

Cegelec

Solutions & Services

Partenaires sous-traitants :

THALES
NAVIGATION

www.thalesnavigation.com

MAgic Instinct
software

www.justmagic.com

Projet BCMI N° 0811

Acquisition d'un système de positionnement GPS pour les travaux de sondages hydrographiques et la navigation de la RVM dans le bief maritime du fleuve Congo

Présentation du système de bathymétrie RTK installé sur les navires de la RVM

Édité par :

Frédéric JOUBERT, **Cegelec**

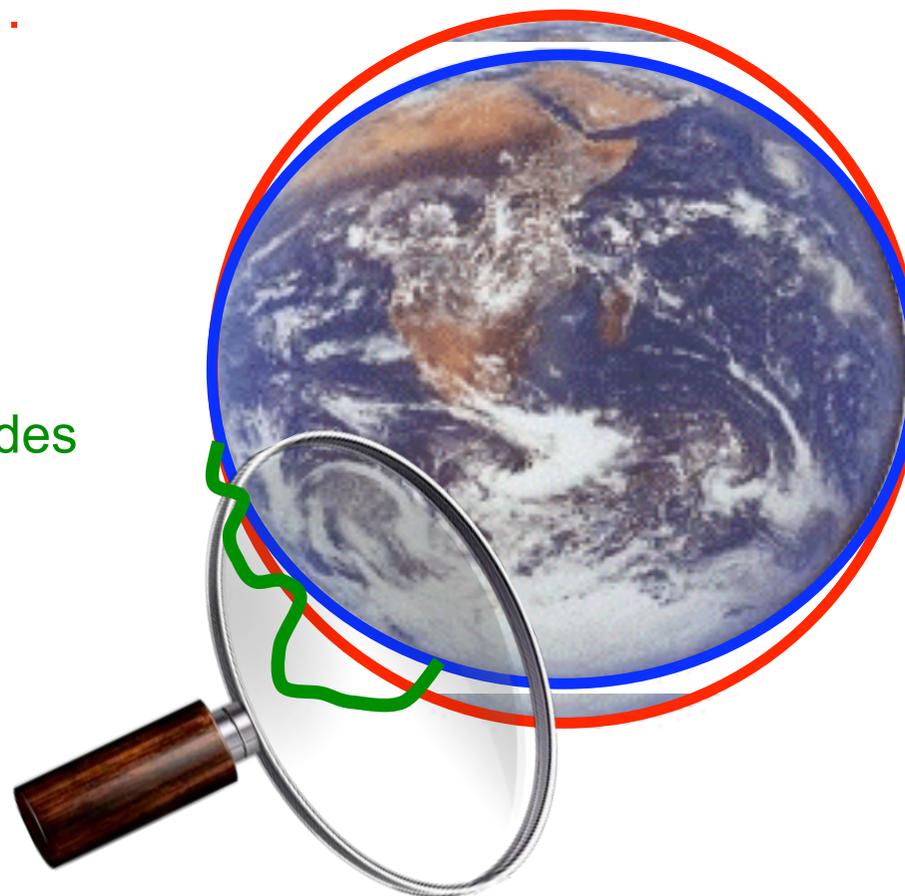
Loïc SEGALOU / Peio ELISSALDE, **Magic Instinct Software**

Samuel HEDOUIN, **Thalés Navigation**

La Terre, semble être ronde . . .

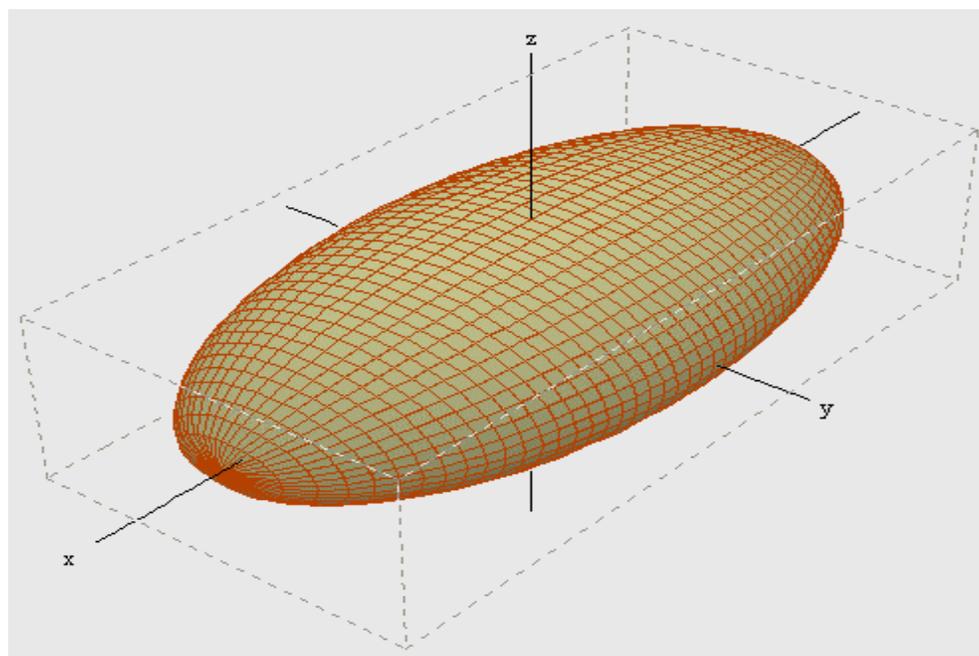
. . . mais elle est légèrement
aplatie au niveau des pôles

. . . en réalité sa forme, du fait des
montagnes et des océans, est
plutôt une *patatoïde* !



