique
- Le cadre de coordonnées est la réalisation du système de référence
- A chaque jeu de coordonnées, il faut spécifier le système de référence



On va chercher à minimiser ces écarts et selon que l'on veut un modèle pour l'ensemble de la Terre, on va appliquer ici un ellipsoïde global, ou bien un ellipsoïde local si on s'intéresse à une portion du territoire. On a ainsi ces deux catégories, les systèmes dits mondiaux ou globaux, et les systèmes nationaux ou locaux. On a ici l'exemple du système international, ITRS, avec un ellipsoïde, GRS80, et puis pour le système suisse, on a CH1903+ avec son ellipsoïde de Bessel. Attention, sur cette figure la géométrie est fortement exagérée pour illustrer ce principe. On a par exemple ici, entre le centre de l'ellipsoïde global et le centre de l'ellipsoïde local, uniquement quelques centaines de mètres. Ce qui n'est pas du tout l'échelle ici représentée sur cette figure. Pour résumer cette partie sur les références géodésiques, on se rappellera que planimétrie et altimétrie sont deux concepts différents. On définit une référence mathématique, l'ellipsoïde, et on définit une référence physique pour l'altimétrie, appelée le géoïde. Chaque pays dispose de sa propre référence géodésique associée à un cadre, à savoir une série de points matérialisés et connus en coordonnées. Ainsi, lorsque l'on reçoit un jeu de coordonnées, il faudra toujours se poser la question : quelle est la référence géodésique qui se cache derrière ? qui se cache derrière ?

## notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## résumé

12m 37s



.....

.....

.....

.....

.....