La Terre

Pour représenter la Terre d'une façon précise, approchant mieux la réalité, l'outil mathématique le plus adapté s'avère être *l'ellipsoïde*, c'est à dire une surface du second degré de l'espace euclidien à trois dimensions.



Depuis longtemps, les géographes ont défini des ellipsoïdes selon les lieux (Clarke 1880, International 1909, ...).

Après les systèmes locaux sont apparus les systèmes spatiaux grâce aux satellites: l'ellipsoïde WGS 84 a ainsi été défini (en 1984).

Le **WGS 84** ou World Geodetic System (Système géodésique mondial) est le système géodésique associé au système GPS. Il s'est rapidement imposé comme la référence universelle pour la cartographie (en marine comme en terrestre).

Les précédentes réalisations étaient : WGS 72 (associé au système Satnav Transit), WGS 64 et WGS 60.

A noter qu'un système géodésique ne doit pas être confondu avec un type de projection, comme par exemple la projection ***Mercator***.

L'intérêt du WGS 84 est qu'il s'applique mondialement et représente donc la terre entière (contrairement aux géodésies comme l'ED50 utilisées par certains pays européens dont la France).

Mais, comme un ellipsoïde est une représentation simple de la terre, il fallait définir une autre référence, le **géoïde**.

Un géoïde est une représentation de la surface terrestre plus précise que l'approximation ellipsoïdale. Il correspond à une équipotentielle (dans le champ de gravité terrestre) et est mesuré de manière à coller au plus près à la « surface réelle ».

Un géoïde est donc une surface équipotentielle de pesanteur proche du niveau moyen des mers (MSL).

Un géoïde n'est pas défini mathématiquement mais résulte de mesures de gravité (locales ou spatiales).

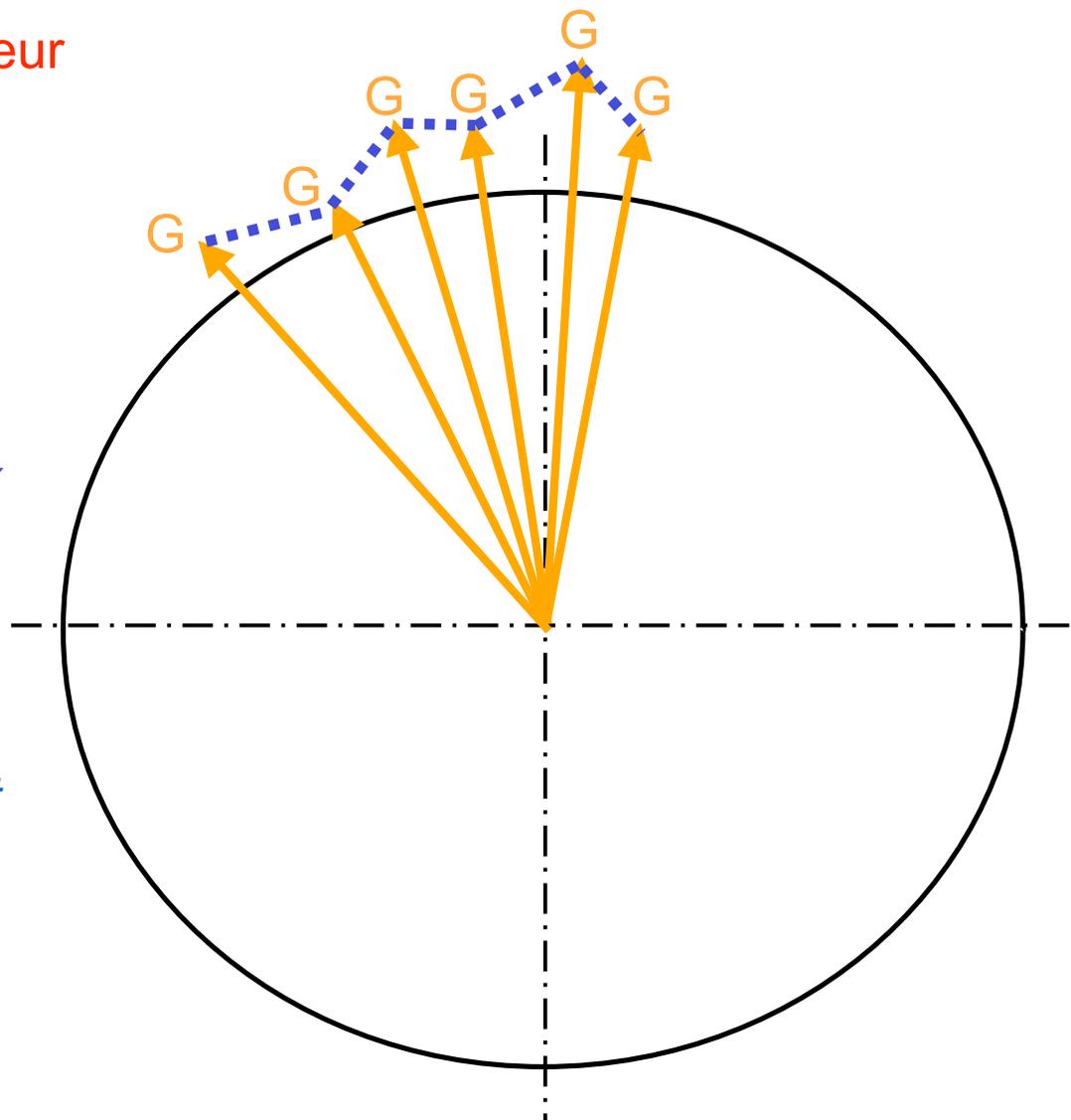
G = équipotentielle de pesanteur

Le pesanteur - G - est partout la même. Mais la hauteur où se trouve cette même pesanteur est différente.

Ces points de hauteur différente sont reliés entre eux afin d'obtenir un géoïde.

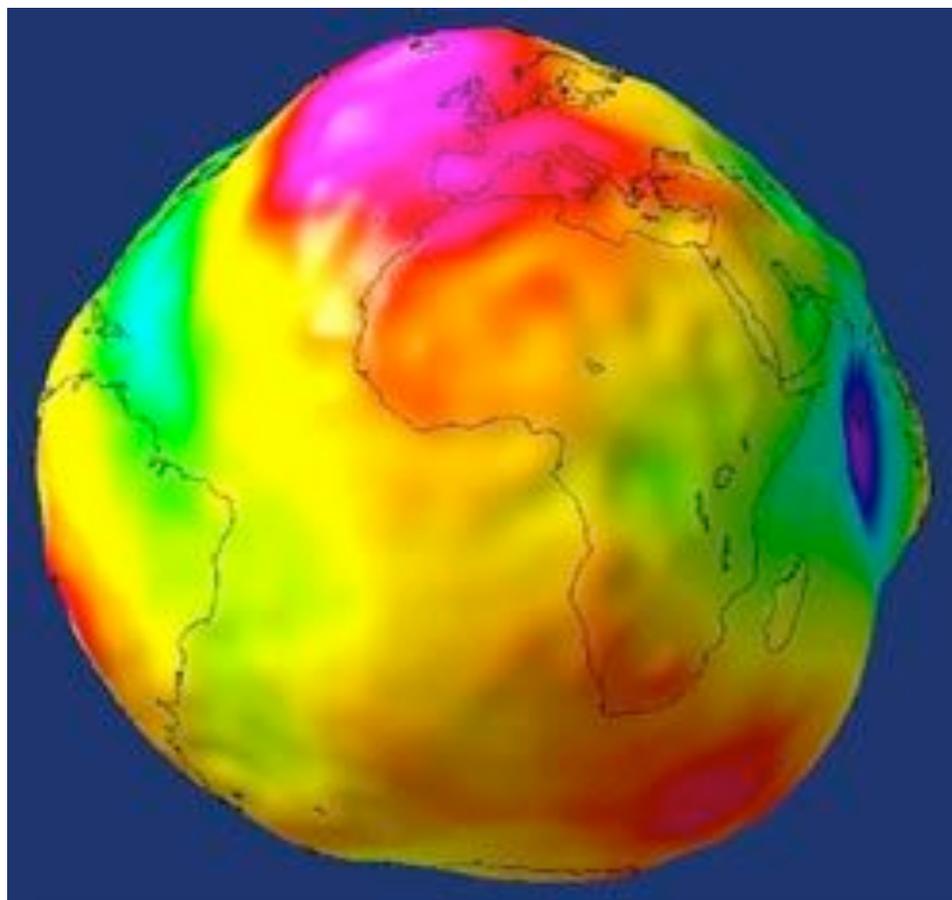
On parle aussi de modèle géoïdal.

Le géoïde est particulièrement important dans la détermination du modèle altimétrique.



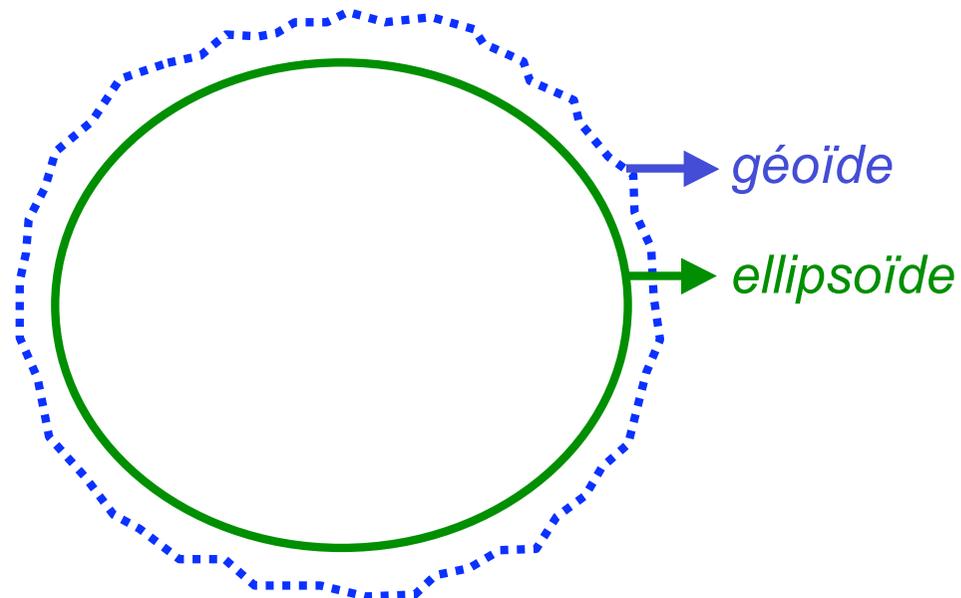
La Terre

Vu en 3D :

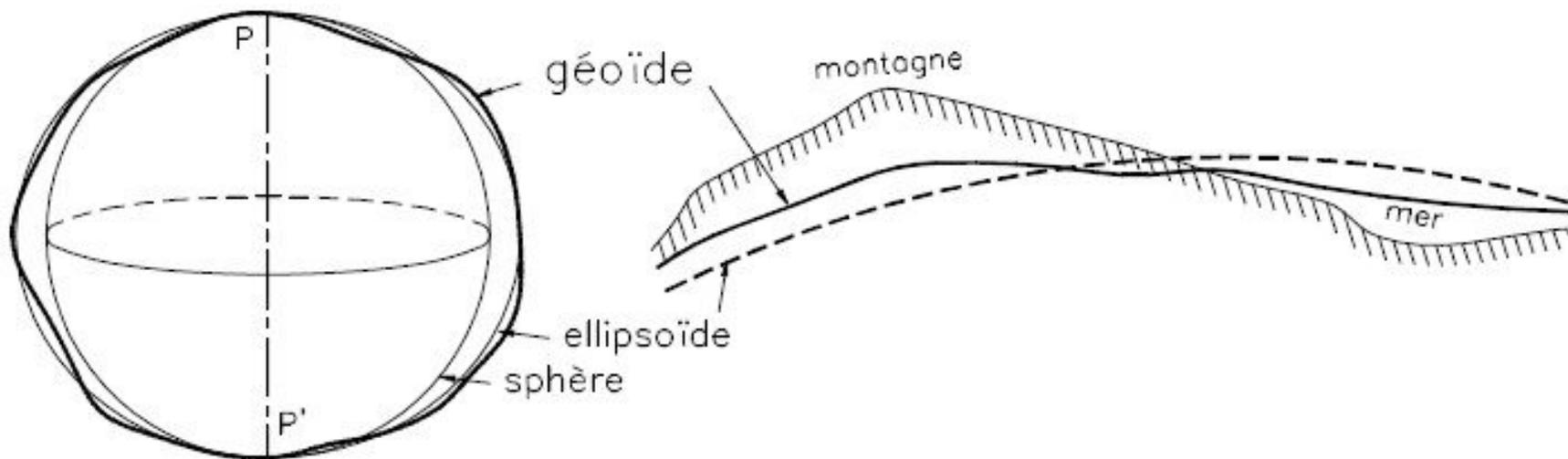


Comme l'orientation du champ de pesanteur varie à la surface de la Terre, un géoïde ne se superpose pas rigoureusement avec l'ellipsoïde. La forme d'un géoïde est en effet « déformée », à cause de l'inégale répartition des masses à la surface de la Terre et à l'intérieur.

La présence d'une chaîne de montagne, par exemple, crée une déformation de la surface du géoïde.



- le **géoïde** est en théorie la surface de référence des altitudes (surface de niveau zéro)
- il n'existe pas de modélisation mathématique vu sa complexité

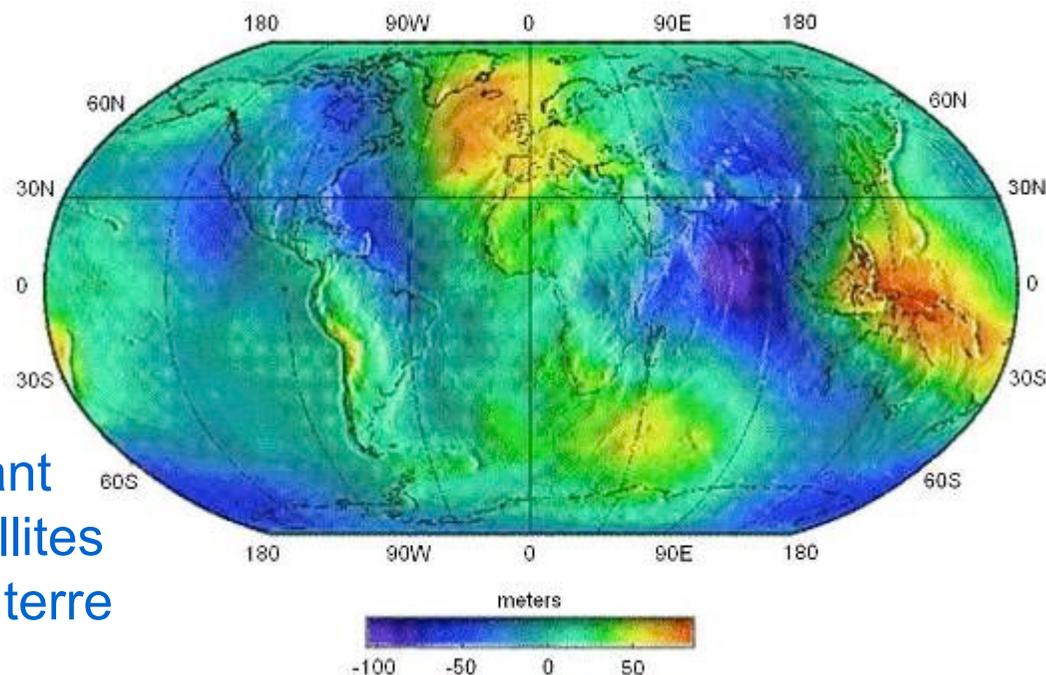


EARTH GRAVITY MODEL 1996 : **EGM96**

Ce **modèle de géoïde mondial associé au WGS 84** permet de déterminer des altitudes référées au niveau moyen des mers (MSL: Mean Sea Level) avec une précision partout dans le monde d'environ 1m.

Les différentes couleurs indiquent la hauteur en mètres du géoïde EGM96 dans le monde entier variant entre environ -100m et +80m

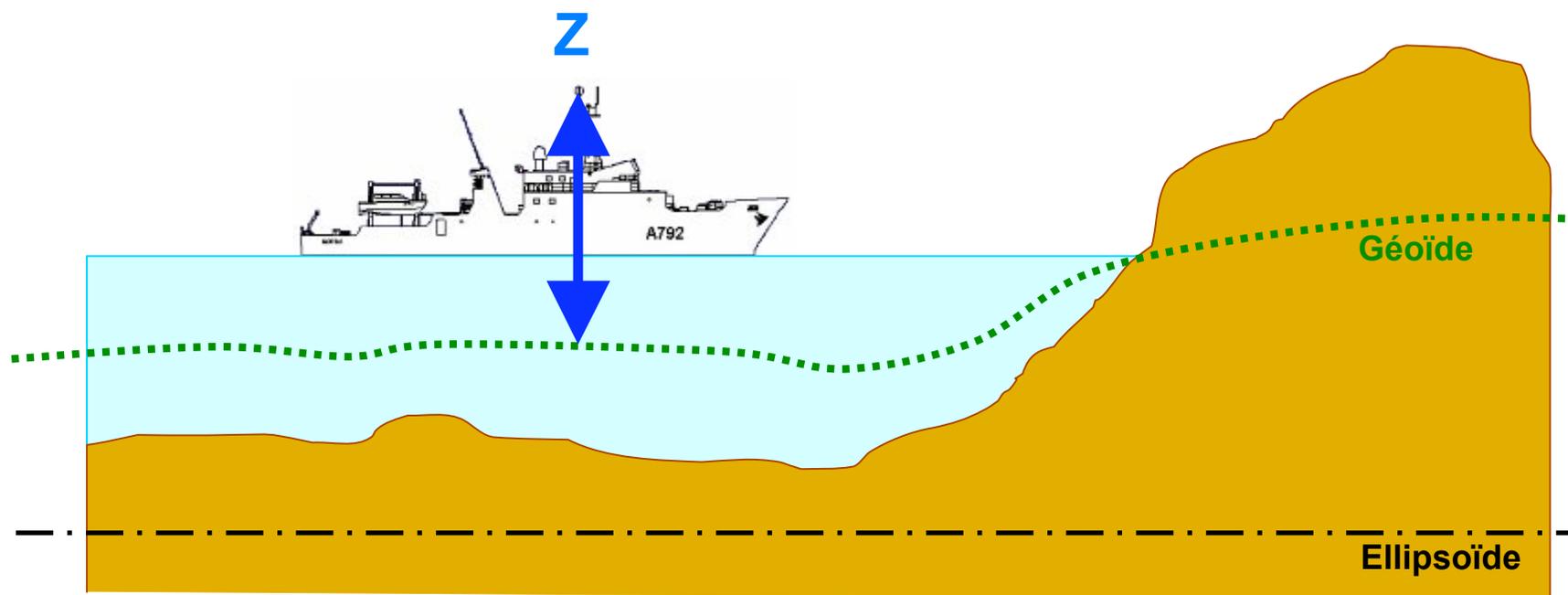
L'EGM96 a été déterminé suivant les mesures faites par des satellites qui ont mesuré la gravité sur la terre entière.



Un récepteur GPS utilise:

- l'**ellipsoïde** pour déterminer sa position « mathématique » (latitude, longitude et altitude)
- le **géοïde** pour déterminer la hauteur physique Z.

Cette hauteur est donc référencée par rapport au géοïde (niveau zéro)



En République Démocratique du Congo, et particulièrement dans la zone de travail de la RVM (le fleuve du Bas-Congo entre Matadi et l'embouchure) aucune référence locale associée au WGS 84 n'avait été déterminée jusqu'à présent.

L'ellipsoïde local utilisé dans cette zone était le Clarke 1880, mais à ce jour aucune transformation (« datum-shift ») avec le WGS 84 n'existait.

De plus, cet ellipsoïde, daté de 1880, était la meilleure représentation de la terre à cette époque mais n'a plus rien à voir avec la précision du WGS84, déterminé lui par satellites.

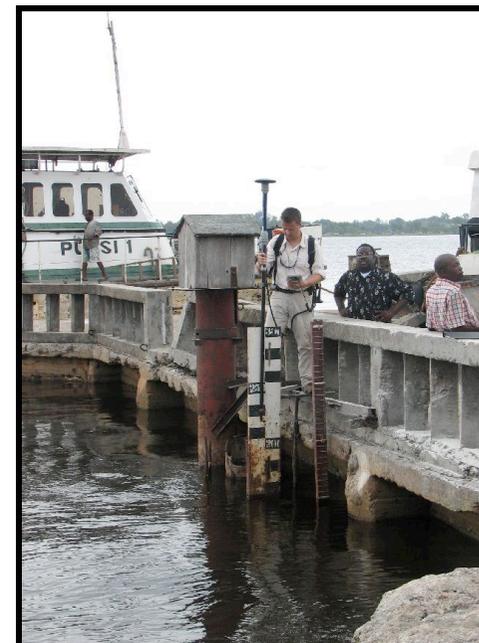
En outre, le modèle mondial EGM96 donne une bonne approximation des hauteurs d'eau par rapport au niveau moyen des mers (le MSL) mais restait imprécis pour les besoins de la RVM. En effet les écarts entre l'EGM96 et les cotes mesurées varient de -1,32 m à 1,99 m.

Détermination du datum vertical

Il a été nécessaire de rattacher les points connus en nivellement au datum utilisé par le GPS.

La RVM possède le long du fleuve un ensemble de 14 limnigraphes calés sur le zéro hydrographique défini à Banana, embouchure du fleuve. Ce zéro correspond au Niveau des plus Basses Eaux constaté en 1915.

Des relevés réalisés avec un système topographique Z-Max RTK ont ainsi permis après importation dans le logiciel GNSS Solutions de procéder au calcul d'un système altimétrique de base pour la RVM



Le **GPS cinématique** (RTK « Real Time Kinematic »)

Le RTK, dans le domaine du GPS, est un procédé dans lequel les données précises de positionnement (code et phases des signaux GPS) sont transmises en temps réel (UHF) d'un récepteur de référence, de coordonnées connues, aux récepteurs des utilisateurs avec une précision qui atteint le centimétrique.

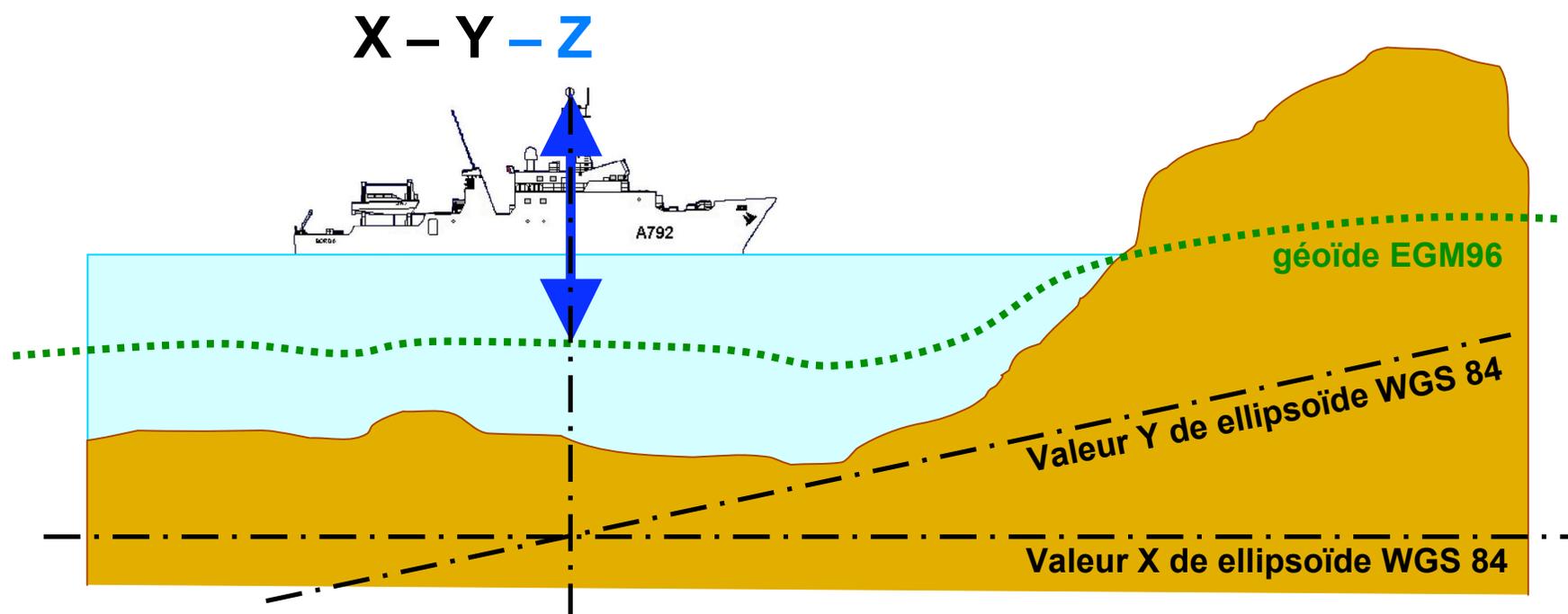
Les stations de référence établies par Thalés sont :

- ⇒ MUBA, avec un relais à MONT SOYO (Matadi)
- ⇒ SEKE DIA MBUNGU, avec un relais à KAITSHANGA
- ⇒ KISONGO

Les récepteurs Aquarius 02, installés sur les deux vedettes de sondages ainsi que sur les trois dragues, travaillent en RTK (LRK Thalés Aquarius)

Le projet RVM

Le positionnement GPS (X, Y et Z) centimétrique est référencé par défaut par rapport à l'ellipsoïde WGS 84 et au géoïde mondial EGM96



Suite aux mesures effectuées le long du fleuve, il n'a pas été possible de calculer un modèle global unique pour l'ensemble du Bas Congo.

La zone a du être scindée en trois parties avec pour chacune d'entre-elles un modèle altimétrique spécifique : en effet, ce sont bien 3 pentes différentes qui caractérisent le fleuve dans cette région.

Le calcul, dit de calibration, génère 5 paramètres compatibles avec le GPS RTK Aquarius en définissant le modèle mathématique de la correction d'altitude (ou offset) selon la formule suivante :

$$\text{Offset} = dH + GI (L84 - L0) + Gg (G84 - G0)$$

dH = déport alti (en m)

GI = Gradient en latitude (en m/radian)

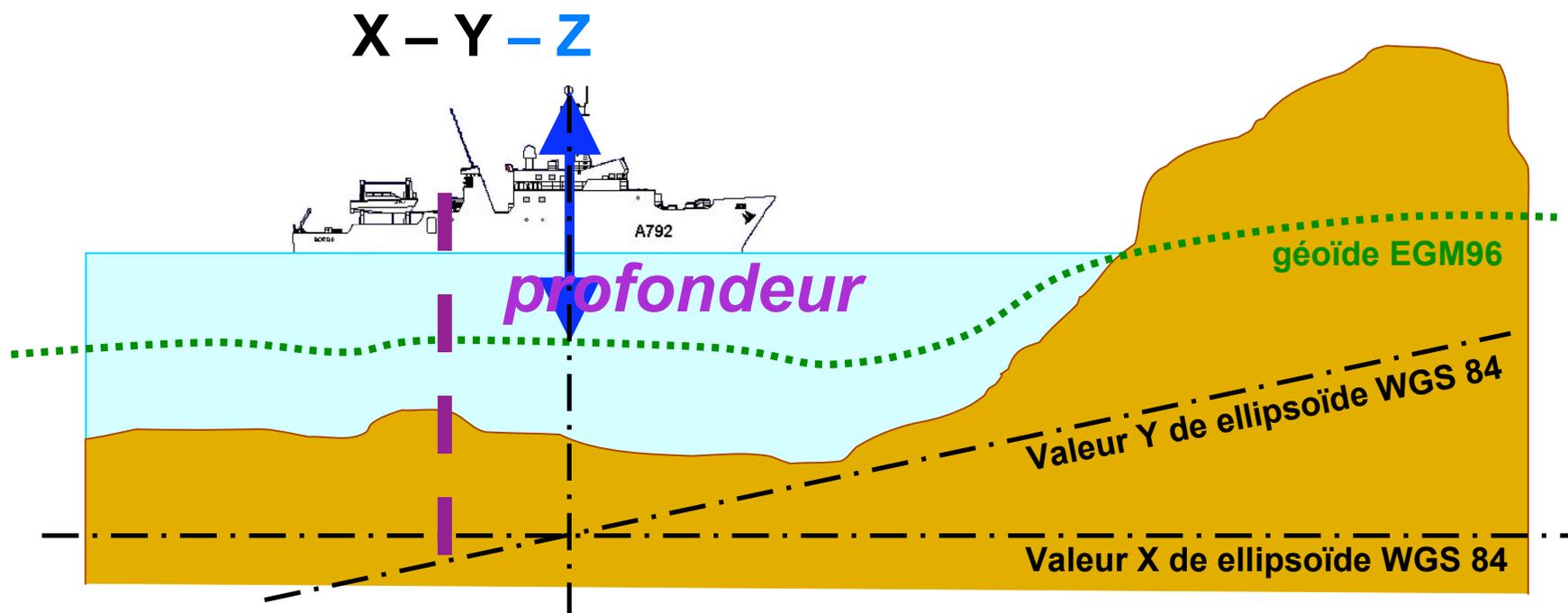
L0 = Latitude origine

Gg = Gradient en longitude (en m/radian)

G0 = Longitude origine

Application du GPS RTK à la réduction des sondes

La position du navire et la hauteur ellipsoïdale étant définie par le GPS RTK, il nous reste à déterminer la profondeur sous la surface de l'eau avec un sondeur hydrographique.

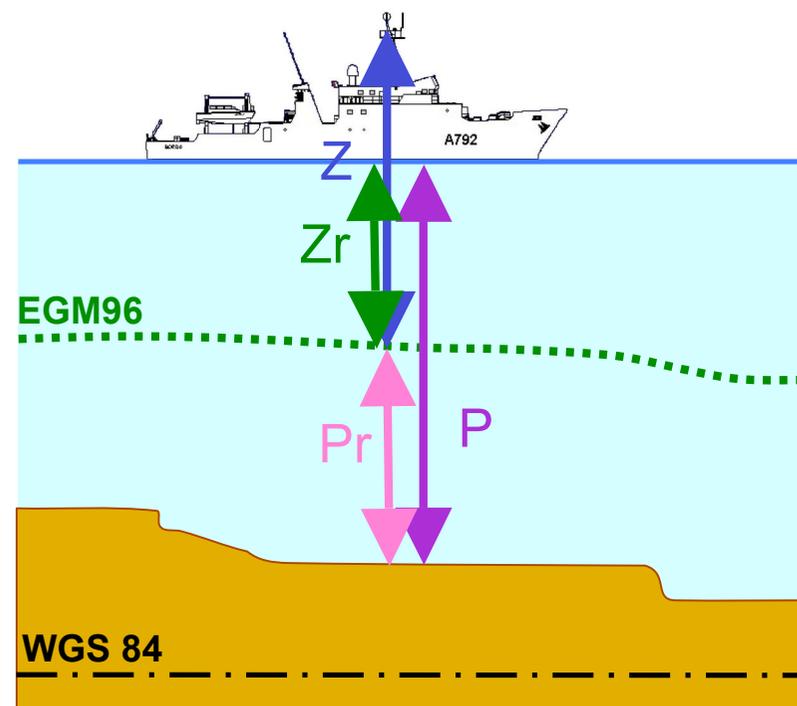


Le projet RVM

Nous avons maintenant les 4 valeurs nécessaires pour déterminer la profondeur par rapport au zéro RVM

- ⇒ longitude X
- ⇒ latitude Y
- ⇒ hauteur / zéro RVM Z
- ⇒ profondeur mesurée P

Après avoir intégré la hauteur d'antenne GPS et l'immersion du sondeur, on obtient une hauteur **Zr** qui se trouve entre le niveau de l'eau et le pseudo géoïde RVM



Soit une sonde réduite - P_r par rapport au pseudo-géoïde RVM :

$$P_r = P - Z_r$$

Le projet RVM



Le système **OLEX** utilise donc la hauteur précise de l'antenne RTK pour calculer la hauteur du plan d'eau en temps réel et affiche les valeurs des sondes corrigées, *avec pour référence verticale le pseudo-géoïde de la RVM*

Il traite donc les données RTK pour le calcul du niveau d'eau incluant les effets de marée ainsi que la différence entre les périodes de hautes et basses-eaux.

Le projet RVM



Marée RTK = $H_{RTK} - H_{\text{antenne}} - \text{Correction altimétrique}$
Sonde réduite = $\text{Sonde mesurée} + H_{\text{Immersion sondeur}} - \text{marée RTK}$

Exemple:

$H_{RTK} = 12.04$ m (valeur donnée par message GPBGA)

$H_{\text{antenne}} = 2.30$ m

Correction altimétrique = 7.54 m (issue du modèle)

Sonde mesurée = 5.93 m / $H_{\text{immersion}} = 1.30$ m

Sonde totale = 7.23 m

Marée RTK = $12.04 - 2.30 - 7.54 = 2.20$ m

Sonde réduite au Zéro = $\text{sonde totale} - \text{marée RTK}$
 $= 7.23 - 2.20 = 5.03$ m

